

РУДНЫЙ ИНДУСТРИАЛЫҚ ИНСТИТУТЫНЫҢ 60 ЖЫЛДЫҒЫНА АРНАЛҒАН "ҒЫЛЫМ, ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ БІЛІМ ИНТЕГРАЦИЯСЫ САЛАСЫНДАҒЫ ЗАМАНАУИ ИННОВАЦИЯЛАР" МЕРЕЙТОЙЛЫҚ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ МАТЕРИАЛДАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ ЮБИЛЕЙНОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ИНТЕГРАЦИИ ЗНАНИЙ», ПОСВЯЩЕННОЙ 60-ЛЕТИЮ РУДНЕНСКОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНСТИТУТА

COLLECTION OF MATERIALS OF JUBILEE INTERNATIONAL RESEARCH-TO-PRACTICE CONFERENCE "MODERN INNOVATIONS IN THE FIELD OF SCIENCE, TECHNOLOGIES AND KNOWLEDGE INTEGRATION" DEDICATED TO THE 60th ANNIVERSARY OF RUDNY INDUSTRIAL INSTITUTE



2019 жыл 17-18 қазан / 17-18 октября 2019 года / October 17-18, 2019
Рудный қ., Рудный индустриалық институты / г. Рудный, Рудненский индустриальный институт
Rudny, Rudny industrial institute

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі

**РУДНЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТЫНЫҢ 60 ЖЫЛДЫҒЫНА
АРНАЛҒАН "ҒЫЛЫМ, ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ БІЛІМ
ИНТЕГРАЦИЯСЫ САЛАСЫНДАҒЫ ЗАМАНАУИ ИННОВАЦИЯЛАР"
МЕРЕЙТОЙЛЫҚ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ
КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ МАТЕРИАЛДАР ЖИНАҒЫ**

2019 жыл 17-18 қазан

Рудный қ., Рудный индустриялық институты

Министерство образования и науки Республики Казахстан

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ ЮБИЛЕЙНОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «СОВРЕМЕННЫЕ
ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ИНТЕГРАЦИИ
ЗНАНИЙ», ПОСВЯЩЕННОЙ 60-ЛЕТИЮ РУДНЕНСКОГО
ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНСТИТУТА**

17-18 октября 2019 года

г. Рудный, Рудненский индустриальный институт

Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

**COLLECTION OF MATERIALS OF JUBILEE INTERNATIONAL
RESEARCH-TO-PRACTICE CONFERENCE «MODERN INNOVATIONS IN
THE FIELD OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND KNOWLEDGE
INTEGRATION» DEDICATED TO THE 60th ANNIVERSARY OF RUDNY
INDUSTRIAL INSTITUTE**

October 17-18th, 2019

Rudny, Rudny Industrial Institute

Рудный, 2019

УДК 378 (063)

ББК 74.58

С 23

Жалпы редакциясын басқарған:

Найзабеков Ә.Б., техника ғылымдарының докторы, профессор, академик, Рудный индустриалық институтының ректоры

Редакциялық алқа:

Мирюк О.А., техника ғылымдарының докторы, профессор, Рудный индустриалық институтының құрылыс және құрылыстық материалтану кафедрасының меңгерушісі

Хабдуллина З.К., техника ғылымдарының кандидаты, Рудный индустриалық институтының электроэнергетика және жылу энергетика кафедрасының меңгерушісі, доцент

Лежнев С.Н., техника ғылымдарының кандидаты, Рудный индустриалық институтының металлургия және тау-кен ісі кафедрасының доценті

Кузьмин С.Л., техника ғылымдарының кандидаты, Рудный индустриалық институтының тау-кен металлургия факультетінің деканы

Божко Л.Л., экономика ғылымдарының кандидаты, Рудный индустриалық институтының экономика және менеджмент кафедрасының доценті

Зарубина В.Р., экономика ғылымдарының кандидаты, Рудный индустриалық институтының экономика және менеджмент кафедрасының доценті

С 23 Ғылым, технологиялар және білім интеграциясы саласындағы замануи инновациялар: Рудный индустриалық институтының 60 жылдығына арналған мерейтойлық халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдар жинағы - Рудный: Рудный индустриалық институты, 2019, 806 б.

ISBN 978-601-7994-10-5

Бұл жинаққа Рудный индустриалық институтының 60 жылдығына арналған "Ғылым, технологиялар және білім интеграциясы саласындағы замануи инновациялар" атты ғылыми-тәжірибелік конференцияда ұсынылған ғылыми мақалалар енгізілген.

Жинақ ғалымдар, оқытушылар және студент жастарға, сондай-ақ өнеркәсіптік кәсіпорындар және мемлекеттік басқару ұйымдарының өкілдері үшін қызығушылық тудырады.

УДК 378 (063)

ББК 74.58

© Рудный индустриалық институты, 2019

УДК 378 (063)
ББК 74.58
С 23

Под общей редакцией:

Найзабеков А.Б., доктор технических наук, профессор, академик, ректор Рудненского индустриального института

Редакционная коллегия:

Мирюк О.А., доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительства и строительного материаловедения Рудненского индустриального института

Хабдуллина З.К., кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой электроэнергетики и теплоэнергетики Рудненского индустриального института

Лежнев С.Н., кандидат технических наук, ассоциированный профессор, профессор кафедры металлургии и горного дела Рудненского индустриального института

Кузьмин С.Л., кандидат технических наук, декан горно-металлургического факультета Рудненского индустриального института

Божко Л.Л., кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента Рудненского индустриального института

Зарубина В.Р., кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента Рудненского индустриального института

С23 Современные инновации в области науки, технологий и интеграции знаний. Сборник материалов юбилейной международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Рудненского индустриального института. - Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2019, 806 стр.

ISBN 978-601-7994-10-5

В Сборник вошли научные статьи, представленные на юбилейной международной научно-практической конференции "Современные инновации в области науки, технологий и интеграции знаний», посвященной 60-летию Рудненского индустриального института.

Сборник представляет интерес как для ученых, профессорско-преподавательского состава и студенческой молодежи, так и для представителей промышленных предприятий и организаций, органов государственного управления.

УДК 378 (063)
ББК 74.58

© Рудненский индустриальный институт, 2019

УДК 378 (063)
ББК 74.58
С 23

Under the general editorship of:

Naizabekov A.B., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician, Rector of the Rudny Industrial Institute*

Editorial board:

Miryuk O.A., *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Civil Engineering and Construction Materials Department, Rudny Industrial Institute*

Habdullina Z.K., *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Electrical and Heat Power Engineering Department, Rudny Industrial Institute*

Lezhnev S.N., *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mining and Metallurgy, Rudny Industrial Institute*

Kuzmin S.L., *Candidate of Technical Sciences, Dean of Mining and Metallurgy Faculty, Rudny Industrial Institute*

Bozhko L.L., *Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Management, Rudny Industrial Institute*

Zarubina V.R., *Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Management, Rudny Industrial Institute*

C 23 Modern innovations in the field of science, technology and knowledge integration:

Collection of materials of jubilee international research-to practice conference dedicated to the 60th anniversary of Rudny Industrial Institute - Rudny, Rudny Industrial Institute, 2019, 806 p.

ISBN 978-601-7994-10-5

Collection of materials includes scientific articles presented at International research-to practice conference dedicated to the 60th anniversary of Rudny Industrial Institute "Modern innovations in the field of science, technology and knowledge integration".

Collection of materials is of interest both to scientists, faculties' members and students as well as to representatives of industrial enterprises and organizations, governmental bodies.

УДК 378 (063)
ББК 74.58

© Rudny Industrial Institute, 2019

Құрметті оқырмандар!

Қазақстанның 2050 жылға дейінгі Даму Стратегиясында, Қазақстанның әлемдегі ең дамыған 30 мемлекет қатарына кіруі жөніндегі тұжырымдамада инженерлік білім беру жүйесіне, қазақстандық ғалымдардың шетелдік ғылыми-зерттеу қоғамдастығымен ықпалдасуына, ғылым мен бизнестің кооперациясына үлкен көңіл бөлінді.

Бұдан басқа, 2020 жылдан бастап индустриялық – инновациялық даму мен сандық технологиялар синергиясын қамтитын Қазақстанның индустриялық – инновациялық дамуының 3-ші бағдарламасын іске асыру басталады. Әзірленген тұжырымдама "цифрлық дәуір" өнеркәсібінің қалыптасуын ескере отырып, Қазақстан Республикасын индустриялық-инновациялық дамытудың 2020 – 2025 жылдарға арналған мемлекеттік бағдарламасын әзірлеудің қағидаттары мен тәсілдерін қарастыра отырып, идеологиялық іргетасын қалайды.

Цифрландыру, интеллектілендірілген автоматтандыру, деректерді интеграциялау, өнеркәсіптік интернет, озық сараптама біздің өмірімізге еркін енуде. Инновация қазіргі қоғамның барлық салаларының құрамдас бөлігі болып қалыптасуда.

Бұл өз кезегінде, отандық білім беру және ғылым жүйесінен инновациялық экономиканы дамытуға, инновациялық шешімдерді әзірлеушілердің өзіндік экожүйесін және технологиялар трансфертін құруға, әлемдік ғылыми-білім беру кеңістігіне кіруге ықпал ететін жаңашыл көзқарасты талап етеді.

Осы жағдайда адам капиталын дамыту, инновацияға сұранысты қалыптастыру, инновациялық экожүйелер құру және т.с.с. мәселелерде ғылыми қауымдастықтың күш-жігерін, ой-парасатын біріктіруге мүмкіндік беретін халықаралық ғылыми-техникалық коллаборация ерекше өзектілікке ие болып отыр.

"Ғылым, технологиялар және білім интеграциясы саласындағы заманауи инновациялар" мерейтойлық халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының негізгі мақсаты - ғылым, технологиялар және білім интеграциясы саласындағы жаңа жетістіктерді ұсыну және талқылау. Конференция барысында 4.0 жаңа технологиялық бағыт контекстінде индустриялық даму, қазіргі заманғы тау-кен металлургиялық кешені, цифрландырудың инновациялық жетістіктері, неоиндустриялық және инновациялық даму контекстінде болашақтың экономикасын дамыту, экономикалық, әлеуметтік және рухани жаңғыру мәселелері қарастырылады.

Конференция жұмысына қатысу үшін Чехия, Германия, Польша, Болгария, Италия, Ресей, Белоруссия, Украина, Қырғызстан және Қазақстанның ғалымдары мен мамандары өз баяндамаларын ұсынды. Баяндамалардың басым бөлігі бірлескен ғылыми зерттеулердің нәтижелерін қамтитындығын атап өту қажет. Ұйымдаса отырып, шығармашылық тендемде жұмыс жасау, тәжірибе алмасу, бірлескен ғылыми және білім беру жобаларын іске асыру, сөзсіз, инновациялық идеяларды генерациялау үшін белгілі бір негіз жасайды, табысты өзара іс-әрекетке жаңа көкжиектер ашады, ғылыми-техникалық ынтымақтастықты дамытуға серпін береді.

Конференция қатысушыларына қызық та қызу пікірталастар, шығармашылық шабыт, сарқылмас қуат, амбициялық жаңалықтар мен жаңа жетістіктер тілеймін!

Біздің конференция Рудный индустриялық институтының 60 жылдық мерейтойына арналған. Біз институттың мерейтойлық кітабы мен Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдарының жинағын басып шығаруға, кәдесый өнімдерін дайындауға, салтанатты іс-шараларды ұйымдастыруға, қаржылай қолдау көрсеткен барлық демеушілерімізге алғысымызды білдіреміз.

*Рудный индустриялық институтының мерейтой іс-шараларын
өткізуге қайырымдылық көмек көрсеткен қолдауларыңызға үлкен
алғысымызды білдіреміз:*

*"ССКӨБ" АҚ ұжымына
"Рудныйсоқоловстрой" АҚ ұжымына
"Қостанайминералдары" АҚ ұжымына
"БанкЦентрКредит" АҚ ұжымына
"Білім және Ғылым қызметкерлерінің Қазақстандық салалық кәсіптік
одағының Қостанай облыстық ұйымы" АҚ ұжымына*

*Альберт Павлович Рауға
Елена Вадимовна Сқарединаға
Андрей Геннадьевич Бурняшевке
Сергей Николаевич Серегинге
Константин Юрьевич Афонинге
Алексей Анатольевич Ильинге
Евгений Анатольевич Черновқа
Евгений Сергеевич Калюжныйға
Серік Кенжебұлатұлы Искуженовке
Сергей Львович Кузьминге
Сергей Павлович Ярмошукке
Мақсим Анатольевич Щегловаға
Виталий Александрович Бондаренкоға
Виктор Александрович Моисеевке
Олег Юрьевич Абылқайровқа
Гаухар Табитовна Шалдықоваға
Андрей Владимирович Казмирукке
Ержан Сақенович Азимқалиевке
Қамандар Масим-Оғлы Ахмедовқа
Марат Радикович Ахметовқа*

Әбдірахман Найзабеков
Рудный индустриялық институтының ректоры,
т. ғ. д., профессор, академик

Дорогие читатели!

В Стратегии развития Казахстана до 2050 года, Концепции по вхождению Казахстана в число 30 самых развитых государств мира большое внимание уделено системе инженерного образования, интеграции усилий казахстанских ученых с зарубежным научно-исследовательским сообществом, кооперации науки и бизнеса.

Кроме того, как известно, с 2020 года начинается реализация 3-й программы индустриально-инновационного развития Казахстана, включающей синергию индустриально-инновационного развития и цифровых технологий. Разработанная концепция закладывает идеологический фундамент, принципы и подходы к разработке Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020 - 2025 годы с учетом становления промышленности «цифровой эпохи».

Цифровизация, интеллектуализированная автоматизация, интеграция данных, промышленный интернет, передовая аналитика прочно врываются в нашу жизнь. Инновационная составляющая присутствует во всех сферах современного общества.

Соответственно, отечественная система образования и науки требует нового подхода, способствующего развитию инновационной экономики, созданию собственной экосистемы разработчиков инновационных решений и трансферта технологий, интеграции в мировое научно-образовательное пространство.

И в этих условиях особую актуальность приобретает международная научно-техническая коллаборация, позволяющая объединить усилия научного сообщества в вопросах развития человеческого капитала, формирования спроса на инновации, создания инновационных экосистем и др.

Основная цель юбилейной международной научно-практической конференции «Современные инновации в области науки, технологий и интеграции знаний» - представление и обсуждение новейших достижений в области науки, технологий и интеграции знаний. В ходе конференции будут рассмотрены вопросы индустриального развития в контексте нового технологического уклада 4.0, современного горно-металлургического комплекса, инновационных достижений цифровизации, развития экономики будущего, экономического, социального и духовного обновления в контексте неоиндустриального и инновационного развития.

Материалы конференции содержат статьи ведущих учёных и специалистов Казахстана, стран дальнего и ближнего зарубежья. Необходимо отметить, что преобладающее количество докладов включают результаты совместных научных исследований, проводимых казахстанскими учеными с коллегами из Чехии, Германии, Польши, Болгарии, России, Белоруссии и Украины. Работа в тандеме, обмен опытом, реализация совместных научных и образовательных проектов, несомненно, создают определенный задел для генерации инновационных идей, открывают новые горизонты для успешного взаимодействия, придают импульс развитию научно-технического сотрудничества.

Наша конференция посвящена 60-летию юбилею Рудненского индустриального института. И мы благодарим всех наших спонсоров, финансовая поддержка которых позволила издать юбилейную книгу об институте и сборник материалов международной научно-практической конференции, изготовить сувенирную продукцию, организовать торжественные мероприятия.

*Рудненский индустриальный институт выражаем огромную
благодарность за благотворительную помощь и оказанную поддержку в
проведении юбилейных мероприятий:*

*коллективу АО «ССТПО»
коллективу АО «Рудныйсоколовстрой»
коллективу АО «Костанайские минералы»
коллективу АО "Банк ЦентрКредит"
коллективу ОО «Костанайская областная организация Казахстанского
отраслевого профессионального союза работников образования и науки»*

*Рау Альберту Павловичу
Скарединой Елене Вадимовне
Серегину Сергею Николаевичу
Афонину Константину Юрьевичу
Ильину Алексею Анатольевичу
Чернову Евгению Анатольевичу
Калюжному Евгению Сергеевичу
Искужену Серику Кенжибулатовичу
Кузьмину Сергею Львовичу
Ярмощук Сергею Павловичу
Щеглову Максиму Анатольевичу
Бурняшеву Андрею Геннадьевичу
Бондаренко Виталию Александровичу
Моисееву Виктору Александровичу
Абылкаирову Олегу Юрьевичу
Шалдыковой Гаухар Абитовне
Казмерук Андрею Владимировичу
Азимқалиеву Ержану Сақеновичу
Ахмедову Камандару Масим-Оглы
Ахметову Марату Радиковичу*

**Абдрахман Найзабеков,
Ректор Рудненского индустриального института,
д.т.н., профессор, академик**

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель

**Найзабеков
Абдрахман
Батырбекович** Ректор Рудненского индустриального института (РИИ), профессор,
доктор технических наук, академик

Члены программного комитета:

**Рау
Альберт Павлович** д.э.н., почетный профессор Рудненского индустриального института,
депутат Мажилиса Парламента Республики Казахстан

**Мухаметкалиев
Береке Сагатович** почетный профессор Рудненского индустриального института, президент
АО «Соколовско - Сарбайское горно-обогатительное производственное
объединение» (Казахстан)

**Рудской
Андрей Иванович** д.т.н., профессор, академик РАН, ректор Санкт-Петербургского
политехнического университета Петра Великого (Россия)

Митко Гиоргиев доктор инж., профессор, ректор Химико-технологического и
металлургического университета г. София (Болгария)

Георги Михов д.т.н., профессор, ректор Софийского технического университета
(Болгария)

**Чукин Михаил
Витальевич** д.т.н., профессор, ректор Магнитогорского государственного
технического университета им. Г.И.Носова (Россия)

Rudolf Kawalla д.т.н., профессор, проректор Фрайбергской горной академии (Германия)

Marcin Knapinski д.т.н., профессор, декан Ченстоховского политехнического университета
(Польша)

Сюй Линьши д.э.н., профессор, заместитель директора Харбинского университета
коммерции (Китай)

Predrag Dašić к.т.н., почетный доктор наук, профессор Высшей технической
механической школы профессиональных исследований (Сербия), главный
редактор издательства SaTCIP Publisher Ltd.

**Шешуков
Олег Юрьевич** д.т.н., профессор, директор Института новых материалов и технологий
Уральского федерального университета им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина (Россия)

**Петров
Вадим Леонидович** профессор, проректор Национального исследовательского
технологического университета «МИСиС», (Россия)

Jitai Nui д.т.н., профессор, Харбинского политехнического университета (Китай)

Henryk Duja д.т.н., профессор, Институт обработки металлов давлением г. Познань
(Польша)

Jiri Kliber д.т.н., профессор Технического университета г. Острава (Чехия)

Rozina Yordanova доктор PhD, доцент, декан Университета химической технологии и

Корчунов Алексей Георгиевич	металлургии г. София (Болгария) д.т.н., профессор, проректор Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова (Россия)
Мазур Игорь Петрович	д.т.н., профессор, зав.кафедрой Липецкого государственного технического университета (Россия)
Гун Геннадий Семенович	д.т.н., профессор, советник ректора Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова (Россия)
Касперович Андрей Викторович	к.т.н., доцент, зав.кафедрой Белорусского государственного технологического университета (Беларусь)
Аксенов Сергей Алексеевич	к.т.н., доцент, заместитель директора по научной работе Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова Высшей школы экономики (Россия)
Алиев Играмотдин Серажутдинович	д.т.н., профессор Донбасской государственной машиностроительной академии (Украина)
Соломонов Константин Николаевич	д.т.н., профессор Ростовского государственного университета путей сообщения (Россия)
Чуманов Илья Валерьевич	д.т.н., профессор Южно-Уральского государственного университета (Россия)
Тургель Ирина Дмитриевна	д.э.н., профессор, заместитель директора по науке Высшей школы экономики и менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Россия)
Григорис Зартиадис	к.э.н., доцент кафедры экономики Университета Аристотеля в Салониках (Греция)
Анимица Евгений Георгиевич	д.геогр.н., профессор, главный советник ректора Уральского государственного экономического университета (Россия)
Дагния Блюмберга	доктор инженерии, директор Института окружающей среды и энергетических систем Рижского технического университета (Латвия)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

**Божко
Лариса Леонидовна** к.э.н., д.э.н. РФ, доцент, проректор по учебной и научной работе Рудненского индустриального института (Казахстан)

Члены организационного комитета

**Кузьменко
Сергей Валентинович** вице-президент по производству АО «Соколовско - Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» (Казахстан)

**Калюжный
Евгений Сергеевич** начальник департамента технического развития и технологий АО «Соколовско - Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» (Казахстан)

Anna Kawalek д.т.н., профессор Ченстоховского политехнического университета (Польша)

Georgi Popov д.т.н., профессор, зав.кафедрой Софийского технического университета (Болгария)

Rajchao Georgiev д.т.н., профессор Софийского технического университета (Болгария)

Toncho Koinov д.т.н., профессор Университета химической технологии и металлургии г. София (Болгария)

**Куис
Дмитрий Валерьевич** к.т.н., доцент, зав.кафедрой Белорусского государственного технологического университета (Беларусь)

**Самодурова
Марина Николаевна** д.т.н., доцент Южно-Уральского государственного университета (Россия)

**Цырук
Сергей Александрович** к.т.н., доцент, зав. кафедрой электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологии, помощник проректора Национального исследовательского университета "МЭИ" (Россия)

**Борисов
Иван Николаевич** д.т.н., профессор, зав. кафедрой технологии цемента и композиционных материалов Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова (Россия)

**Таймасов
Бахыт Таймасович** д.т.н., профессор кафедры цемента, керамики и стекла Южно-Казахстанского государственного университета имени М. Ауэзова (Казахстан)

**Шварц
Данил Леонидович** к.т.н., доцент, зав. кафедрой Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (Россия)

Bogdana Koumanova Главный редактор журнала «Journal of Chiminal Tehnology and Metallurgy» (Болгария)

**Лежнев
Сергей Николлаевич** к.т.н., профессор кафедры металлургии и горного дела Рудненского индустриального института (Казахстан)

Панин Евгений Александрович	доктор PhD, ст.преподаватель кафедры «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета (Казахстан)
Кузьмин Сергей Львович	к.т.н., декан горно-металлургического факультета Рудненского индустриального института (Казахстан)
Шалдыкова Багит Абитовна	к.ф.-м.н., декан факультета энергетики и информационных систем Рудненского индустриального института (Казахстан)
Кадникова Ольга Юрьевна	к.э.н., декан факультета экономики и строительства Рудненского индустриального института (Казахстан)
Мирюк Ольга Александровна	д.т.н., профессор, зав. кафедрой строительства и строительного материаловедения Рудненского индустриального института (Казахстан)
Хабдуллина Зауреш Кинаятовна	к.т.н., зав. кафедрой электроэнергетики и теплоэнергетики Рудненского индустриального института (Казахстан)
Тажобаев Радик Хамитович	к.п.н., зав. кафедрой инженерных и социально-гуманитарных дисциплин Рудненского индустриального института (Казахстан)
Ахметов Дархан Серикович	доктор PhD, зав. кафедрой экономики и менеджмента Рудненского индустриального института (Казахстан)
Штыкова Ирина Владимировна	магистр, зав. кафедрой автоматизации, информационных систем и безопасности Рудненского индустриального института (Казахстан)

**СЕКЦИЯ 1. ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ:
МИРОВОЕ, НАЦИОНАЛЬНОЕ, РЕГИОНАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ**

УДК 666.942

**ВЛИЯНИЕ ВИДА И ДОЗИРОВКИ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ
СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ
ТОО «СТАНДАРТ ЦЕМЕНТ»**

**INFLUENCE OF THE TYPE AND DOSAGE OF POLYCARBOXYLATE
SUPERPLASTICIFIATORS ON THE PROPERTIES OF CEMENT LLP
«STANDARD CEMENT»**

Таймасов Б.Т., Жаникулов Н.Н., Худякова Т.М.

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан*

taimasovukgu@mail.ru

Taimasov B.T., Zhanikulov N.N., Khudyakova T.M.

M.Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan

Аннотация: Проведены лабораторные исследования влияния вида и концентрации поликарбоксилатных суперпластификаторов PCE 41A и PCE 42A на реологические и прочностные свойства цементного теста и камня двух видов портландцементов завода ТОО «Стандарт Цемент». При введении добавок в PCE количестве 0,1-0,5 % текучесть цементной пасты при В/Ц = 0,3 по миниконусу увеличивается с 45-48 мм (без добавки) до 190-210 мм. Цементная паста длительное время сохраняет свою текучесть. При хранении в течение 60, 120 и 180 минут текучесть постепенно незначительно снижается и составляет 164-190 мм. В возрасте 28 сут прочность образцов цементного камня ПЦ 400 Д20/СЕМІІ при В/Ц = 0,3 с добавками 0,2 % PCE 41A и 42A увеличивается с 42 МПа до 74-76 МПа, а бездобавочного цемента ПЦ 500 Д0/ СЕМІ с 44,6 до 75-77 МПа.

Ключевые слова: цемент, прочность, поликарбоксилатный суперпластификатор, цементный раствор, распылив конуса.

Abstract: Laboratory effects of the type and concentration of polycarboxylate superplasticizers PCE 41A and PCE 42A on the rheological and strength properties of the cement test and stone of two types of portland cement of the plant LLP "Standard Cement" were carried out. With the addition of 0,1-0,5 % PCE additives, the flowability of the cement paste at W/C=0,3 by minicone increases from 45-48 mm (without additive) to 190-210 mm. Cement paste for a long time retains its fluidity. When stored for 60, 120 and 180 minutes, fluidity gradually decreases slightly and amounts to 164-190 mm. At the age of 28 days the strength of cement stone samples PC 400 D20/CEMII at W/C=0,3 with 0,2 % additions of PCE 41A and 42A increases from 42 MPa to 74-76 MPa, and no-additive PC 500 D0/CEM I from 44,6 to 75-77 MPa.

Keywords: cement, strength, polycarboxylatesuperplasticizer, cementslurry, coneblom.

Среди применяемых в технологии цемента и бетона добавок особое место занимают суперпластификаторы. Новые добавки получили название «поликарбоксилаты». Это название подчеркивает общность их основы: полимерная цепь, образованная α -, β -ненасыщенными карбоновыми кислотами, а все вторичные признаки (соотношение между кислотными и сложноэфирными группами, наличие или отсутствие дополнительных функциональных групп (в том числе, второй карбоксильной группы в мономерном звене, ангидридной или имидной группировки, сульфогруппы, числа сомономеров) лишь определяют степень различий в химическом составе и обуславливают различия в достигаемых технологических эффектах [1].

Поликарбоксилатные суперпластификаторы гребенчатой структуры с основной и боковыми цепями, которые представляли собой новый класс добавок для бетона, разработал японский ученый Т. Хирата. Это стало важным этапом в развитии технологии производства бетона [2]. Основными достоинствами новых добавок явились: высокий водоредуцирующий эффект (30 % и выше), способность проявлять пластифицирующий эффект при низких и сверхнизких водоцементных отношениях (0,2-0,3 для цементных паст) и низкие рабочие дозировки (~0,2 %) [3]. Поликарбоксилатные суперпластификаторы способствуют повышению текучести, прочности и стойкости при химической и морозной агрессии, уменьшению водопотребности, экономии цемента в производстве бетона. Применение поликарбоксилатных суперпластификаторов позволяет получать цементную матрицу с высокой плотностью и водонепроницаемостью, способствует ускорению гидратации клинкерных минералов, приводит к формированию в цементном камне стабильных высокопрочных структур из низкоосновных гидросиликатов кальция [4]. Кроме того, профессором Й. Планком разработаны определенные молекулярные структуры поликарбоксилатных суперпластификаторов, которые обеспечивают длительное (>2 ч) сохранение подвижности, т.е. работоспособность бетонных смесей без снижения прочностных показателей на ранних стадиях твердения [5].

Новое поколение суперпластификаторов, полученных на базе поликарбоксилатных эфиров, обеспечивает высокую подвижность и связность цементных смесей при низких значениях водоцементного отношения, длительную сохраняемость их свойств. До настоящего времени не изучено влияние суперпластификаторов РСЕ 41А и РСЕ 42А на свойства цементов различного состава ТОО «Стандарт Цемент». Цементный завод ТОО «Стандарт Цемент» ежегодно выпускает около 2 млн т цементов и покрывает значительную потребность Южного и Центрального Казахстана, соседнего Узбекистана, где работают около сотни крупных, средних и мелких предприятий по выпуску бетона и железобетона.

Исходные материалы и методы исследования

В техническом университете Мюнхена (ТУМ, Германия) под руководством профессора Й.Планка были разработаны новые виды суперпластифицирующих

поликарбоксилатных добавок PCE 41A и PCE 42A, которые были любезно предоставлены для исследований ученым Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауэзова в Республике Казахстан. Эксперименты были выполнены на кафедре «Технологии цемента, керамики и стекла» ЮКГУ им. М. Ауэзова и в Техническом университете Мюнхена. Проведено исследование влияния вида и дозировки поликарбоксилатных суперпластификаторов на подвижность, сохраняемость текучести во времени и прочностные показатели цементного камня и раствора различных цементов. В наших экспериментах использованы два вида цементов ТОО «Стандарт Цемент»: бездобавочный СЕМ I 52,5 N и портландцемент с миндобавкой СЕМ II 42,5 N, а также 2 вида поликарбоксилатных суперпластификаторов: PCE 41A и PCE 42A. Химический и минералогический составы цементов приведены в таблице 1 и таблице 2.

Таблица 1 –Химический состав цементов

Оксиды	Цементы	
	СЕМ I 52,5 N	СЕМ II 42,5 N
ппп [%]	2,65	2,03
CaO [%]	60,98	60,76
SiO ₂ [%]	23,31	23,79
Al ₂ O ₃ [%]	4,07	4,29
Fe ₂ O ₃ [%]	3,58	3,22
MgO [%]	1,31	1,68
Na ₂ O [%]	0,34	0,39
K ₂ O [%]	0,81	0,82
SO ₃ [%]	2,00	2,04
TiO ₂ [%]	0,17	0,21
MnO [%]	0,05	0,43
P ₂ O ₅ [%]	0,27	0,32
SrO [%]	0,06	0,06
ZrO ₂ [%]	0,01	0,01
BaO [%]	0,29	0,34
Cl [%]	0,07	0,00
CuO [%]	0,03	0,00
Сумма [%]	97,35	98,35

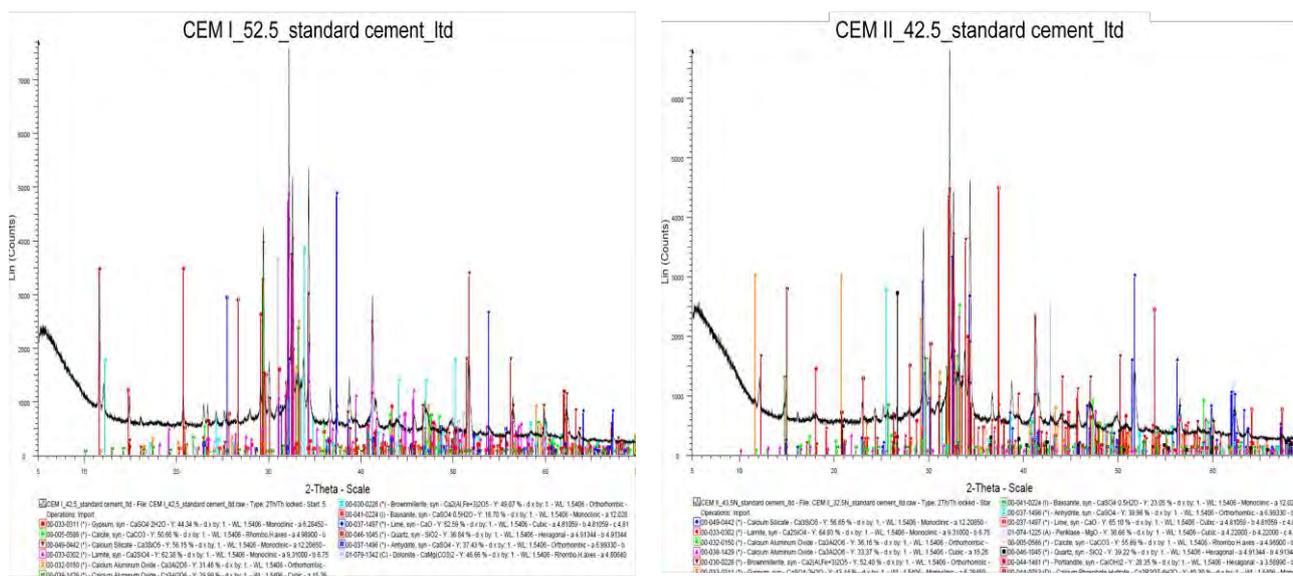
Исследуемые портландцементы изготовлены на алитовых среднеалюминатных клинкерах завода сухого способа с печью Ø4x60 м с пятиступенчатым циклонным теплообменником и декарбонизатором. Цемент СЕМ II 42,5 содержит 15,58 % аморфной фазы, что свидетельствует о введении при помолке около 20 % электротермофосфорного шлака в качестве активной минеральной добавки. Для регулирования сроков схватывания вводился гипсовый камень Джамбулского месторождения, состоящий в основном из дигидрата CaSO₄·2H₂O с примесями ангидрита.

Таблица 2 – Минералогический состав цементов ТОО «Стандарт Цемент»

Минеральные фазы, %	Цементы	
	СЕМ I 52,5	СЕМ II 42,5
C ₃ S, м	55,09	44,19
C ₂ S, м	10,74	14,64
C ₃ A, с	1,23	0,68
C ₃ A, о	5,75	3,69
C ₄ AF, о	18,02	12,76
Свободная СаО по Ритвельду	0,91	0
Свободная СаО по Франку	0,46	0,47
Периклаз	0,00	0,34
Ангидрит СаSO ₄	1,22	0,47
Полугидрат (СаSO ₄ ·0,5H ₂ O)	0,02	0,09
Дигидрат (СаSO ₄ ·2H ₂ O)	2,74	2,67
Кальцит	2,98	0
Кварц	0,82	0,63
Портландит	0,00	2,70
Арканит /	0,00	1,09
Аморфная фаза	-	15,58

Цементы содержат умеренное количество оксидов магния, щелочей и серы, и незначительное количество примесных оксидов титана, марганца, стронция, бария, которые не должны оказывать заметного влияния на процессы пластификации, гидратации и твердения цементов.

Рентгенографический анализ (X-Rayanalysis)СЕМ I, СЕМ II проводились на установке D8 от Bruker AXS (Карлсруэ, Германия) на медном (Cu) аноде и детекторе Vantec PSD. Исследование проводилось в лаборатории кафедры «Химия строительстве» Технического университета Мюнхена (Германия). Шкала – 2-θ, начало – 5,000°, конец – 69,996°. Шаг – 0,008°. Время шага – 182,6 секунд [6]. Рентгенограммы используемых цементов показаны на рисунке 1.



а) – СЕМ I
 б) – СЕМ II
 Рисунок 1 – Рентгенограммы используемых цементов

По результатам X– Ray анализа цементы состоят из алитовой, белитовой, алюмоферритной фазы. Трехкальциевый алюминат присутствует в орторомбической и полиморф сингонии. Для изучения влияния поликарбоксилатных суперпластификаторов на подвижность цементных паст использовали лабораторный миниконус размерами D=41 мм, d=21 мм, H=60 мм, разработанный учеными НТЦ ООО «НПП «Макромер» им. В.С.Лебедева» г. Владимир, Россия [6].

Удельная поверхность по Блейну составляла для СЕМ I 52,5 3274 см²/г, для СЕМ II 42,5 3067 см²/г, диаметр, ниже которой находится 50 частиц d₅₀ – мкм составляла соответственно 17,2 и 16,52 %. Средний диаметр частиц определяли методом гранулометрического анализа (Particlecizeanalyser CILAS 1064, Quantachrome, Orleans, France).

Результаты и обсуждения

Оценку подвижности цементных паст в зависимости от вида и дозировки поликарбоксилатного суперпластификатора проводили путем определения диаметра расплыва миниконуса. Реологические свойства цементной смеси в зависимости от вида и дозировки поликарбоксилатного суперпластификатора приведены на рисунке 2.

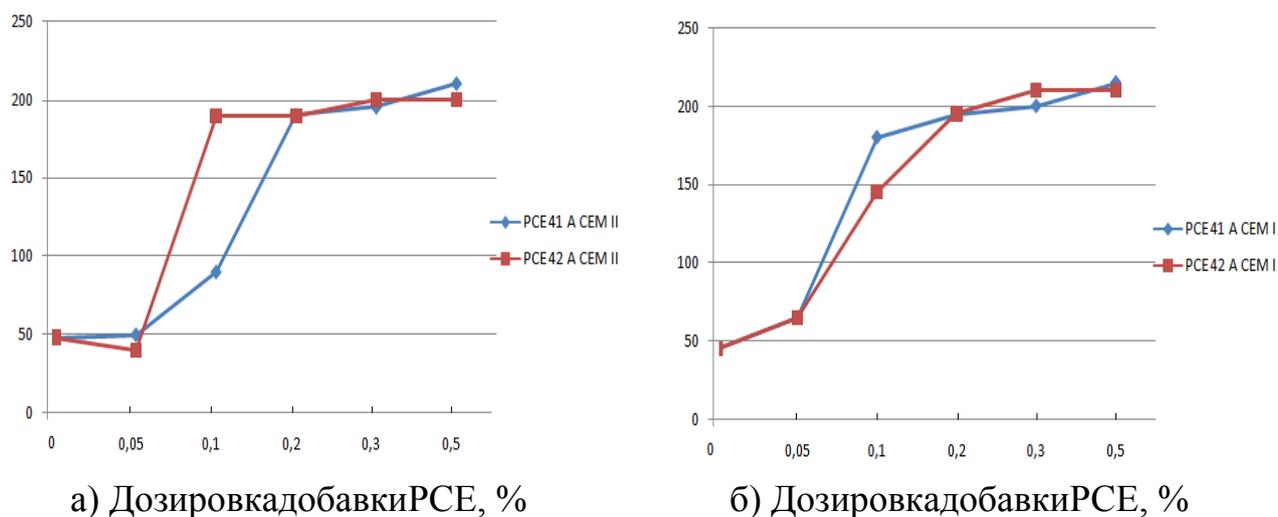


Рисунок 2 – Влияние дозировки PCE на текучесть цементных паст СЕМ II 42,5 (а) и СЕМ I 52,5 (б)

Предварительно приготовили 20 % водный раствор PCE 41 А и PCE 42 А. Взвешивали навеску цемента, добавляли воду или водный раствор суперпластификатора и перемешивали 3 минуты, затем определяли текучесть цементного теста (пасты) с помощью лабораторного миниконуса. Водоцементное отношение было постоянным В/Ц = 0,3. Дозировки добавок изменяли от 0,05 до 0,5 %.

Как видно из данных, принятая нами минимальная дозировка суперпластификаторов 0,05 % не обеспечивает достаточную подвижность цементных паст, текучесть возрастает лишь до 50-65 мм. Добавки PCE 41 А в

количестве 0,1 % повышают текучесть цементов до 90-180 мм, а добавки РСЕ 42 А в количестве 0,1 % до 145-190 мм. Оптимальной дозировкой суперпластификаторов следует считать 0,2 %, при которой текучесть обоих видов цементов возрастает до 190-210 мм. Дальнейшее повышение количества добавки РСЕ не приводит к заметному повышению подвижности цементных паст. Это подтверждает данные работ российских исследователей Петрунина С.Ю., Тарасова В.Н. и др. [7], что высокая эффективность поликарбоксилатов достигается при достаточно малых их дозировках в пределах 0,1-0,3 % от массы цемента. Это объясняется высокой адсорбционной способностью его молекул на поверхности частиц цемента [8, 9].

Эффективность действия двух видов поликарбоксилатов РСЕ 41 А и РСЕ 42 А на пластификацию двух видов портландцементов примерно одинаковая. При достаточно низких дозировках ~ 0,2-0,3 % текучесть цементных паст достигает 190-210 мм. Можно также сказать, что разжижающее действие изученных поликарбоксилатов универсально, по крайней мере, к двум видам цементов ТОО «Стандарт Цемент», различающихся вещественным и минералогическим составом. Это очень выгодно для железобетонных заводов, получающих цемент от разных производителей и выпускающих продукцию различной номенклатуры.

В следующей серии экспериментов нами изучена сохраняемость текучести цементных паст при хранении в неподвижном состоянии в течение 60, 120 и 180 минут (таблица 3). При хранении в неподвижном состоянии в течение этого времени твердая фаза цементной суспензии превращается в достаточно плотный осадок, который после приложения определенных перемешивающих усилий снова превращается в текучее цементное тесто.

Таблица 3 – Реологические свойства цементной смеси в зависимости от дозировки поликарбоксилата и времени выдержки

Видцемента	Время выдержки, мин	В/Ц	Диаметр расплываминиконуса, мм, при введении										
			РСЕ 41А, %						РСЕ 42А, %				
			0	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5
ПЦ 400 Д20	0	0,3	46	50	90	190	195	210	46	190	190	200	200
	60	0,3	-	-	88	187	190	200	-	160	170	195	200
	120	0,3	-	-	60	180	186	190	-	150	168	190	190
	180	0,3	-	-	50	170	184	173	-	145	164	186	184
ПЦ 500 Д0	0	0,3	43	65	180	195	200	215	65	145	195	210	210
	60	0,3	-	48	75	185	200	210	50	75	195	197	200
	120	0,3	-	40	65	180	195	200	48	60	184	185	198
	180	0,3	-	-	60	170	187	195	45	50	172	178	190

Как видно из данных таблицы 3, поликарбоксилатные добавки увеличивают время жизни цементных паст. Через 60 минут хранения в большинстве случаев текучесть цементной пасты фактически не снижается, что свидетельствует о высокой жизнеспособности. Первоначальная текучесть, равная 195 – 210 мм через 120 – 180 минут хранения снижается лишь незначительно до 180-195 мм у обоих видов цементов и суперпластификаторов.

В следующей серии экспериментов производилось непрерывное перемешивание приготовленных цементных паст в течение 30, 60 и 120 мин. Таким образом, имитировали процесс транспортировки бетонной смеси с добавкой поликарбоксилатов в автомобильном миксере на дальние расстояния. Данные по текучести цементных паст при непрерывном перемешивании приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Реологические свойства цементной смеси в зависимости от вида цемента и поликарбоксилата при непрерывном перемешивании

Видцемента	Время перемешивания, мин	В/Ц	Диаметрраспльываминиконуса, мм	
			0,2 % ПСЕ 41А	0,2 % ПСЕ 42А
ПЦ 400 Д20	0	0,3	187	194
	30	0,3	200	205
	60	0,3	188	197
	120	0,3	185	187
ПЦ 500 Д0	0	0,3	194	200
	30	0,3	197	210
	60	0,3	190	195
	120	0,3	188	192

Как видно из данных таблицы 4, перемешивание цементных паст в течение 30 мин приводит к дальнейшему разжижению цементной системы, и текучесть паст увеличивается от исходных 187-194 мм до 200-205 мм. Видимо в этот период продолжается адсорбция молекул поликарбоксилатов на частицах цемента, приводящая к дальнейшему разжижению суспензии. При перемешивании в течение 60 мин текучесть остается на уровне первоначальной. Через 120 мин текучесть цементных паст ПЦ 400 Д20/СЕМІІ незначительно снижается до 185-187 мм по миниконусу. Действие изученных поликарбоксилатов на бездобавочный портландцемент ПЦ 500 Д0 / СЕМІ примерно идентичное.

Влияние поликарбоксилатов на прочность цементного камня проводили на малых образцах-кубиках размерами 2х2х2 см [10, 11] при концентрации добавки 0,2 % при В/Ц равном 0,2 и 0,3. Прочность цементов в возрасте 1, 3 и 28 суток хранения в воде сравнивалась с контрольными бездобавочными образцами, заформованными при В/Ц=0,3 (табл. 5).

Как видно из данных таблицы 5, прочность цементного камня существенным образом зависит В/Ц отношения и сроков твердения.

Начиная с 3 суточного возраста при В/Ц = 0,3 прочность цементного камня ПЦ 400 Д 20/СЕМІІ с добавками поликарбоксилатов составляет 41,45-44,28 МПа и значительно превышает прочность контрольных образцов без добавки, составляющую 28,66 МПа. В 28 суточном возрасте прочность цементного камня с добавками 0,2 % ПСЕ 41 А и ПСЕ 42 А составляет 73,75 МПа и 76,38 МПа, что значительно выше прочности бездобавочных контрольных образцов – 42 МПа. Увеличение прочности составляет 75,6 - 82 %.

Таблица 5 – Прочностные показатели цементного камня с добавками РСЕ41А и РСЕ42А

Видцемента	Наименование добавки	Количество добавки, %	В/Ц	Прочность образцов 2х2х2 см, МПа, через		
				1 сут	3 сут	28 сут
ПЦ400Д20	Без добавки	0	0,3	15,10	28,66	41,98
	РСЕ 41 А	0,2	0,3	10,37	41,45	73,75
	РСЕ 42 А	0,2	0,3	14,41	44,28	76,38
	РСЕ 41 А	0,2	0,2	16,89	32,74	45,54
	РСЕ 42 А	0,2	0,2	15,57	46,48	48,69
ПЦ500Д0	Без добавки	0	0,3	21,41	36,63	44,60
	РСЕ 41 А	0,2	0,3	12,79	42,66	75,37
	РСЕ 42 А	0,2	0,3	16,05	48,28	76,91
	РСЕ 41 А	0,2	0,2	33,55	46,47	54,06
	РСЕ 42 А	0,2	0,2	36,26	57,32	58,74

Одной из причин такого большого прироста прочности может быть высокая плотность литых образцов и положительное влияние на процессы гидратации клинкерных минералов самого поликарбоксилата, а также улучшение структуры кристаллов гидратных новообразований при введении добавок. Процессы твердения второго вида изученного нами цемента ПЦ 500 Д0 / СЕМ I протекают примерно аналогичным путем, только прочность образцов во все сроки твердения несколько выше чем в первом цементе.

Исследовано влияние поликарбоксилатных суперпластификаторов РСЕ 41А и РСЕ 42А на пластичность (распływ стандартного конуса), прочность и плотность цементных растворов по ГОСТ 310.4-81 [12].

Дозировка добавок РСЕ составляла 0,1 % от массы цемента, В/Ц отношение было неизменным - 0,4 (таблица 6).

Таблица 6 – Влияние поликарбоксилатов на пластичность, прочность и плотность цементных растворов

Цемент	Вид и количество добавки, %	Удельная поверхность по Блейну, см ² /г	В/Ц	Распływ конуса, мм, %	Прочность образцов 4х4х16 см, МПа/ %, при				Плотность образцов, кг/м ³	
					изгибе		сжатию		3 сут	28 сут
					3 сут	28 сут	3 сут	28 сут		
СЕМ II 42,5	-	3067	0,4	120/ 100	6,1/ 100	8,3/ 100	38,7/ 100	56,3/ 100	2302	2318
	РСЕ 41 А - 0,1		0,4	175/ 146	7,3/ 120	9,6/ 116	43,0/ 111	70,9/ 126	2335	2367
	РСЕ 42 А - 0,1		0,4	181/ 151	8,0/ 131	9,9/ 119	50,6/ 131	72,6/ 129	2344	2358
СЕМ I 52,5	-	3274	0,4	122/ 100	6,6/ 100	9,0/ 100	39,7/ 100	60,4/ 100	2312	2320
	РСЕ 41 А - 0,1		0,4	125/ 102	7,7/ 117	10,6/ 118	49,9/ 126	76,4/ 126	2340	2378
	РСЕ 42 А - 0,1		0,4	165/ 135	7,6/ 115	10,0/ 111	48,8/ 123	76,8/ 127	2372	2382

Распływ конуса СЕМІІ 42,5 при введении РСЕ 41А и РСЕ 42А в количестве 0,1 % возрастает с 120 мм до 175 – 181 мм, у СЕМІ 52,5 показатели немного ниже и составляют соответственно 125 и 165 мм.

При добавлении РСЕ 41А в количестве 0,2 % к СЕМІ 52,5 при В/Ц=0,4 распływ конуса составил 220 мм, произошло расслоение цементного раствора вследствие получения чрезмерно жидкой консистенции (цементная суспензия буквально отделилась от частиц песка). Поэтому было решено изучить прочность цементных растворов при введении 0,1 % добавок РСЕ.

При концентрации 0,1 % пластифицирующее действие РСЕ 42А выше, чем у РСЕ 41А, лучше подвергается пластификации портландцемент с минеральной добавкой СЕМІІ 42,5 (прирост пластичности раствора 46-51 %). В 28 сут возрасте увеличение прочности при сжатии образцов цементного раствора примерно одинаковое и составляет 26-29 %, прочность при изгибе увеличивается на 16-19 %. Соответственно увеличивается и плотность образцов цементно-песчаных растворов.

Таким образом, установлено, что поликарбоксилатные добавки РСЕ 41А и РСЕ 42А в очень малых дозировках 0,1 % оказывают эффективное разжижающее действие на цементно-песчаные растворы, изготовленные на цементах ТОО «Стандарт Цемент» различного вещественного состава. Вне зависимости от содержания или отсутствия активной минеральной добавки в виде 20 % электротермофосфорного шлака распływ стандартного конуса возрастает с исходных 120-122 мм до 165-181 мм или на 35-51 %. Прочность образцов в 28 сут возрасте увеличивается на 26-29 %, что вероятно, можно объяснить хорошей адсорбцией молекул поликарбоксилатов на частицах цемента, улучшением структуры цементного камня, более плотной структурой цементно-песчаного раствора, повышением плотности и снижением пористости.

Выводы

1. Поликарбоксилатные добавки РСЕ 41А и РСЕ 42А эффективно пластифицируют портландцементы ТОО «Стандарт Цемент» СЕМІ 52,5 и СЕМІІ 42,5. При низких дозировках ~ 0,2-0,3 % текучесть цементных паст достигает 190-210 мм по миниконусу. Дальнейшее увеличение дозировки добавки не приводит к росту текучести.

2. Поликарбоксилатные добавки увеличивают время жизни цементных паст. Через 60 минут хранения в большинстве случаев текучесть цементной пасты фактически не снижается, что свидетельствует о высокой жизнеспособности. Первоначальная текучесть, равная 195-210 мм через 120-180 минут хранения снижается лишь незначительно до 180-195 мм у обоих видов цементов и суперпластификаторов.

3. Изучены реологические свойства цементных паст при непрерывном перемешивании. Перемешивание в течение 30 мин приводит к дальнейшему разжижению цементной системы, и текучесть паст увеличивается от исходных 187-194 мм до 200-205 мм, через 60 мин текучесть остается на уровне первоначальной, через 120 мин текучесть цементных паст незначительно снижается до 185-187 мм по миниконусу.

4. Добавки PCE 41A и PCE 42A в количестве 0,2 % при В/Ц = 0,3 увеличивают 3 суточную прочность цементного камня ПЦ 400 Д20/СЕМІІ с 28,66 МПа (без добавки) до 41,45-44,28 МПа или в 28 суточном возрасте прочность возрастает с 42 МПа до 73,75 МПа и 76,38 МПа или 75,6 - 82 %.

5. Поликарбоксилатные добавки PCE 41A и PCE 42A в очень малых дозировках 0,1 % оказывают эффективное разжижающее действие на цементно-песчаные растворы, изготовленные на цементах ТОО «Стандарт Цемент» различного вещественного состава.

Распływ стандартного конуса возрастает с исходных 120-122 мм до 165-181 мм или на 35-51 %. Прочность образцов в 28 сут возрасте увеличивается на 26-29 %, что можно объяснить улучшением структуры цементного камня, более плотной структурой цементно-песчаного раствора, повышением плотности и снижением пористости.

Список литературы

- 1 8-th CANMET/ACI Int. Conf. on Superplasticizers, SP-239, Sorrento, 2006.
- 2 Hirata, T. (1981), Cement dispersant, JP 842,022 (S59-018338).
- 3 Горбунов С.П., Федоров Ю.Б., Трофимов Б.Я., Гамалий Е.А. Эффективность пластифицирующих добавок в самоуплотняющихся растворных смесях // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительствоиархитектура». – 2005. – Вып. 3. – № 13 (53).
- 4 J. Plank, E. Sakai, C.W. Miao, C. Yu, J.X. Hong «Chemical admixtures – Chemistry applications and their impact on concrete microstructure and durability» // Cement and concrete research. 78 (2015). - P. 81-99
- 5 Lim, G.G., Hong S.S., Kim D.S., Lee B.J., Rho J.S., (1999), «Slump loss control of cement paste by adding polycarboxylic type slump-releasing dispersant», Cem.Concr. Res., 29, 233-229
- 6 Мырзакожа Д.А., Мирзаходжаев А.А. Современные методы исследований. – Алматы, 2006. – С.135 -152.
- 7 Petrunin S.Y., Tarasov V.N., Korotkova N.P., Garnavesov A.P., Sirotkina I.A., «The effect of the molecular structure of polycarboxylate superplasticizers on concrete properties» // «ALITinform». №1 (42), 2016. – P.68-77.
- 8 Kong Xiangming, Lu Zichen «Progress of PCE science» / «ALITinform». №1 (42), 2016. – P.52-67.
- 9 Планк Й., Таймасов Б.Т., Штефан Д., Хирш К., Жакипбаев Б.Е. Химия строительных материалов/ Учебник. - Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2016. - С.173-188.
- 10 Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1973. –504 с.
- 11 Таймасов Б.Т. Химическая технология вяжущих материалов: Учебник /– Шымкент: ЮКГУ им. М.Ауэзова, 2014. – 425с.
- 12 ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. - М.: Госстандарт СССР. Введен 01.07.1983. – 12 с.

**КОНЦЕПЦИЯ «УМНЫЙ ГОРОД» В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ:
ОПЫТ РОССИИ И КАЗАХСТАНА**

**SMART CITY CONCEPT IN DIGITAL ECONOMICS: EXPERIENCE OF
RUSSIA AND KAZAKHSTAN**

Божко Л.Л.¹, Тургель И.Д.², Ульянова Е.²

¹Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,

*²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.
Ельцина, Россия*

bogkoll@rii.kz

Bozhko L.L.¹, Turgel I.D.², Ulyanova E.²

¹Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,

²Ural Federal University, Yekateriyburg, Russia

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к организации управления охраной окружающей среды в рамках внедрения технологий SmartCity. Для чего проведен ретроспективный анализ трансформации понятия «Умный город» и выделены основные черты, характеризующие современную трактовку SmartCity: применение информационных технологий во всех функциональных сферах городской экосистемы, активное включение жителей в процессы управления городом через организацию системы пользовательских сервисов, ориентация на устойчивое развитие города в интересах будущих поколений. В ходе исследования рассмотрены ключевые факторы загрязнения окружающей среды в городах с выделением системных вызовов в экологической сфере, которые могут быть решены в рамках внедрения концепции SmartCity. Для каждого экологического фактора приведены перспективные технологии системы «Умный город» и эффекты, которые могут быть достигнуты при их внедрении. В практической части статьи представлен опыт разработки и применения концепции SmartCity, в частности элементов системы, направленных на охрану окружающей среды, в городах России и Казахстана. Эмпирической основой анализа послужили результаты исследований, проведенных в рамках НИР «Совершенствование политики государственного регулирования ускоренной кластеризации индустриальных регионов», выполняемой по грантовому финансированию Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Ключевые слова: умный город, развитие окружающей среды, экология, цифровая экономика, устойчивый умный город.

Abstract: In the article approaches to organization of management of the environment protection within the framework of introduction of Smart City technologies are reviewed. For this purpose a retrospective analysis of transformation of the Smart City notion has been carried out and basic characteristics of a modern smart city interpretation have been distinguished: the use of information technology

in all functional areas of the city ecosystem, active involvement of residents in the processes of city management through organization of a system of user services, commitment to sustainable development of a city to the benefit of future generations. In the research process the key factors of the environment pollution in cities were reviewed having identified systemic challenges in the environmental field, which can be solved within the framework of introduction of the Smart City concept. For each environmental factor promising technologies of the Smart City system and effects that may be reached by means of their introduction are provided. In the practical part of the article smart city's concept development and implementation experience is presented, in particular of the system elements aimed at the environmental protection in the cities of Russia and Kazakhstan. The empirical basis of the analysis is constituted by the results of the studies carried out within the framework of the research work «Enhancement of the State Regulation Policy of Accelerated Clustering of the Industrial Regions» implemented on the grounds of the grant funding of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

Keywords: smart city, environmental development, ecology, digital economy, sustainable smart city.

Текущие тенденции роста городов, их экономического и демографического вклада в социально-экономическое развитие стран ставят новые задачи в области управления городским функционированием. В частности, по данным Всемирного Банка в настоящее время в городах проживает более 55% населения планеты, а к 2050 году эта доля превысит 68%. Учитывая вклад городов в текущий уровень мирового ВВП – более 80%, процесс урбанизации может способствовать устойчивому экономическому росту при условии эффективного управления [1]. С другой стороны, процессы расширения и роста масштабов городов могут приводить к негативными последствиям: рост миграции, избыточная плотность жителей, транспортные проблемы, увеличение давления на окружающую среду, постоянные изменения запросов со стороны жителей и бизнеса к качеству и возможностям городской среды. Американский экономист Вернер Хендерсон относит эти эффекты к внутренним издержкам городов большого размера [2]. Это формирует определенные вызовы для эффективного управления городами, направленного на повышение качества жизни горожан и нивелирование возникающих проблем.

В тоже время текущие тенденции четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) [3], изменение принципов индустриального и экономического развития, повсеместное внедрение цифровых технологий во всех сферах экономики и жизнедеятельности населения создают новые условия для постепенного пересмотра подходов к управлению городским развитием, которое все в большей степени опирается на передовые технологические решения, цифровизацию и платформизацию. Задача заключается в переводе системы управления городом и отдельных её сервисов и элементов в единую интегрированную цифровую городскую экосистему, удовлетворяющую постоянно изменяющимся потребностям горожан, бизнеса, власти и условиям

внешней среды. Актуальным трендом сегодня является переход к цифровой экономике. Под цифровой экономикой следует понимать систему цифровых технологий, применяемую во всех сферах экономики, с целью эффективного, устойчивого и безопасного развития национального хозяйства [4].

Стоит отметить прямую связь уровня развития цифровой экономики с уровнем глобальной конкурентоспособности экономики и уровнем устойчивого развития стран. Как правило, мировые лидеры по разработке технологий и применению цифровой экономики в рейтинге IMD World Digital Competitiveness Ranking являются лидерами в рейтингах Global Competitiveness Index и Country Sustainability Ranking [5]. Позиции России и Казахстана в этих рейтингах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Позиции России и Казахстана в мировых рейтингах

Country	Country Global Competitiveness Index 2017-2018	IMD World Digital Competitiveness Ranking 2017	Sustainability Ranking 2017
Россия	38	45	55
Казахстан	57	32	42

Управление устойчивым развитием в настоящее время выступает приоритетной задачей, которая представлена в международных стандартах и документах территориального планирования [6]. В основе модели устойчивого развития, предложенной ООН, лежит установка, что удовлетворение нужд нынешнего поколения происходит без ущемления возможностей будущих поколений удовлетворять свои потребности [7], поэтому использование парадигмы устойчивого развития в качестве базовой подразумевает выстраивание стратегий развития цифровой экономики с трех позиций: вклада в стимулирование экономического роста, ускорение социального развития и улучшение состояния окружающей среды.

При этом, именно целям защиты окружающей среды посвящена почти треть всех целей в области устойчивого развития (6 из 17), принятых ООН в 2015 году и действующих до 2030 года [8]:

- цель 6: обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех;
- цель 11: обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов.
- цель 12: обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства;
- цель 13: принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями;
- цель 14: сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития.
- цель 15: защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с

опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия.

В настоящее время на территории России и Казахстана разработаны и действуют государственные программы в области внедрения информационно-коммуникационных цифровых технологий на национальном уровне. В России – это Программа «Цифровая экономика в Российской Федерации» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р), в Казахстане - Государственная Программа «Цифровой Казахстан» (утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 12 декабря 2017 года № 827). В каждой из этих программ отдельным приоритетом является создание «умных городов» (SmartCities). «Умный город» является комплексной концепцией развития территории, охватывающей все направления ее функционирования и все отраслевые комплексы экономики города. В SmartCities должны формироваться экологичное будущее территории и закладываться экономический рост с основополагающей чертой – использованием интеллектуальных систем обработки информации [9]. Поэтому одним из элементов системы умного города является управление в области экологического благополучия территории.

Технологии управления охраной окружающей среды как элемент Smart Cities (Methods and Procedures). Экологические вызовы.

Внедрение концепции SmartCity позволяет одновременно решать комплекс задач, стоящих перед региональной и национальной экономикой: разработка и внедрение высокотехнологичных решений, что способствует развитию рынков новых производственных и интеллектуальных технологий, и преодоление системных вызовов, с которыми сталкиваются города на текущем этапе развития. Рассмотрим ключевые вызовы в экологической сфере, стоящие перед городами постсоветского пространства (на примере России и Казахстана). Все вызовы сгруппированы по следующим аспектам:

- производство: высокий износ основных фондов производственных предприятий (50,9% по итогам 2017 года в РФ, 41,9% – в Казахстане), недостаточный уровень инвестиций в инфраструктуру, направляемых на охрану окружающей среды и повышение промышленной безопасности объектов (только 1% инвестиций в основной капитал в Российской Федерации по итогам 2017 года был направлен на рациональное природопользование, в Казахстане эта цифра составила 0,99%) являются причинами низкого процента утилизации вредных выбросов в окружающую среду (в атмосферу, водные ресурсы и почву). Так, согласно, данным Минприроды России, степень загрязнения воздуха является критически высокой в 20 городах, в которых проживает более 4,1 млн. человек [10]. Среди этих городов шесть – с предприятиями черной и цветной металлургии, семь – с предприятиями машиностроения, четыре – с предприятиями лесной и деревообрабатывающей промышленности. Поэтому, когда одним из основных источников загрязнений являются крупные промышленные предприятия, расположенные на территории городов, возникает двойственная задача: с одной стороны, снизить негативное

воздействие на окружающую среду, с другой – увеличить экономическую эффективность деятельности этих предприятий;

- транспорт: расширение застройки и повышение плотности населения городов увеличивает нагрузку на транспортную систему городов, улично-дорожная сеть оказалась неспособной воспринять резко возросший уровень автомобилизации, кроме того увеличение числа транспортных средств оказывает существенный вклад в увеличение негативного влияния на качество атмосферного воздуха в городах. По данным Росстата в России за 2017 год около 45% загрязнения атмосферы приходится на передвижные источники выбросов (автомобильный и железнодорожный транспорт), в Казахстане – 50%;

- городское хозяйство: степень износа основных фондов в сфере ЖКХ и строительства в среднем по регионам России достигла 45% по итогам 2017 года, в Казахстане – 43,9%. При этом, рост эксплуатационных расходов на поддержание в работоспособном состоянии имеющейся инфраструктуры только увеличивается. Так, по данным Росстата в 2015 году доля полностью изношенных основных фондов сбора, очистки и распределения воды составила около 20%, теплоэнергии – 13% [11]. Это в свою очередь увеличивает риски возникновения аварий и потерь энергии, что в конечном счете, оказывает негативное влияние на окружающую среду и может приводить к техногенным ситуациям. Еще одним вызовом для руководства городами и регионами в России в области охраны окружающей среды являются изменения в правилах сбора и утилизации отходов. Новые правила в сфере обращения с отходами производства и потребления требуют перестройки всей системы, поэтому своевременное внедрение новых технологий позволит оказать существенное влияние на оптимизацию и повышение эффективности данного вида деятельности;

- люди: с развитием технологий общество и бизнес начинают предъявлять все более высокие требования к качеству и оптимальности городской среды. Такие запросы касаются вопросов благоустройства, общественной безопасности, сервисов, которые можно получить в городах. Проблема заключается в том, что большинство городов не в состоянии удовлетворить эти потребности. Более того, ускорение развития технологий повышает скорость возникновения этих запросов, а в силу ограниченности бюджетов городов, территории не успевают соответствовать по качеству и удобству запросам жителей. Попыткой ответить на данный вызов стал приоритетный проект «Формирование комфортной городской среды», запущенный в России 2017 году [12]. В рамках реализации этого проекта, в муниципальную программу благоустройства могут включаться различные объекты инфраструктуры комфорта - парки (скверы), набережные, центральные улицы, уборка свалок, «зоны гостеприимства» и прочие объекты. Стоит отметить, что большинство перечисленных объектов относятся к природоохранному комплексу города. Не менее важный вызов, предстоящий решать в рамках внедрения элементов SmartCity в городах, связан с кадровым вопросом, включающим обучение персонала информационным технологиям, лежащим в основе умного города;

- управление: одним из ключевых вызовов, стоящих перед городами, внедряющими элементы цифровой экономики, является не столько разработка и внедрение самих смарт-сервисов, сколько неразвитость инфраструктуры, позволяющей эти сервисы интегрировать в единую систему управления. Важным является необходимость выстраивания эффективного сотрудничества между городскими и региональными властями, представителями бизнеса, общественных организаций и жителями города. Это требует целенаправленной политики формирования эффективных коммуникаций со всеми важными для развития города стейкхолдерами.

Серьезным вызовом на пути внедрения новых технологий в городское пространство выступает отсутствие соответствующей нормативно – правовой и методической базы: понятие умного города, его технологических компонентов и пр. должны быть отражены в законодательстве [11].

Впервые упоминания о концепте smartcity относятся к началу 2000-х годов [11]. Тогда в основе идеи лежало использование ИТ и соответствующей инфраструктуры для создания виртуального пространства города в информационном обществе [13], [14]. Затем акценты в концепции умного города сместились в сторону повышения эффективности управления городами с применением информационных технологий [15]. В последующем фокус с информационных технологий сместился в сторону передовых технологий в целом (включая ИТ), соответствующих экологическим принципам и тенденциям экономии ресурсов при условии достижения запланированных результатов [16]. В период до 2016 года понятие умного города стало включать понимание умного устойчивого города (smartsustainablecity), которое подразумевает не только активное использование информационно-коммуникационных и других передовых технологий, но и удовлетворение потребностей настоящих и будущих поколений без негативного влияния на экономическую, социальную и экологическую составляющие города [17]. Однако в настоящее время по данным McKinsey [18] урбанисты пришли к новой модели умного города, фокус в котором смещен с технологической составляющей на человека, на активное вовлечение жителей города в его развитие.

Так, по мнению исследователей, современный умный город – это не просто муниципальное образование с хорошо развитой технологической инфраструктурой, а место, где жизнь человека обретает новое качество благодаря умным решениям. Благодаря использованию технологий и цифровизации традиционных услуг люди используют свои ресурсы и время более рационально и продуктивно – становясь настоящими жителями умного города. Конечно, это не отменяет важность технических и инфраструктурных решений для умного города, поскольку они позволяют городским властям и жителям экономить свои время, энергию и деньги, но зачастую эти технологии имеют незаметное влияние на жизнь и работу простого человека. Поэтому при внедрении элементов умного города, необходимо учитывать не только решения умного города управленческого характера, но и решения, направленные на жителей [18].

Все существующие концепции понятия «умный город» выделяют различные аспекты функционирования города, при этом наибольшее внимание, с точки зрения цифровизации, уделяется, как правило, информационно-телекоммуникационному сектору, транспортной системе, элементам городского хозяйства (водоснабжение, энергетика, теплоснабжение), вопросам управления. Однако, это далеко не исчерпывающий перечень функционально-технологических областей внедрения smartcity. В докладе Международного союза электросвязи (головная организация ООН) [19] на основании анализа успешных практик внедрения цифровых технологий в различных городах мира (в т.ч. в Барселоне, Амстердаме, Гонконге, Берлине, Дублине, Фуджисаве, Дубае) и предложений технологических решений крупнейшими корпорациями были предложены шесть функционально-технологических областей: «умный» образ жизни, «умные» люди, «умная» экономика, «умная» мобильность, «умное» управление, «умная» среда. Данные области легли в основу для последующего формирования пространства сервисов и решений для smartcities. Рассмотрим ключевые решения в области охраны окружающей среды.

Технологии в области решения экологических проблем городов. Ключевыми компонентами системы smartcity с технологической точки зрения являются данные (собираемые в результате функционирования элементов городской экосистемы и обрабатываемые в результате), технологии обработки данных и механизмы принятия решений. Поэтому данные и программные продукты являются главными инструментами управления всеми технологическими процессами [20]. При этом, максимальная эффективность применения концепции умного города будет достигнута, если город технически оснащен для этого, все получаемые и анализируемые данные открыты для всех участников с приемлемым уровнем их визуализации, соблюдается совместимость данных, позволяющая их интеграцию в единое системное пространство.

Большинство технологий умного города могут быть сгруппированы по выделенным ранее функционально-технологическим областям и по сферам их применения в городской экосистеме. Стоит отметить, что специфика экологической тематики заключается в ее многогранности. Поскольку экологические проблемы могут стать результатом функционирования различных сфер жизнедеятельности города, например, неэффективное управление ЖКХ, транспортной системой, низкий уровень обеспечения промышленной безопасности производственных объектов на территории города, проблемы с благоустройством, низкий уровень ответственности к окружающей среде со стороны жителей города и пр. Поэтому технологические решения для построения системы smartcity в области защиты окружающей среды, будут использоваться в различных сферах применения, позволяя решить все рассмотренные экологические вызовы.

К главным факторам загрязнения и ущерба природе в городах относят [21]:

- выбросы автомобильного транспорта;
- промышленные выбросы в окружающую среду и отходы

производства;

- бытовые отходы и загрязнения;
- отходы городского хозяйства;
- производственный и бытовой шум;
- излучения и волновые воздействия средств и систем связи.

Выделенные экологические факторы условно можно разбить группы по источникам загрязнения:

- жители города;
- бизнес (прежде всего, производственные предприятия);
- городское хозяйство.

Ниже представлена таблица 2 с основными факторами, загрязняющими окружающую среду городов, и возможными решениями по снижению воздействия этих факторов. Стоит отметить, что в таблице указаны решения, направленные на нивелирование непосредственно экологических вызовов в рамках цифровизации экономики. В целом политика в области снижения негативного воздействия и охраны окружающей среды может включать различные меры общегосударственного характера: экономические, организационные, инфраструктурные, образовательные и пр.

Внедрение элементов цифровизации, направленных на охрану окружающей среды, в рамках концепции Умный город носят, как правило, комплексный характер и могут одновременно влиять на различные функциональные области городской экосистемы. Поэтому при разработке концепции smartcity для конкретной территории необходимо учитывать наиболее проблемные зоны городского развития и включать смарт-сервисы, позволяющие получить наибольший синергетический эффект от их внедрения, в том числе в сфере экологической безопасности.

Опыт России и Казахстана по внедрению технологий smartcity. Прежде чем перейти к описанию опыта внедрения концепции Умного города в сфере охраны окружающей среды в городах России и Казахстана стоит отметить, что текущий характер внедрения умных технологий может быть разным. Анализ российского опыта показывает, что проекты информатизации реализуются чаще всего в области электроэнергетики, транспорта, мобильности граждан, а также общественной безопасности. Кроме того, все проекты можно сгруппировать в три категории: локальные решения, подсистемы и комплексные решения [11].

Таблица 2 – Факторы загрязнения окружающей среды и возможные решения в рамках цифровизации экосистемы города

Экологические факторы	Проблематика	Перспективные решения	Воздействия
1	2	3	4
Жители			
Выбросы автомобильного транспорта	- главный источник загрязнения воздушного бассейна городов; - несоответствие транспортной системы и улично-дорожной сети текущему и будущему уровню развития автомобилизации	- динамическое моделирование и управление транспортными потоками; - развитие системы общественного транспорта и каршеринга	- уменьшение загруженности дорог; - снижение негативного воздействия на окружающую среду за счет снижения уровня углеводородов; - сокращение энергопотребления транспортных средств
Бытовые отходы и загрязнения	- рост объемов отходов; - низкий уровень ориентированности и ответственности жителей за сохранение окружающей среды	- решения в области умного обращения с отходами потребления (датчики контроля уровня мусора, решения в области умной сортировки и переработки отходов, умные подключенные мусоровозы); - повышение грамотности населения по вопросам рационального обращения с отходами потребления	- постоянный мониторинг в режиме реального времени за счет получения и анализа актуальных данных о состоянии сетей с сенсоров и датчиков; - переход к более рациональной модели обращения с отходами
Бизнес			
Промышленные выбросы в окружающую среду	Низкий процент утилизации вредных выбросов в окружающую среду	- централизованные станции контроля, системы цифрового наблюдения, технологии предиктивного обнаружения, а также системы, обеспечивающие скоординированное реагирование на ситуации, связанные с нарушением промышленной безопасности; - умные системы очистки сточных вод	- расчет вероятности аварий на производстве; - обнаружение и контроль утечек; - повышение качества окружающей среды (воздуха, почвы, воды); - своевременное реагирование на загрязнение аварийные ситуации
Отходы производства	- рост отходов производства; - низкий уровень вторичной переработки отходов промышленного производства.	- решения в области умного обращения с отходами производства; - интеллектуальные системы сортировки отходов производства; - современные заводы переработки отходов производства и потребления	- повышение качества окружающей среды; - вторичное использование ресурсов и отходов производства; - снижение потребления ресурсов

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Производственный шум	- шумовое и волновое загрязнение окружающей среды	- системы мониторинга параметров окружающей среды; - система контроля шумового загрязнения	- повышение качества окружающей среды; - своевременное реагирование на загрязнение аварийные ситуации
Излучения и волновые воздействия средств и систем связи			
Городское хозяйство			
Отходы городского хозяйства (хим. реагенты, соль, битум и т.п.)	- загрязнение окружающей среды	- умные системы очистки сточных вод; - централизованные станции контроля состояния окружающей среды; - геоинформационные платформы для мониторинга и обслуживания объектов городского хозяйства	- повышение качества окружающей среды (воздуха, почвы, воды)
Жилищно-коммунальное хозяйство	- потери ресурсов; - высокая аварийность инфраструктуры ЖКХ; - высокое потребление ресурсов	- интеллектуальные системы учета и дистанционного управления сетями тепло-, водо-, электроснабжения; - применение решений в области возобновляемой энергетики и интеллектуальных энергетических сетей, - развитие системы ситуационно-мониторинговых центров в сфере ЖКХ; - интеллектуальные системы освещения; - открытые платформы потребительских сервисов	- повышение эффективности обнаружения протечек и мест аварий с использованием методов предиктивной аналитики; - снижение потери ресурсов; - повышение эффективности потребления ресурсов
Природные и озелененные территории	- недостаточный уровень озеленения в городах	- системы мониторинга состояний озелененных насаждений и территорий	- повышение качества окружающей среды; - повышение комфортности городской среды
Примечание: Составлено на основе материалов [11], [18], [22], [26].			

Локальные решения являются наиболее распространенным видом и носят, как правило, локальный характер. Чаще всего локальные решения затрагивают отдельные сервисы для пользователей, например, портал «Активный гражданин» в Москве, а также проекты по интеллектуализации отдельных компонентов городской инфраструктуры – умные пешеходные переходы в Тюмени, умные трамваи в Самаре и пр.

Подсистемы носят более комплексный характер и требуют больших инвестиционных затрат на внедрение, поэтому менее внедряются, как правило, поэтапно, поскольку требуют значительных инвестиционных вложений. Наибольшее распространение получили проекты в области безопасного города, например, система «Безопасный город» в Пензе и Санкт-Петербурге, системы уличного освещения в Екатеринбурге, проект модернизации электросетевого комплекса Уфы с применением элементов SmartGrid.

Комплексные решения получают развитие на базе greenfield-проектов, в частности «Иннополис» (Республика Татарстан), «Академический» (Екатеринбург), «СМАРТ Сити» (Казань), «Сколково» (Московская область), «Инноград Южный» (Санкт-Петербург).

Рассмотрим более подробно опыт разработки и внедрения технологий умного города в регионах России и Казахстана.

Концепция внедрения системы smartcity на территории Свердловской области. В настоящее время в России в рамках реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации» выделен приоритетный проект «Умный город», направленный на внедрение систем SmartCity в российских городах. Для отработки технологий и процедур внедрения информационных систем выбраны 18 пилотных городов из 15 регионов. Планируемые к внедрению технологические решения в пилотных городах будут относиться к шести ключевым блокам:

- внедрение «умного» ЖКХ;
- формирование доступной, комфортной и безопасной для здоровья граждан среды;
- создание инновационной городской инфраструктуры;
- цифровизация строительства;
- цифровизация территориального планирования;
- развитие городских транспортных систем.

В 2018 году в Свердловской области была разработана и одобрена Концепция построения на территории субъекта РФ «Умный регион» [22], целью которой стало достижение важнейших долгосрочных целей стратегического развития Свердловской области через системное внедрение сервисов и решений, опирающихся на наиболее современные достижения в области цифровых технологий, позволяющих на новом уровне решить наиболее актуальные для жителей области проблемы. Концепция построена на основе модели устойчивого развития ООН и опирается на подходы к определению функционально-технологических областей развития смарт-сервисов, предложенных в докладе [ссылка на ООН]. Для построения на территории Свердловской области концепции «Умный регион» выделено 6

функциональных областей и более 130 перспективных технологических решений – смарт-сервисов. Реализация Концепции планируется в тесной взаимосвязи с приоритетными проектами Свердловской области, обозначенными в Стратегии социально-экономического развития региона до 2035 года.

Внедрение сервисом распределено по трем этапам.

I этап (2019-2024 гг.):

- сервисы с высокой скоростью проявления эффектов (быстрыми эффектами) и низкой ресурсозатратностью;
- сервисы с низкой скоростью проявления эффектов (отсроченными эффектами) и низкой ресурсозатратностью, реализация которых уже начата.

II этап (2025-2030 гг.):

- сервисы с низкой скоростью проявления эффектов (отсроченными эффектами) и низкой ресурсозатратностью, реализация которых еще не начата;
- сервисы с низкой скоростью проявления эффектов (отсроченными эффектами) и высокой ресурсозатратностью.

III этап (2031-2035 гг.):

- сервисы с высокой скоростью проявления эффектов (быстрыми эффектами) и высокой ресурсозатратностью.

Потребители сервисов «умного региона» должны быть уверены, что их данные будут использоваться только по назначению, а взаимный обмен безопасен и гарантирует достоверность передаваемой информации. Также потребители сервисов должны быть уверены в актуальности, целостности, адекватности информации, которая им предоставляется, уверены в надежности источников, которые ее предоставляют. Безопасность потребителей сервисов является ключевым фактором, обеспечивающим доверие сервисам и лояльность к самой идее «умного региона», высокую скорость внедрения и распространения новых сервисов и инноваций.

Из 130 технологических сервисов, включенных в Концепцию умного региона Свердловской области, 39 влияют на экологическое состояние окружающей среды либо непосредственным, либо опосредованным образом.

Важным элементом реализации Концепции является брендинг - формирование образа Свердловской области как цифрового устойчивого региона. Важным шагом станет вступление Екатеринбурга (столицы Свердловской области) во Всемирную организацию умных и устойчивых городов WeGO.

Для внедрения системы SmartCity в Свердловской области создан специальный проектный офис.

Опыт внедрения элементов smartcity в городах Казахстана. В Казахстане в рамках государственной программы «Цифровой Казахстан» реализуется направление «Умные города», направленное на внедрение концепции smartcity в городах Казахстана с целью повышения качества жизни и безопасности горожан. В 2018 году началась реализация проектов SmartAstana и SmartAlmaty, запущены пилотные проекты отработки отдельных элементов умного города в 17 регионах страны, а также пилотный запуск

«Робополиса» на территории ЭКСПО. Так, экологические направления smartcity планируется отработать в Акмолинской и Восточно-Казахстанской областях.

В настоящее время выделены следующие этапы внедрения smartcity в казахстанских городах:

- 2017 – разработка Концепции SmartCity;
- 2018 - внедрение универсальных решений (облачная СЭД, paperfree);
- 2019-2020 - внедрение отраслевых решений (телемедицина, schoolmanagementsystems и др.);
- 2021-2023 - взаимодействие по принципу совместных инноваций.

В городе Нур-Султан проект «Система комплексного обеспечения жизнедеятельности» реализуется с 2012 года. В рамках проекта функционируют сегменты развития систем видеонаблюдения, внедрения фото-видео фиксации нарушений, создания центра обработки данных, центра оперативного управления и интеллектуального контакт-центра. Реализуются инициативы по направлениям «Smart школа» (подключены 19 школ из 88), «Smart уличное освещение», «Smart поликлиника» (подключены 2 поликлиники из 10). В городе Алматы внедрена система фото-видео фиксации нарушений, а в 2015 году запущена система электронного билетирования в общественном транспорте - «Оңай» [23].

В городе Акколь Акмолинской области реализуется пилотный проект по внедрению современных технологий SmartCitySmartAqkol [24], в котором интеллектуальные системы должны обеспечивать эффективное функционирование городских служб, безопасность и комфорт жителей. Его инфраструктурным оператором стало АО «Казахтелеком», в котором создан центр обработки данных. Центр осуществляет сбор сведений со всех действующих в городе систем видеонаблюдения, экологического мониторинга, контроля и учета энергоресурсов, управления дорожным трафиком, противопожарной безопасности. Инфраструктура ситуационного центра позволяет организовывать межведомственное взаимодействие, демонстрацию решений по тактическому и стратегическому управлению городом, включая работу коммунальных служб, агрегации достоверных и своевременных данных о городских ресурсах, обеспечения безопасности.

Для внедрения информационных и цифровых технологий в рамках проекта Smartcity в городе была создана инфраструктура, необходимая для сбора актуальной информации о его жизнедеятельности:

- проложено 17,5 тыс. км оптоволокна;
- создана энергоэффективная сеть LoRaWAN;
- создан общественный Wi-Fi;
- модернизирована сеть LTE;
- создана актуальная цифровая карта города, содержащая сведения о зданиях и сооружениях, о земельных участках, инженерных и инфраструктурных сетях;
- установлено около 70 видеокамер, в том числе на въезде в город, в школах, других общественных местах и пространствах;

- каждый дом и квартира (в Акколе насчитывается до 6 тыс. домов, из которых 90 – многоквартирные) были оснащены современными «умными датчиками» и приборами учета (воды, электроэнергии, тепла);

- оборудована интеллектуальная система уличного освещения, для чего было установлено около 250 светильников, что позволило снизить затраты местных исполнительных органов власти на электроэнергию более чем в 3 раза.

Все данные с датчиков и оборудования поступают в Ситуационный центр, в котором информация собирается и анализируется (аналитика основана на искусственном интеллекте). А интеграция системы SmartAqkol с другими базами данных (например, по образованию, здравоохранению, налогам) позволяет проводить углубленный анализ сведений о жизнедеятельности города, получать новые знания о текущей ситуации и выстраивать эффективную систему принятия решений городскими властями и службами.

Другим примером эффективного внедрения технологий smartcity стал город Алматы, который за реализацию комплексного проекта оптимизации транспортной системы на Европейском форуме умных городов «Smart city-2018» занял первое место [25]. Основными критериями оценки, отмеченными в раках международного конкурса, стали:

- системный подход к организации транспортной системы;
- использование цифровых технологий для обеспечения прозрачности доходов общественного транспорта и их выведения из теневого оборота;
- участие бизнеса через государственно-частное партнерство;
- акцент местных властей на улучшение экологии посредством модернизации пешеходных и общественных пространств.

Комплексный проект реформы транспортной системы Алматы включает:

- обновление автобусного парка (до 80%);
- строительство автопарка и завода по выпуску электроавтобусов третьего поколения;
- организация первой в стране линии BRT (скоростных автобусов);
- внедрены 110 км выделенных полос для общественного транспорта и система одностороннего движения;
- сформирован велокоридор;
- строительство двух станций метро, объединяющих центр города со спальными районами;
- транзакции в общественном транспорте переведены на безналичный расчет (более 97%);
- внедрена автоматизированная система диспетчерского управления с GPS-системой и видеокамерами на автобусах, а также система штрафов за поступающие от пассажиров жалобы при субсидировании перевозчиков;
- действует система фото-видеофиксации нарушений ПДД, контролируется 709 полос движения;
- обновлены все подземные переходы города.

Стоит отметить, что при формировании подходов к реализации транспортной реформы городские власти сотрудничали с передовыми международными специалистами.

Выводы

В результате проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

а) современное понимание концепции Умный город базируется не только на масштабном внедрении информационно-коммуникационных технологий во всех функциональных сферах экосистемы городов. В настоящее время в основе SmartCity лежат принципы устойчивого развития и активное вовлечение жителей города в совместное решение проблем и развития городской территории. Наибольшее значение приобретают различного рода коллаборации всех стейкхолдеров (жителей, бизнеса, общественных организаций и власти). А цифровизация всех отраслей экономики, интегрированных в единое системное пространство, и интеллектуальная инфраструктура позволяют в режиме реального времени управлять всеми процессами функционирования города;

б) уровень развития технологий Умного города в городах России и Казахстана пока носит фрагментарный характер, представленный локальными решениями либо отдельными подсистемами. Среди ключевых причин можно отметить:

1) недостаточный уровень финансового обеспечения городов для реализации проектов развития, в том числе в силу специфики формирования бюджетов городов;

2) недостаточный уровень или отсутствие по ряду вопросов нормативно-правовой базы, регламентирующей процедуры, требования, возможности для внедрений цифровых технологий в городском хозяйстве;

3) слишком большой износ инфраструктуры, не позволяющей активно внедрять новые технологии и цифровые решения в рамках концепции Умного города;

4) низкий уровень готовности технологий для использования в процессе внедрения элементов Умного города, позволяющих эффективно интегрировать и обрабатывать данные различных сегментов городского хозяйства.

в) наибольшее распространение элементов SmartCity в российских и казахстанских городах получили сферы транспортной системы, коммунального хозяйства, энергетики и безопасности. Проекты по охране окружающей среды, как правило, не акцентируются. В тоже же время, специфика экологической сферы заключается в ее многогранности и комплексности. Большинство функциональных направлений «жизнедеятельности» города прямым или косвенным образом оказывают влияние на окружающую среду, поэтому внедрение умных технологий в различных сферах городской экосистемы так или иначе сказывается на экологической ситуации в городах, образуя таким образом синергетический эффект;

г) внедрение технологий SmartCity, как правило, носит поэтапный и долгосрочный характер. Тем не менее, эффекты от применения умных

технологий носят комплексный характер. Среди основных системных результатов выделяют следующие:

1) экономия ресурсов и затрат в долгосрочной перспективе. Внедрение технологий происходит параллельно с обновлением соответствующей инфраструктуры. А дополнительное применение цифровых технологий позволяют сократить расходы на последующее обслуживание систем. Согласно результатам исследования McKinsey, 70% рассмотренных решений находятся в ведении госсектора, однако частные компании могут обеспечивать до 60% первоначальных инвестиций, необходимых для реализации всех возможностей применения таких решений. Более того, свыше половины первоначальных инвестиций государственного сектора в этой сфере оказываются рентабельными (дают прямую экономию или возможности получения дохода), что открывает дополнительные перспективы для сотрудничества между государственными и частными предприятиями;

2) повышение эффективности городского управления. Формирование единых платформ, в которые интегрированы различные системы, и открытый доступ к данным для представителей разных ведомств, бизнеса и жителей в режиме реального времени позволяют своевременно реагировать на проблемные ситуации, а также совершенствовать функционирование отдельных сфер городской экосистемы;

3) повышение безопасности городской среды за счет объединения различных баз данных в единой системе;

4) повышение прозрачности и наблюдаемости процессов управления городским хозяйством.

5) повышение эффективности функционирования бизнеса, поскольку бизнес становится участником процессов цифровизации, оптимизируются бизнес-процессы, повышается доступность информации для деятельности бизнеса и его вклада в социально-экономическое развитие территории.

Список литературы

1 The World Bank. Urban Development[Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <http://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#1>

2 Henderson V. Urban primacy, external costs and quality of life. Resource and Energy Economics 2005:24(1-2):95-106.

3 Tolkachev S.A., Kulakov A.D. Neo-Industrialization as a New Technotronic Economy (Robotization of US Industry). The World of New Economy 2015:1(4):69-76.

4 Mavlyutova G.A., Nozhkina E.B., Altukhov P.L. Sustainable development of digital economy as an element of securing national security of the Russian Federation. Economic security and quality 2018:1(30):19-24.

5 Pahomova N.B., Richter K.K. Digital economy as an innovation of the 21st century: challenges and chances for sustainable development. Problems of modern economy 2018:66(2).

6 Dolgih E.I., Antonov E.V. The rating of sustainable development of cities. Energy: economy, technology, ecology 2014:8:53-59.

7 Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <http://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>

8 Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E

9 Merkulov V., Shemyakina T. Strategies of «smart cities» creation and development. Vestnik Universiteta 2018:4:39-42. [doi:10.26425/1816-4277-2018-4-39-42](https://doi.org/10.26425/1816-4277-2018-4-39-42)

10 20 the most dirty cities of Russia. Vedomosti [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <https://www.vedomosti.ru/lifestyle/galleries/2017/09/21/734769-20-gryaznih-gorodov>

11 Priority areas for the implementation of smart city technologies in Russian cities [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <https://www.csr.ru/wp-content/uploads/2018/06/Report-Smart-Cities-WEB.pdf>

12 Passport priority project "Formation of a comfortable urban environment" [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <http://static.government.ru/media/files/JEnYAAfDkMAyyIAjsAxDzkxXGPuaEJSu.pdf>

13 Ishida T., Isbister K. Digital Cities: Technologies, experiences, and future perspectives. Berlin: Springer-Verlag, 2000.

14 Komninos N. The Age of Intelligent Cities. Smart environments and innovation-for-all strategies. New York: Routledge, 2015

15 Van der Meer A., Van Winden W. E-governance in Cities: A Comparison of Urban Information and Communication Technology Policies. Regional Studies 2003:37(4):407-419.

16 Sikora-Fernandez D., Stawasz D. The Concept Of Smart City In The Theory And Practice Of Urban Development Management. Romanian Journal of Regional Science [Online]. [Accessed 24.02.2019]. Available: <http://www.rrsa.ro/rjrs/V1015.Sikora.pdf>

17 Smart cities and infrastructure. United Nations Economic and Social Council [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: http://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ecn162016d2_en.pdf

18 Smart city technologies: what influences citizens' choice? McKinsey Center For Government [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <https://www.mckinsey.com/ru/our-insights/smart-city-solutions-what-drives-citizen-adoption-around-the-globe>

19 Shaping smarter and more sustainable cities: striving for sustainable development goals. The ITU-T Focus Group [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/tut/T-TUT-SSCIOT-2016-1-PDF-E.pdf

20 New technological revolution: challenges and opportunities for Russia. Expert-analytical report. [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <https://csr.ru/wp-content/uploads/2017/10/novaya-tehnologicheskaya-revolutsiya-2017-10-13.pdf>

21 Burak P.I. Economics and management of a large city. Moscow: Publishing house of the international house in Moscow, 2014

22 SMART REGION. The concept of construction in the Sverdlovsk region [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <http://www.acexpert.ru/analytics/projects/umniy-region--smart-region-koncepciya-postroeniya-.html>

23 Program “Digital Kazakhstan” [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: https://digitalkz.kz/wp-content/uploads/2018/04/Digital-Kaz_ru.pdf

24 "Smart city" Akkol [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <https://www.kazpravda.kz/articles/view/umnii-gorod-akkol>

25 Almaty is awarded the highest award of the European forum of smart cities [Online]. [Accessed 26.02.2019]. Available: <https://digitalkz.kz/ru/almaty-udostoen-vysshej-nagrady-evropejskogo-foruma-umnyh-gorodov/>

26 Kamolov S.G., Korneeva A.M. Future Technologies for Smart Cities. In: Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics 2018:2:100–114. doi:10.18384/2310-6646-2018-2-100-114.

УДК 666.948

ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО КОМПОНЕНТА ЦЕМЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ

THERMAL TRANSFORMATIONS OF TECHNOGENIC COMPONENT OF CEMENT RAW MIX

Мирюк О.А.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

psm58@mail.ru

Miryuk O.A.

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Представлены результаты физико-химических исследований состава и термических превращений многотоннажных отходов обогащения скарново-магнетитовых руд Казахстана. Для определения состава материалов использованы методы: рентгенофазовый, дифференциально-термический, мессбауэрская и инфракрасная спектроскопия. Выявлен ступенчатый характер преобразований техногенного материала при обжиге, обусловленный полиминеральным составом отходов обогащения руд. Установлено, что химико-минеральные особенности природных силикатов определяют процессы формирования и свойства фаз клинкера. Превращения минералов сопровождаются возникновением промежуточных тройных силикатных фаз,

это обуславливает смещение реакций образования белита и алита преимущественно в область повышенных температур. Комплексный подход к исследованию техногенного сырья позволил не только обосновать возможность и целесообразность использования отходов обогащения скарново-магнетитовых руд в производстве цемента, но и определить предпочтительность фазового состава цементного клинкера. Результаты исследований положены в основу разработки малоэнергоёмких цементных клинкеров с повышенным содержанием белитовой фазы.

Ключевые слова: скарново-магнетитовые руды, техногенные материалы, термические превращения, обжиг клинкера, процессы клинкерообразования, белит, алит.

Abstract: The results of physicochemical studies of the composition and thermal transformations of large-tonnage wastes of enrichment of skarn-magnetite ores of Kazakhstan are presented. To determine the composition of the materials used methods: x-ray phase, differential thermal, Mossbauer and infrared spectroscopy. The stepwise nature of the transformation of anthropogenic material during firing, due to the polymineral composition of ore dressing wastes, is revealed. It has been established that the chemical-mineral characteristics of natural silicates determine the formation processes and properties of clinker phases. Transformations of minerals are accompanied by the appearance of intermediate triple silicate phases, this causes a shift in the reactions of formation of belite and alite mainly in the region of elevated temperatures. An integrated approach to the study of technogenic raw materials made it possible not only to substantiate the possibility and expediency of using skarn-magnetite ore dressing wastes in cement production, but also to determine the preference for the phase composition of cement clinker. The research results are the basis for the development of low-energy cement clinkers with a high content of belite phase.

Key words: skarn magnetite ores, technogenic materials, thermal transformations, clinker burning, processes of clinker formation, belite, alite.

Введение

Ресурсосбережение – цель и средство совершенствования технологии цемента. Дальнейшему развитию отрасли способствуют экономия материальных и топливно-энергетических ресурсов. Истощение природных запасов предопределяет кардинальное изменение сырьевой базы за счет освоения техногенных источников. Логическим продолжением разработок последних десятилетий по замене дефицитного сырья отходами является оптимизация технологических решений при рациональном использовании техногенных материалов [1–15].

Эффективность использования отходов зачастую невысока из-за отсутствия комплексного подхода к оценке техногенных источников. Выбор нового сырья нередко ограничивается заменой дефицитного традиционного компонента схожими по составу и состоянию отходами. Например, остаются невостребованными ценные свойства крупнотоннажных техногенных

материалов сложного химико-минерального состава. Жесткая регламентация дисперсности нового сырья практически исключает использование крупнозернистых реакционноспособных материалов. Отходы обогащательных производств существенно различаются в зависимости от типа месторождения, способа переработки сырья и требуют индивидуального исследования [1, 9, 11].

Крупнейшие в мире месторождения скарново-магнетитовых руд расположены на территории Казахстана. На первой стадии обогащения скарново-магнетитовых руд ежегодно образуется свыше 4 млн. т хвостов сухой магнитной сепарации (СМС). Сведения об использовании в производстве цемента щебневидных хвостов СМС руд различных месторождений малочисленны.

Для обоснования возможности использования отходов обогащения скарново-магнетитовых руд в производстве цементного клинкера необходимы представления о термических превращениях минералов, характере влияния техногенной составляющей смеси на формирование клинкерных фаз. Этому посвящена данная работа.

Объект и методы исследования

Отходы сухой магнитной сепарации – дезинтегрированная масса (размер частиц до 25 мм) с низкой влажностью (1 – 2 %), превосходящая по размолоспособности цементный клинкер и кварцевый песок. Следовательно, введение техногенного компонента не затруднит измельчение сырьевой шихты.

Низкие значения удельной эффективной активности радионуклидов (53 – 55 Бк/кг) свидетельствуют о радиационно-экологической безопасности отходов обогащения руд.

Химический состав хвостов сухой магнитной сепарации представлен, мас. %: SiO_2 40 – 45; Al_2O_3 10 – 12; Fe_2O_3 16 – 18; FeO 6 – 8; CaO 12 – 13; MgO 5 – 6; п.п.п. 3 – 6. В отходах присутствует ряд каталитических и модифицирующих элементов, мас. %: S 2 – 5; R_2O 2 – 4; TiO_2 0,50 – 0,53; P_2O_5 0,25 – 0,30; MnO 0,35 – 0,40; V_2O_5 0,04 – 0,06; Cl 0,09 – 0,12; Cu 0,04 – 0,05; Ni 0,007 – 0,008.

Минеральную основу хвостов СМС составляют силикаты, отличающиеся генезисом, составом, структурой, физическими свойствами, химической активностью и термической устойчивостью, мас. %: пироксены (диопсид) 20 – 25; эпидот 10 – 13; полевые шпаты 8 – 12; хлориты 7–10; скаполит 8 – 11; гранаты (андрадит, гроссуляр) 7–12; амфиболы (актинолит) 7 – 14 (рисунок 1). В отходах присутствуют, мас. %: кальцит 4 – 7; пирит 4 – 8; кварц 2 – 4; магнетит 3 – 4.

Наличие клинкерообразующих оксидов, повышенная концентрация легирующих и модифицирующих примесей серы, щелочей, магния, титана, фосфора, марганца, хлора, меди, ванадия, никеля способны обеспечить эффективность применения отходов в составе цементной сырьевой смеси. Силикатная основа техногенного материала, наличие некарбонатного оксида кальция определяют материально-сырьевые и энергетические преимущества сырьевых смесей с техногенным компонентом.

Материалы обжигали в лабораторной печи с силитовыми нагревателями.

Выдержка при максимальной температуре – 15 мин. Идентификацию минерального состава техногенного материала и продуктов обжига осуществляли рентгенофазовым, дифференциально-термическим микроскопическим методами, а также с помощью инфракрасной спектроскопии. Для определения состава железосодержащих соединений использовали мессбауэровский метод.

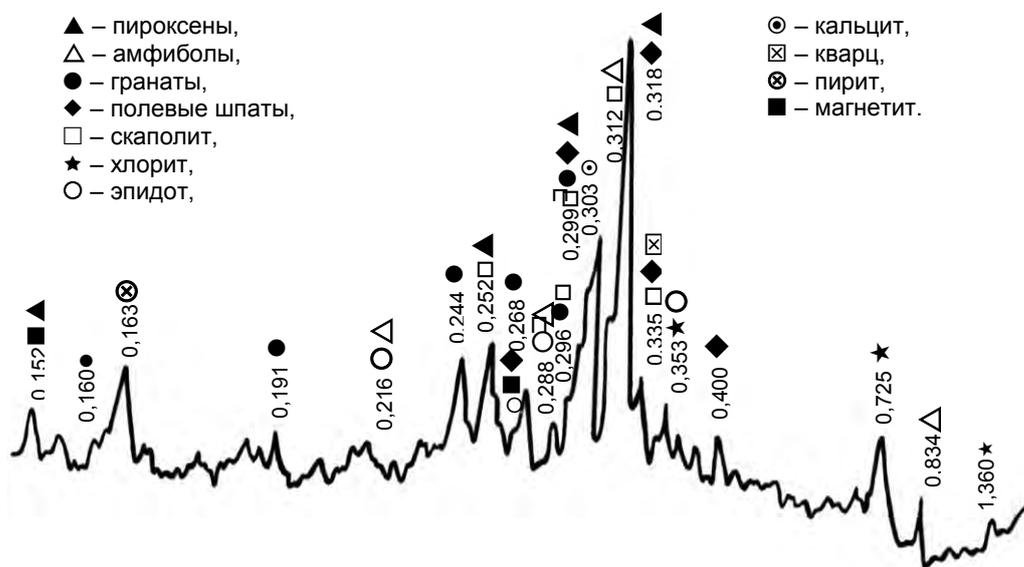


Рисунок 1 – Рентгенограмма хвостов СМС

Рентгенофазовый анализ проводили на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-3 с медным катодом и никелевым фильтром по методу порошка в диапазоне двойных углов $2\Theta = (4 - 65)^\circ$.

Термохимические процессы изучали дифференциально-термическим методом анализа, который проводили на дериватографе фирмы «МОМ» системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдей. Инфракрасные спектры поглощения записывали на автоматическом спектрометре «Specord – 75 JR». Для определения степени окисления и координационного числа атомов железа, фазового состава железосодержащих минералов использовали метод ядерно-гамма-резонансной (мессбауэрской) спектроскопии. Исследования проводили на спектрометре ЯГРС – 4М в диапазоне скоростей до 10 мм/с с источником Co^{57} в матрице Сг.

Результаты экспериментов

Исследованы превращения при обжиге отходов обогащения скарново-магнетитовых руд в температурном интервале формирования цементного клинкера. Пестрый химико-минеральный состав отходов обогащения скарново-магнетитовых руд обусловил многоступенчатый характер термических превращений (рисунок 2).

Обжиг хвостов СМС сопровождается сложными преобразованиями и взаимодействиями отдельных минералов (рисунок 3). Низкотемпературные превращения (экзоэффекты при $300 - 600^\circ\text{C}$) связаны с окислением магнетита и пирита.

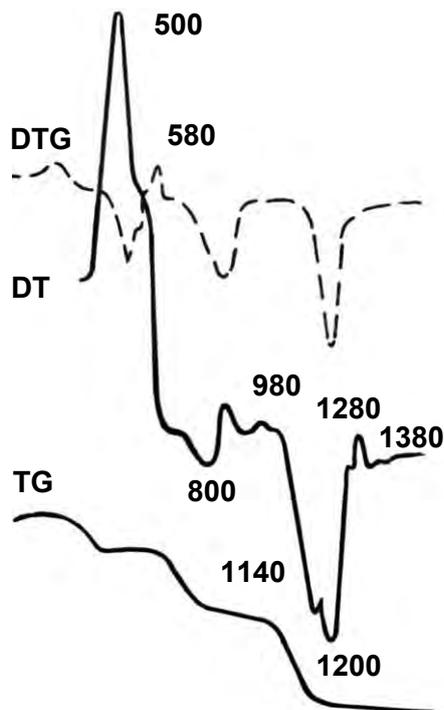


Рисунок 2 – Дериватограмма хвостов СМС

Процесс разложения пирита представляется многостадийным. Заметное отщепление серы от пирита происходит при температуре около 500°C , далее начинаются реакции:



Общая схема окисления пирита имеет вид:



При каталитическом воздействии оксидов железа при температуре до 600°C происходит окисление SO_2 в SO_3 . Интенсивность термических эффектов при $300\text{-}600^{\circ}\text{C}$ указывает на значительное тепловыделение в ходе окислительных процессов. Расчеты показали, что количество выделившейся теплоты составляет 831 кДж/моль FeS_2 по реакции (3); 147 кДж/моль FeO за счет его перехода в Fe_2O_3 и 98 кДж/моль SO_2 при образовании SO_3 .

Неоднозначный характер изменения массы исследуемой пробы при нагревании (рисунок 2) подтверждает факт окисления магнетита (увеличение массы при $300\text{-}400^{\circ}\text{C}$) и разложения пирита, сопровождающегося частичным удалением газообразных продуктов (уменьшение массы при $400\text{-}500^{\circ}\text{C}$). При нагревании хвостов СМС до 580°C наблюдается рост массы за счет окисления остаточного Fe_3O_4 и FeO , выделившегося в реакции (2).

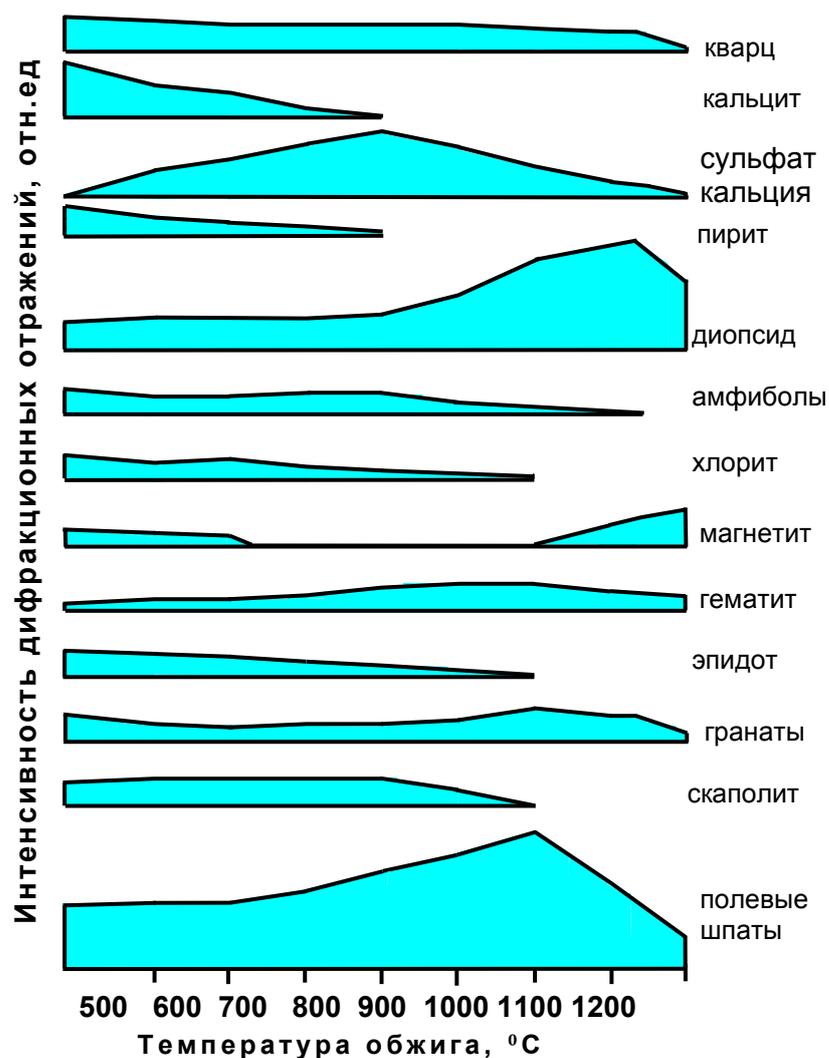


Рисунок 3 – Термические изменения минерального состава хвостов СМС

Наличие пирита ускоряет термические процессы: под каталитическим влиянием FeO интенсифицируется декарбонизация кальцита. Выделившийся CaO взаимодействует с SO₂ и SO₃ с образованием CaSO₄. Обжиг хвостов СМС при температуре выше 800⁰С сопровождается разложением ангидрита CaSO₄ и уменьшением концентрации серосодержащих соединений. В интервале температур 600-800⁰С происходит дегидратация амфиболов, эпидота, удаление связанной воды из талькоподобных слоев хлоритов [7]. Это подтверждается интенсивной потерей массы материала (рисунок 2). Существенные изменения наблюдаются при повышении температуры до 1000⁰С: в спеке отсутствуют минералы позднего геологического периода (скаполит, эпидот, хлориты); уменьшается содержание амфиболов (рисунок 3). Исчезновение на рентгенограмме хвостов СМС отражений алюмосиликатов при одновременном росте интенсивности максимумов пироксенов, гранатов и полевых шпатов свидетельствует о тесной взаимосвязи процессов. Эпидот разлагается с образованием анортита, гранатов; амфиболы при нагревании переходят в пироксены. Уменьшение содержания сульфата кальция и кварца указывает на участие последних в этих превращениях. Дополнительное количество

пироксенов (диопсида) образуется при взаимодействии продуктов разложения хлорита с оксидом кальция. Плавление хвостов СМС происходит ступенчато (рисунок 2): вначале разрушается кристаллическая структура гранатов и полевых шпатов (эндоэффект при 1140°C). При нагревании до температуры 1200°C снижается содержание пироксенов. Известно [1], что температура начала плавления глин – традиционного цементного сырья колеблется в пределах $1135 - 1300^{\circ}\text{C}$, а окончание плавления происходит при температурах $1400 - 1500^{\circ}\text{C}$. Хвосты СМС полностью расплавляются при температуре на $200 - 300^{\circ}\text{C}$ ниже, чем глины.

Термическая обработка хвостов СМС сопровождается структурными изменениями силикатов (рисунок 4).

После обжига при температуре 800°C не диагностируются слоистые минералы (950 см^{-1}). Полоса поглощения 1050 см^{-1} явствует о наличии гранатов, и ее уменьшение подтверждает разрушение минералов при температуре выше 1000°C . Спектры отходов, обожженных при температурах $800 - 1000^{\circ}\text{C}$, характеризуются одновременным усилением и расширением участка поглощения $850 - 1000 \text{ см}^{-1}$. Это свидетельствует об увеличении доли цепочечных и каркасных структур. Нагревание хвостов СМС до температуры 1200°C сопровождается сильной аморфизацией, разупорядочиванием кремнекислородных тетраэдров: уменьшается интенсивность поглощения полосы $850 - 1050 \text{ см}^{-1}$. Следовательно, пирогенные изменения составляющих хвостов СМС зеркально отражают процесс формирования минералов. В первую очередь разрушаются поздние образования, наблюдается их превращение в первичные минералы. Состав новообразований при обжиге хвостов СМС не ограничивается перечисленными соединениями. Однако весьма сложный характер пирогенных превращений затрудняет их детализацию.

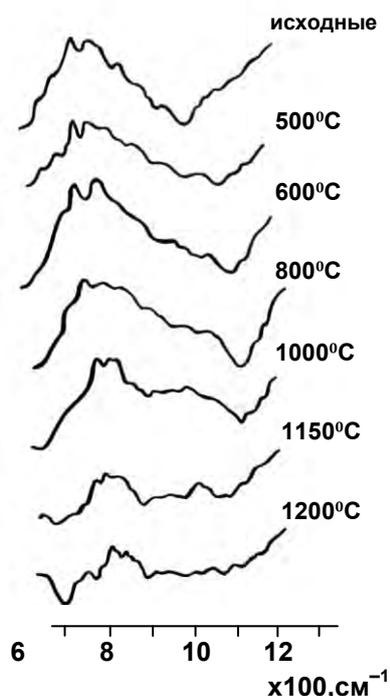


Рисунок 4 – ИК – спектры хвостов СМС

Железо сосредоточено в рудных минералах (33–35 %), сульфидах (18–22 %), силикатах (45 – 47 %). Среди железосодержащих силикатов доминируют андрадит, актинолит, эпидот, хлорит. Изоморфные замещения в минералах обуславливают присутствие ионов железа в диопсиде, гроссуляре. Ядерно-гамма-резонансной спектр исходных хвостов СМС (рисунок 5) можно интерпретировать как наложение линий, характеризующих ионы железа в различных окисленных и координационных состояниях.

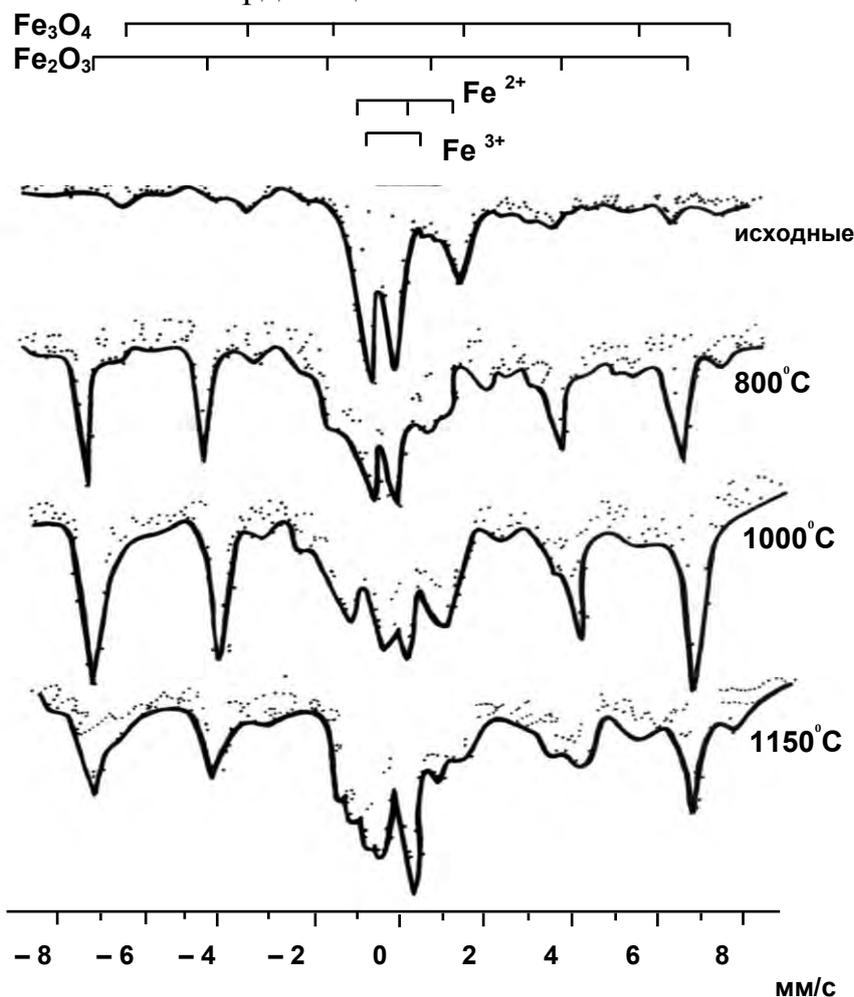


Рисунок 5 – ЯГР – спектры хвостов СМС

Разновалентные ионы железа представлены преимущественно октаэдрической координацией. Окисление пирита, магнетита при нагревании хвостов СМС до температуры 800⁰С отмечается появлением на спектре секстета гематита. Последующее увеличение содержания гематита связано с его выделением при разложении силикатов (андрадит, актинолит). Заокисная форма оксида железа сохраняется при повышенных температурах: при 1150⁰С превращения в хвостах СМС сопровождаются образованием магнетита, увеличением содержания пироксенов. В результате растет площадь центрального дублета, одновременно уменьшается размер секстета гематита, возникают линии магнетита. Преимущество октаэдрической координации ионов железа при нагревании хвостов СМС сохраняется. Это обеспечивает

высокую подвижность расплава. В обожженных при температурах 800, 1000 и 1150⁰С хвостах СМС коэффициент окисления $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ составляет 0,78; 0,85; 0,76; в исходных – 0,48; это коррелируется с характером превращений железосодержащих минералов при обжиге отходов.

Исследование фазовых превращений при обжиге смесей карбоната кальция с минералами, преобладающими в составе скарново-магнетитовых отходов, позволяет определить влияние техногенных минералов на формирование основных фаз цементного клинкера (белита C_2S и алита C_3S).

Активность реакций зависит от состава и структуры природных минералов (таблица 1).

Таблица 1 – Влияние структуры природных силикатов на фазообразование в смесях «карбонат кальция – минерал»

Минералы-силикаты		Структурные формулы промежуточных силикатов	Температура образования фаз цементного клинкера, °С	
			C_2S	C_3S
название минерала	структура тетраэдра			
Гроссуляр (островной)	$[SiO_4]^{4-}$	$Ca[Al_2Si_2O_8]$ – каркасный $Ca_2Al[AlSiO_7]$ – кольцевой	950 – 1300	1300 – 1350
Андрадит (островной)	$[SiO_4]^{4-}$	$Ca_2(Al,Fe)[AlSiO_7]$ – кольцевой	950 – 1300	1250 – 1350
Эпидот (островной)	$[SiO_4]^{4-} \times [Si_2O_7]^{6-}$	$Ca_2(Al,Fe)[AlSiO_7]$ – кольцевой $Ca_2Al[AlSiO_7]$ – кольцевой	950 – 1300	1250 – 1350
Диопсид (цепочечный)	$[Si_2O_6]^{4-}$	$Ca_2Mg[Si_2O_7]$ – кольцевой $Ca_3Mg[SiO_4]_2$ – островной	1000 – 1300	1350 – 1400
Актинолит (ленточный)	$[Si_4O_{11}]^{6-}$	$CaMg[Si_2O_6]$ – цепочечный $Ca_3Mg[SiO_4]_2$ – островной	1000 – 1300	1300 – 1400
Хлорит (слоистый)	$[AlSi_3O_{10}]^{4-}$	$Ca_2Al[AlSiO_7]$ – кольцевой $Ca_3Mg[SiO_4]_2$ – островной	1000 – 1300	1250 – 1400
Альбит (каркасный)	$[AlSi_3O_8]^-$	$Na_2[Al_2Si_2O_8]$ – каркасный $Ca[Al_2Si_2O_8]$ – каркасный $Ca_2Al[AlSiO_7]$ – кольцевой	1100 – 1300	не обнаружен
Скаполит (каркасный)	$[Al_{1+x}Si_{3-x}O_8]^-$	$Na_2[Al_2Si_2O_8]$ – каркасный	950 – 1300	1300 – 1350

Установлено, что стадийность белитообразования с участием природных силикатов обусловлена постепенными превращениями минералов в промежуточные фазы C_2AS , C_3MS_2 , из которых формируется C_2S .

Температура начала белитообразования определяется сложностью перестройки кремнекислородных мотивов скарных минералов в ортосиликатную структуру и повышается в ряду: островные → цепочечные → ленточные и слоистые → каркасные. Интенсивность формирования белита зависит от устойчивости промежуточных силикатных фаз. Формирование высокоосновной фазы C_3S происходит в весьма узком интервале, зачастую граничащем с температурой плавления (разрушения) структуры минералов или образованных из них промежуточных фаз.

Закономерности влияния отдельных минералов проявляются при синтезе клинкера на основе отходов обогащения скарново-магнетитовых руд при обжиге сырьевой смеси «известняк – хвосты СМС», содержащей 35 % техногенного компонента. Экзотермические окислительные процессы интенсифицируют реакции декарбонизации и распад неустойчивых минералов (рисунок 6).

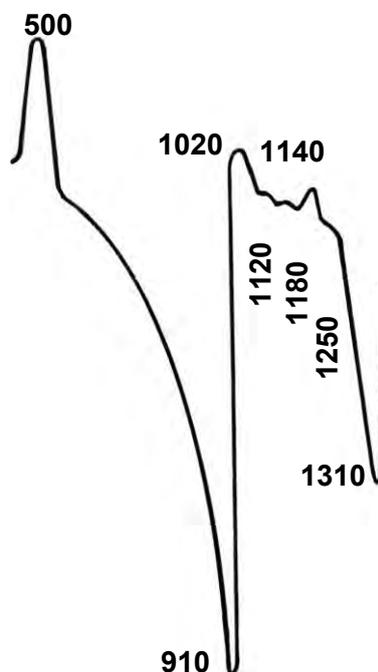


Рисунок 6 – Термограмма сырьевой смеси «известняк – хвосты СМС»

Взаимодействия компонентов начинаются при пониженных температурах вследствие эффекта Хедвалла в период структурных превращений минералов. Низкотемпературное плавление техногенного компонента до появления клинкерного расплава обеспечивает образование жидкой маловязкой фазы и способствует активизации фазовых превращений. Различие кристаллических структур природных силикатов и промежуточных кремнеземсодержащих фаз предопределило стадийность белитообразования с преимущественным формированием C_2S в высокотемпературной области ($1050 - 1250^{\circ}C$). Формирование алита ускоряется при обогащении расплава оксидом магния и интенсифицируется за счет высокотемпературного белитообразования и легирующих примесей.

Повышенная температура белитообразования, деформация кристаллической решетки и легирование фаз клинкера обеспечивают повышенную гидратационную активность клинкеров при ограниченном содержании высокотемпературной фазы C_3S . Это позволяет синтезировать малоэнергоемкий клинкер.

Выводы

1. Установлен ступенчатый характер термических превращений полиминеральных отходов обогащения скарново-магнетитовых руд, сопровождающихся взаимодействиями минералов с образованием

многочисленных промежуточных соединений.

2. Выявлены закономерности влияния техногенных минералов на формирование клинкерных фаз. Отмечена взаимосвязь процессов клинкерообразования с кристаллическим строением минералов. Показано, что благодаря наследованию клинкерными фазами кристаллических структур природных минералов, тесному контакту основных и изоморфных элементов формируется двухкальциевый силикат (белит) повышенной реакционной способности.

3. Доказана возможность получения цементного клинкера на основе отходов обогащения скарново-магнетитовых руд. Обоснована предпочтительность синтеза активных цементных клинкеров с повышенным содержанием белита, характеризующихся малой энергоемкостью.

Список литературы

1 Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента. Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. 126 с.

2 Лугинина И.Г., Гребеник И.Н. Влияние баритового отхода на размалываемость клинкера с повышенным содержанием оксида магния. Цемент и его применение. 2012. № 1. С. 213 – 216.

3 Кривобородов Ю.Р., Бурлов И.Ю., Бурлов Ю.А. Применение вторичных ресурсов для получения цементов. Строительные материалы. 2009. № 8. С. 44 – 45.

4 Шубин В. И. Применение техногенных материалов, в том числе и горючих отходов при производстве цемента. Цемент Инф.. 2014. № 1. С. 3 – 8.

5 Шандель Ж.М. Новое о ко-процессинге отходов в цементной промышленности. Цемент и его применение. 2012. № 2. С. 35 – 39.

6 Тюкавкина В., Касиков А., Майорова Е., Гуревич Б., Нерадовский Ю. Переработка отвальных шлаков медно-никелевого производства с получением кремнеземсодержащих добавок для вяжущих. Экология и промышленность России. 2015. Т.19. № 11. С.13 – 17.

7 Miryuk O.A. Synthesis of Special Clinkers with the Use of Technogenic Raw Materials // Key Engineering Materials. 2018. V. 769. P. 9 – 16.

8 Petrus H. T. V. M., Hirajima T., Oosako Y., Nonaka M., Sasaki K., Ando T. Performance of dry-separation processes in the recovery of cenospheres from fly ash and their implementation in a recovery unit. International J. of Mineral Processing. 2011. V.98. P.15 – 23.

9 Искандарова М.И., Атабаев Ф.Б. Цементы, содержащие добавку отходов горно-перерабатывающей промышленности. Цементногоприменение. 2017. № 6. С. 96 – 99.

10 Kapeluszna E. Effect of set controlling agent on the properties of cement. CementWapnoBeton .2014. № 4. P. 243 – 251.

11 Богданов А., Шатрова А., Качор О. Использование накопленных отходов целлюлозно-бумажной промышленности в качестве компонентного сырья для получения цементов. ЭкологияипромышленностьРоссии. 2017. Т.21.

№ 11. С.15 – 19.

12 Wu K., Shi H., Schutter G.D., Guo X., Ye G. Preparation of alinite cement from municipal solid waste incineration fly ash. Cement and Concrete Composites. 2012. №3. P.322 – 327.

13 Haider U., Bittnar Z., Kopecky L., Humayon C. M. Classification of brown coal fly ash fractions by wet, magnetic separation methods, and determination of physical, morphological, and chemical properties of separated fractions. Part 1. Cement WapnoBeton. 2017. № 3. P. 249 – 259.

14 Uçal G. O., Mahyar M., Tokyay M. Hydration of alinite cement produced from soda waste sludge. Construction and Building Materials. 2018. № 10. P. 178 – 184.

15 Wu Q., Wu Y., Tong W., Ma H. Utilization of nickel slag as raw material in the production of Portland cement for road construction. Construction and Building Materials. 2018. V. 93. № 30. P. 426 – 434.

УДК 691

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

INNOVATIVE METHOD FOR FORMING CONCRETE STRUCTURES

Тажиббаева Д.М.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

dan4ik1511@mail.ru

Tazhibaeva D.M.

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: статья посвящена изучению современных методов формования бетонных и железобетонных конструкций. Осуществлен поиск сырьевой базы для получения цифрового бетона. Приведены преимущества и слабые стороны печатного бетона.

Ключевые слова: цифровой бетон, печатный бетон, аддитивное производство, добавки, бетонная смесь, реологические свойства.

Abstract: the article is devoted to the study of new methods for forming concrete structures. A raw material base was searched for half a digital concrete. The advantages and disadvantages of printed concrete are given.

Key words: digital concrete, printed concrete, additive manufacturing, additives, concrete mix, rheological properties.

Цифровое бетонное производство – это инновационное строительное направление, в котором посредством автоматизированного робота возводятся строительные объекты.

Изучая тему цифрового бетона в зарубежных источниках, необходимо раскрыть понятие «Additivemanufacturing» (AD) - аддитивное производство (АП) – это группа производственных процессов, в которых трехмерные детали создаются путем добавления слоев материалов на точечные, линейные или плоские поверхности [1].

Современная промышленность, в том числе и производство строительных материалов, трансформируется. В развитых странах давно уже внедряются оцифрованные технологии – в Великобритании, Японии, Германии, Китае, Швейцарии, в развивающихся странах (страны СНГ) проблема состоит в разработке государственных стандартов и норм. Одной из целей политики нашего государства является развитие экономической обстановки и повышения качества жизни казахстанцев за счет оцифровки промышленности и в том числе строительного сектора.

Так постановлением Правительства Республики Казахстан № 827 от 12.12.2017 утверждена государственная программа «Цифровой Казахстан», цель которой - ускорения темпов развития экономики РК и улучшение качества жизни населения за счет использования цифровых технологий в среднесрочной перспективе, а также создание условий для перехода экономики Казахстана на принципиально новую траекторию развития, обеспечивающую создание цифровой экономики будущего в долгосрочной перспективе [2].

Цель исследования: подбор состава для печатного бетона; исследование строения и реологических свойств бетонной смеси.

Безопалубочное строительство имеет ряд преимуществ, а именно экономию затрат, времени и материалов, связанных с конструкцией самой опалубки. Однако в то же время это предполагает, что материаловедению необходимо решить проблемы, которые обычно выполняются опалубкой. Теперь непосредственно все требования накладываются на структуру бетонной смеси и способ ее укладки. Следовательно, еще более важным становится контроль гидратации и реологических свойств. Скорость гидратации должна быть замедлена и относительно ускорена, так чтобы смесь не схватывалась во время процесса печати, и одновременно, чтобы сразу после формования поддерживала собственный вес и вес последующих слоев материала. Что касается реологии, должен быть баланс между текучестью во время печати и скоростью структурирования сразу после нанесения. Кроме того, учитывая чувствительный характер техники ко времени, из-за непрерывного развития гидратации прогноз скорости потока важен для контроля скорости печати [3]. На рисунке 1 приведен пример контурной печати строительной конструкции.

Преимуществами цифровых технологий бетона являются:

- расширение границ архитектурного творчества и свобода формы – в данном случае подчеркивается возможность создания уникальных конструкций, так как в большинстве случаев архитектор при создании проекта руководствуется имеющейся «библиотекой» конструкций и материалов (стандартизированные конструкции, созданные на заводе ЖБИ, керамические материалы, отделочные камни и др.).

- экономия бетона, облегчение конструкции;

- сокращение времени возведения;
- улучшения безопасных условий труда, за счет автоматизированного производства, исключения ручного труда.



Рисунок 1 – Контурная 3D-печать конструкции

3D-принтер отличается низким энергопотреблением и не производит строительных отходов, экономя 70% затрат на строительство каркаса, по сравнению с традиционными технологиями [5]. Модели 3D-принтеров представлены на рисунке 2. 3D-принтер фирмы ApisCor компактен 5,5 м в длину, 1,5 в высоту. Собирается устройство на любой поверхности в течение получаса, готово работать без предварительной подготовки и настройки. Благодаря двухплоскостному вращающему экструдеру, принтер способен печатать наклонные стены по горизонтали и по вертикали.

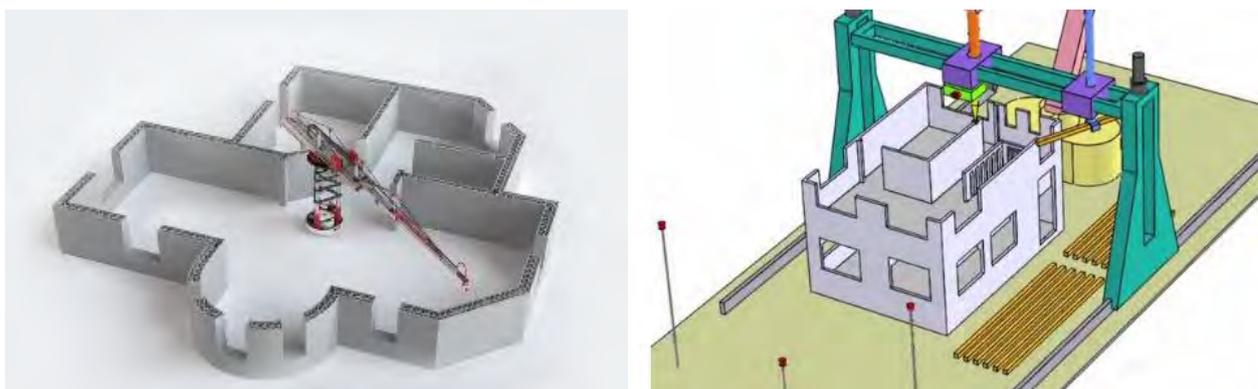


Рисунок 2 – Модели строительных 3D-принтеров фирмы ApisCor (слева) и компании WinSun (справа)

Трехмерный строительный принтер компании WinSun имеет достаточно большие размеры – 150 метров в длину, 11 в ширину и 7 в высоту. Китайская компания продемонстрировала возможности своей уникальной разработки: принтер за 24 часа «напечатал» 10 домов площадью от 20 до 200 м². На рисунке 3 представлен один из домов напечатанный фирмой

WinSunDecorationDesignEngineeringCo. Пример создания дома с помощью строительных 3D-принтеров с использованием аддитивных технологий представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Дом, напечатанный по контурной технологии компанией WinSun

Характеристики сырьевых материалов должны быть привязаны к процессу печати, а также к размеру выходного отверстия – сопло, таким образом, было решено использовать мелкозернистых материалов для получения печатного бетона. Для сравнения свойств формовочных масс состав № 1 - цементно-песчаная смесь. В таблицах 1, 2 приведены лабораторные опыты по подбору состава.

В опыте № 2 в качестве добавки выступает Реобилд 2000 - суперпластификатор. Воды изначально добавлено 50% от массы цемента, затем увеличено количество до 76%.

При соотношении компонентов Ц:3:В = 1:0,8:0:5 (без добавки Реобилд 2000) – структура масса жесткая (опыт № 3). При добавлении воды сверх нормы 16% и 3% добавки от массы цемента – смесь также обладает жесткостью и минимальной формуемостью. При дальнейшем увеличении доли суперпластификатора до 5% не имело практического обоснования, так как смесь не обладала пластичностью – состав № 4.

В пятом составе применяется второй тип добавки –Glenium. Согласно рецепту данного суперпластификатора, дозировка от 0,7 до 0,9%.

Уменьшили содержание гипса для лучшей формуемости, на основании проведенного опыта № 6.

В 9 опыте уменьшили содержание гипса, по сравнению с опытом № 6. Увеличились сроки схватывания. Второй слой был нанесен через 30 с, 3 – 60 с.

Результаты лабораторных поисков приведены в таблице 3.

Оптимальный рабочий состав приведен на рисунке 4.

Таблица 1 – Подбор состава для печатной бетонной смеси (опыты № 1 – 4)

	Сырьевые компоненты, части				Образец	Описание смеси
	Цемент	Песок	Вода	Добавка		
1	1	2	0,56	-		Смесь не пластична, рвётся, водоотделение, при формовании расплзается
2	1	0,8	0,76	0,01Ц	 При вертикальном формовании  При горизонтальном формовании	Смесь пластична, при формовании видно много воды. После твердения наблюдается растрескивание материала
3	1	0,8	0,7	0,03Ц		Очень подвижная. Высокое водоотделение. не поддаётся формованию
4	1	0,8	0,7	0,05Ц		Литая. При твердении растрескивается

Таблица 2 – Подбор состава для печатного бетона (опыты № 5 – 9)

	Сырьевые компоненты, части				Образец	Описание смеси
	Цемент	Песок	Вода	Добавка		
5	1	0,8	0,5	0,7Ц		Смесь литая. Не поддается формованию.
6	1	0,5	0,5	0,76		Мгновенное схватывание. Смесь жесткая. Нет возможности нанести второй слой.
7	1	0,5	0,3	0,76		Смесь жесткая. Наблюдается образование трещин
8	1	0,5	0,25	0,8		Время схватывания 1 мин. Структура пластичная. Большое количество гипса.
9	1	0,5	0,2	0,8		Пластичная. Обладает формуемостью
10	1	0,5	0,2	1		Пластичная. Обладает формуемостью

Таблица 3 – Подбор состава для оптимальной формовочной смеси

	Сырьевые компоненты, части							Отметка
	цемент	песок	гипс	зола ТЭС	вода	добавка 1 (от массы цемента)	добавка 2 (от массы цемента)	
1	1	2	-	-	0,56	-	-	нет
2	1	-	-	0,8	0,76	0,01	-	нет
3	1	-	-	0,8	0,7	0,03	-	нет
4	1	-	-	0,8	0,7	0,05	-	нет
5	1	-	-	0,8	0,5	-	0,7	нет
6	1	-	0,5	0,5	0,76	-	-	нет
7	1	-	0,3	0,5	0,76	-	-	нет
8	1	-	0,25	0,5	0,8	-	-	нет
9	1	-	0,2	0,5	0,8	-	-	да
10	1	-	0,2	0,5	1	-	-	да

		
Портландцемент – 1 ч.	Гипс – 0,2 ч	Зола ТЭС – 0,5 ч

Рисунок 4 – Рабочий состав смеси для печатного бетона

Таким образом, в результате лабораторных поисков был определен рабочий состав для печатной смеси. Положительным моментом является возможность утилизации отхода производства – золу ТЭС. Несомненно, данный состав требует корректировки и введения добавок по стабилизации и оптимизации реологических свойств смеси. Предстоит огромная работа по подбору необходимой добавки, а возможно и комплекса добавок для обеспечения необходимых сроков схватывания и требуемой прочности, так как крупный заполнитель отсутствует.

Резюмируя, необходимо отметить, что для успешного внедрения цифровизации в повседневную жизнь казахстанцев, не избежать инновационных методов, в том числе и при формировании бетонных конструкций. Ожидаются и другие преимущества этого автоматизированного процесса, такие как сокращение времени и затрат на строительство, повышение безопасности работников, улучшение качества и надежности, экономия материалов и, как следствие, устойчивость. Примечательно, что в отношении последнего аспекта недавнее исследование продемонстрировало, что цифровое производство способно обеспечить экологические преимущества при применении к сложным конструкциям, для которых дополнительная сложность может быть достигнута без дополнительных затрат на окружающую среду.

Однако вначале специалистам в областях архитектуры, материаловедения, строительной механики, робототехники предстоит решить множество задач, и только их совместными усилиями возможности индустриализации цифрового производства из бетона могут выйти на абсолютно новые рубежи [5].

Список литературы

1 HassaninH., Jiang K. Chapter 10 - Net Shape Manufacture of Freestanding Ceramic Micro-components through Soft Lithography. In: Y. Qin. Micro and Nano Technologies, Micromanufacturing Engineering and Technology, 2015, 239 – 256. [doi:10.1016/B978-0-323-31149-6.00010-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-323-31149-6.00010-4).

2 Государственная программа «Цифровой Казахстан». Официальный сайт Премьер-Министра РК. URL: <https://primeminister.kz/> (дата обращения: 14.02.2019).

3 Marchon D., Kawashima S., Bessaies-Bey H., Mantellato S., Serina N. Hydration and rheology control of concrete for digital fabrication: Potential admixtures and cement chemistry [Special issue]. Journal of Cement and Concrete Research, 2018, Vol. 112, 96-110. doi:10.1016/j.cemconres.2018.05.014.

4 Asprone D., Auricchio F., Menna C., Mercuri V. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach. Journal of Construction and Building Materials, 2018, Vol. 165, 218-231. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018.

5 Бетон в цифровом производстве: возможности и вызовы / Т. Уэнглер, Э. Льоре, Л. Райтер, Н. Хак, Ф. Грамацио, М. Колер и др. // Цемент и его применение. – 2019. - №2. – С.80 – 87.

УДК 577.4:677.198

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТДЕЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

NEW WASTE WATER TREATMENT TECHNOLOGY OF FINISHING TEXTILE ENTERPRISES

Кадникова О.Ю., Торетаев М.О., Алтынбаева Г.К., Айдарханов А.М.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,

kadnikovaolga@mail.ru

Kadnikova O., Toretayev M., Altynbayeva G., Aidarkhanov A.

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: В статье представлены результаты исследований возможности использования феррата натрия в технологии очистки сточных вод от органических веществ на примере фенола в текстильной промышленности. Показана технология получения капсулированного феррата с использованием гексана, этилцеллюлозы и парафина; установлена стабильность капсулированного феррата натрия в воздухе и щелочном растворе; оценена эффективность использования капсулированного феррата натрия при очистке модельного раствора от фенола.

Ключевые слова: феррат натрия, капсулирование, модельный раствор фенола.

Abstract: Encapsulated ferrate using hexane, ethyl cellulose and paraffin was first obtained; the stability of the encapsulated sodium ferrate in the air and an alkaline solution was first established; for the first time the efficacy of using encapsulated sodium ferrate when cleaning the model solution by phenol was evaluated.

Key words: sodium ferrate, encapsulation, model solution of phenol.

Введение

Производство различной пряжи, тканей из химических и натуральных волокон и их смесей сопровождается образованием стоков в результате крашения, шлихтования пряжи, отделки тканей, химической обработки волокнистых материалов и прочих технологических процессов [1].

Стоки представляют собой сложную смесь нерастворимых минеральных и органических загрязнений, истинных и коллоидных растворов, включающая волокна, частички замасливателей, красителей, синтетических ПАВ, отделочных препаратов, реагентов и прочих нерастворимых примесей. Стоки имеют водородный показатель в пределах 6...12 и отличаются выраженной окрашенностью.

Неравномерность поступления стоков с производства не дает возможность напрямую сбрасывать их в общегородские очистные сооружения и требует предварительной очистки [2].

Для полной очистки сточных вод от предприятий текстильной промышленности используют биологические методы. Однако биологическая очистка сточных вод в большинстве случаев затрудняется их высокой гидратной щелочностью и недостатком биогенных элементов. Поэтому биологической очистке, как правило, должна предшествовать предварительная механическая или химическая обработка стоков.

Наибольшая проблема сточных вод возникает при крашении и печатании текстильных материалов. При этом находят применение различные красители как в отношении их физических, так и химических свойств. В зависимости от специализации предприятия используют более 100 различных рецептур, содержащих многочисленные красители и вспомогательные вещества. Степень их выбора зависит от вида красителя и может составлять от 70% (не менее) до 95% (не более). Это значит, что в сточные воды попадет часть красителей и вспомогательных веществ, в том числе поверхностно-активные (иногда с высокой концентрацией кислоты). Они образуют один или несколько потоков, в которых имеется большое число веществ в значительных вариациях [3, 4].

В технологии очистки сточных вод предлагается использовать из ряда органических веществ феррат натрия на примере фенола [5]. Обеззараженные им источники питьевого водоснабжения являются нетоксичными. Ферраты (VI) щелочных металлов (в кислой среде потенциал FeO_4^{2-} -иона выше потенциала озона и перманганатов) могут заменить широко используемые окислители (пиролюзит, хлорная известь), применение которых приводит к вторичному загрязнению растворов соединениями марганца и хлора. Использование же ферратов позволит исключить вторичное загрязнение обрабатываемых растворов.

Материалы и методы

Электролиз проводится в дифарагменной ячейке. Объем анодной части электролизера составляет 40 см^3 , катодной части – 110 см^3 . Обе части электролизера (анодная и катодная) содержат раствор гидроксида натрия. Суммарная концентрация гидроксида в водосоставляет 750 г/л . Анодом служит стружка (отход, образующийся при обработке стали) площадью поверхности 15

см², катодом – титановая пластина площадью 25 см². На электролизер подается постоянный ток через блок питания «RXN-305D Linear DC AdjustablePowerSupply». Плотность тока составляет 20-40 мА/см². Продолжительность электролиза варьируется от 1 до 3 ч. После двух часов электролиза из анолита выпадает черный осадок, содержащий феррат натрия. По окончании электролиза из анолита отбирается проба для определения концентрации феррат-ионов в растворе. Содержание феррат-ионов в растворе определяется известным методом «Экспрессный метод определения ферратов в щелочной среде с помощью гидроксокомплексов хрома (III)» [6].

Раствор феррата натрия, полученный электрохимическим растворением стальной стружки, был использован для обработки модельных растворов, содержащих фенол. Для приготовления капсул, содержащих феррат натрия в колбу наливали 50 мл циклогексана, добавляли около 0,5 г этилцеллюлозы и 2,5 г парафина. Содержимое колбы (при постоянном перемешивании) нагревали на плитке при 60⁰С. По достижении в колбе однородной массы, добавляли определенное количество Na₂FeO₄. Далее колбу охлаждали до комнатной температуры; при этом наблюдали выделение частиц неправильной формы (капсулы, содержащие феррат натрия). Капсулы отделяли от жидкости, промывали водой и помещали в эксикатор перед дальнейшими исследованиями.

Определение фенола в настоящей работе было основано на известной реакции фенольных соединений с глюкозой (рисунок 1).

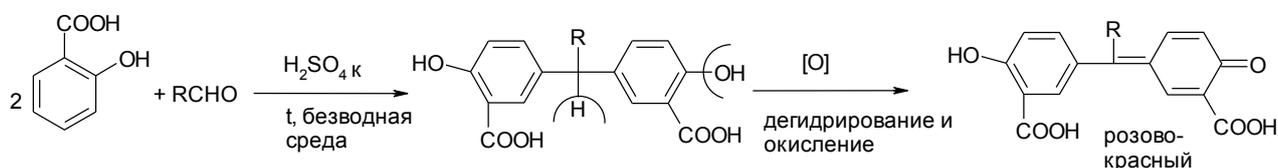


Рисунок 1 – Реакция фенольных соединений с глюкозой

В результате реакции получается ауриновый краситель розово-красного цвета. Электронный спектр поглощения данного соединения представлен на рисунке 2.

Из рисунка видно, что продукт реакции глюкозы с фенолом в среде серной кислоты имеет максимум поглощения при длине волны 480 нм. В дальнейшем данную длину волны использовали для построения калибровочного графика ($5,56 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $1,11 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $1,67 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $2,78 \cdot 10^{-4}$ моль/л).

Далее строили калибровочный график для определения содержания фенола в воде. Используя калибровочный график, определяли содержание фенола в растворе после обработки капсулированным и некапсулированным ферратом натрия.

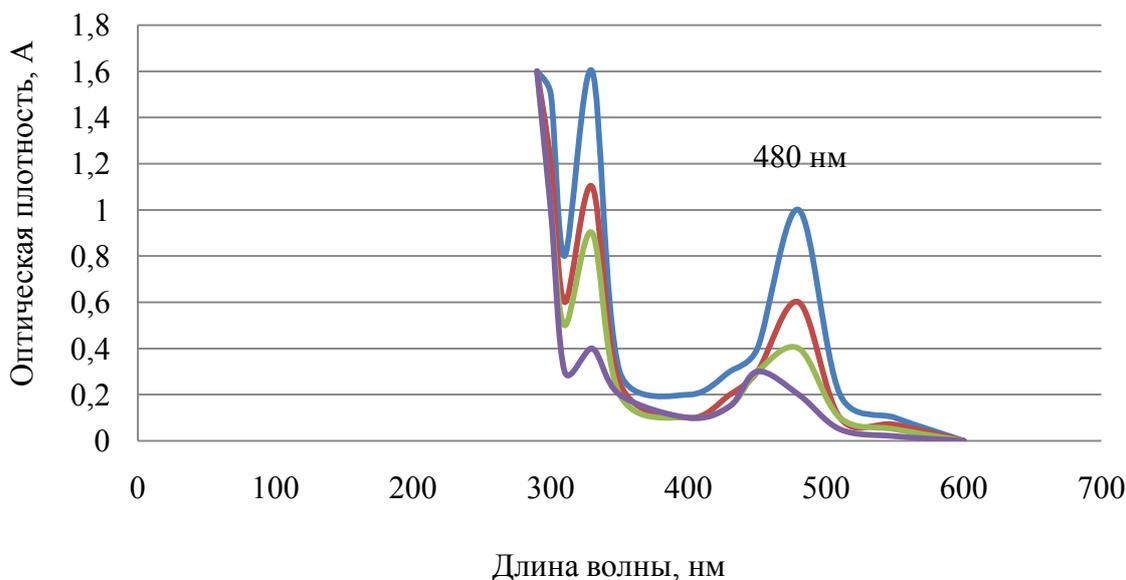


Рисунок 2 – Электронные спектры поглощения фенола

Степень очистки воды от фенола определяли по формуле 1:

$$X = \frac{m_0 - m}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

где m_0 – масса фенола в необработанном растворе;

m – масса фенола в обработанном растворе.

Масса фенола в растворе определялась по формуле 2:

$$m = C \times V \quad (2)$$

где C – молярная концентрация фенола в растворе;

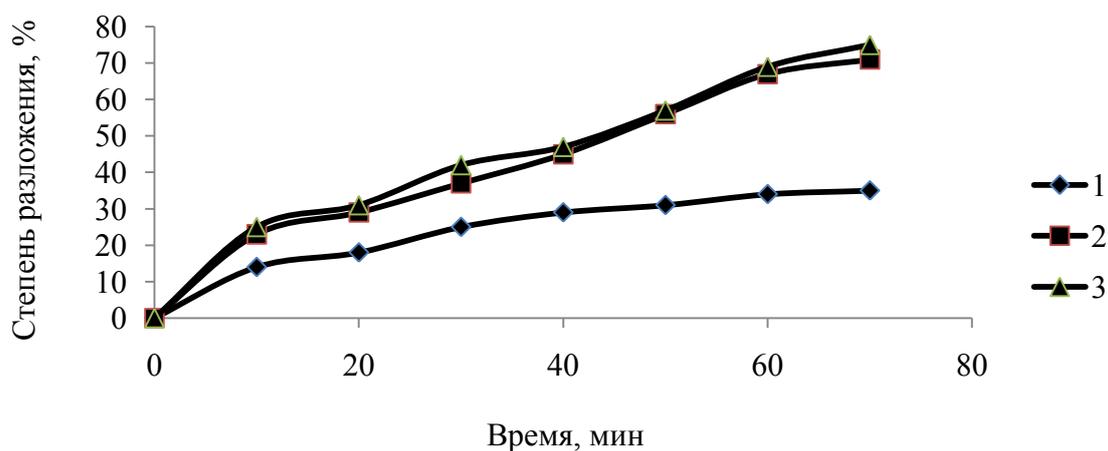
V – объем раствора.

Результаты и обсуждение

Эксперименты проводились следующим образом. В химический стакан, содержащий модельный раствор фенола с известной концентрацией, добавляли определенное количество анолита, полученного растворением стальной стружки в течение 30 мин при анодной плотности тока 5 mA/cm^2 .

На рисунке 3 приведены зависимости степени очистки раствора от фенола от продолжительности очистки и соотношения «модельный раствор: анолит» (при содержании фенола 1 мг/л).

Кривые показывают, что уменьшение объемного соотношения «модельный раствор: анолит» увеличивает степень очистки воды от фенола за один и тот же промежуток времени. Однако уменьшение этого отношения до значения 10^5 не оправдано, поскольку приводит к увеличению рН очищаемой воды до значений 9-9,5. При этом усиливается степень саморазложения феррата. Кроме того, требуется проведение дополнительных операций для нейтрализации избыточной щелочности очищаемой воды.

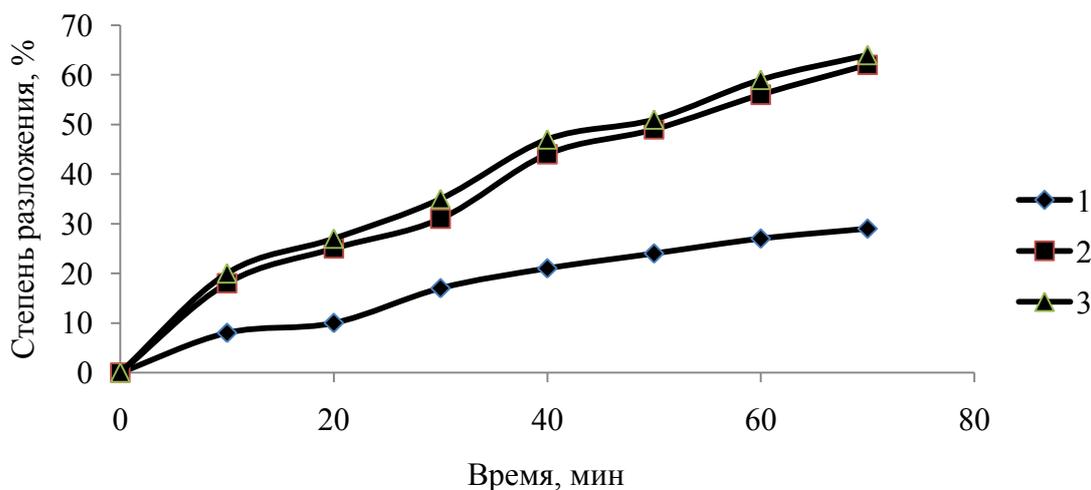


Концентрация фенола: 1 мг/л

Объемное соотношение «модельный раствор: анолит» – 1-10⁶; 2-5*10⁵; 3-10⁵

Рисунок 3 – Зависимости степени очистки раствора от фенола от продолжительности очистки и соотношения «модельный раствор: анолит»

На рисунке 4 приведены зависимости степени очистки раствора от фенола от продолжительности очистки и соотношения «модельный раствор: анолит» (при содержании фенола 0,1 мг/л).



Концентрация фенола: 0,1 мг/л

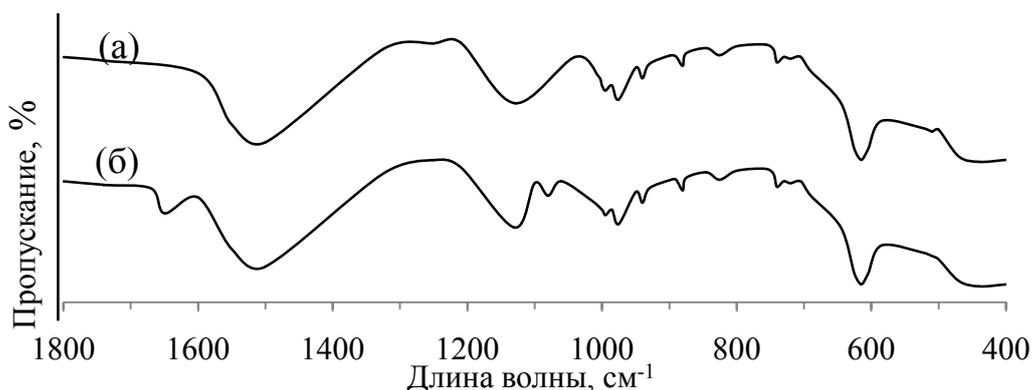
Объемное соотношение «модельный раствор: анолит»: 1-10⁶; 2-5*10⁵; 3-10⁵

Рисунок 4 – Зависимости степени очистки раствора от фенола от продолжительности очистки и соотношения «модельный раствор: анолит»

Из графика следует, что снижение исходной концентрации фенола в воде приводит к менее полной очистке ее от загрязнителя в исследованном временном диапазоне.

Данный факт может быть связан с тем, что снижение начальной концентрации фенола снижает скорость реакции взаимодействия его с феррат-ионами, то есть имеют место кинетические ограничения. На рисунке 5

приведены ИК спектры некапсулированного (а) и капсулированного (б) феррата натрия.



(а) – некапсулированный феррат натрия; (б) – капсулированный феррат натрия

Рисунок 5 – ИК спектры некапсулированного и капсулированного феррата натрия

Можно видеть, что ИК спектры образцов (а) и (б) являются схожими. Дополнительный пик при 1670 см^{-1} , который появляется в капсулированном образце, может быть отнесен к вибрационным колебаниям парафина, входящего в состав оболочки капсулы.

Представлялось важным исследовать стабильность капсул феррата натрия на воздухе, а также в щелочной среде.

На рисунке 6 приведены зависимости степени разложения капсулированного феррата натрия от продолжительности выдержки их на воздухе, а также от массового соотношения «феррат натрия – оболочка капсулы».

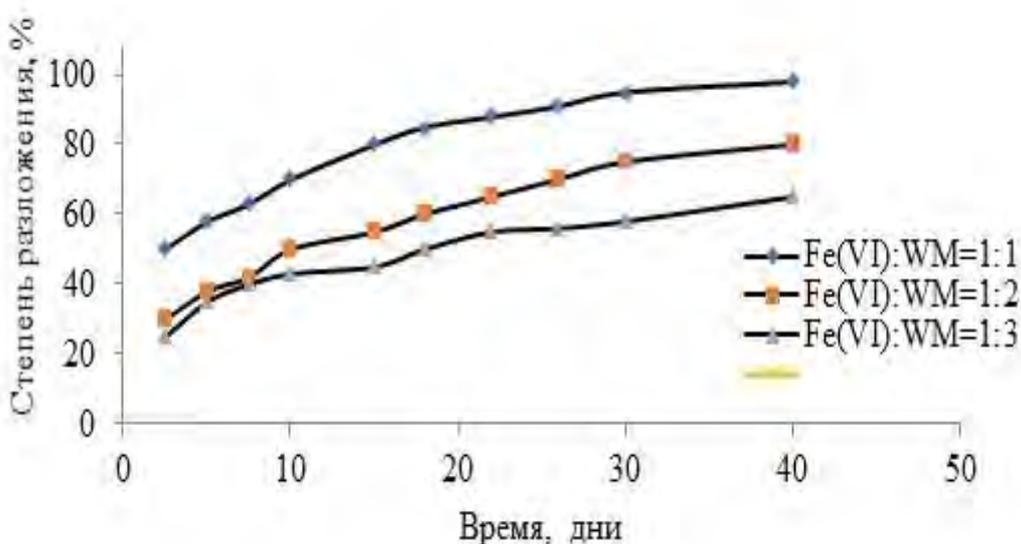


Рисунок 6 – Зависимость степени разложение капсулированного феррата натрия от продолжительности выдержки их на воздухе

Степень разложения капсулированного феррата натрия возрастает с увеличением продолжительности пребывания капсул на воздухе; при этом, увеличение массы оболочки капсулы снижает степень разложения феррата при прочих равных условиях. Так, капсулированный феррат натрия с трехкратным превышением массы оболочки капсулы над ферратом сохраняет свою стабильность на 40 % после 40 дней пребывания на воздухе.

Представляло интерес определить стабильность капсулированного феррата натрия в щелочном растворе, поскольку обработка сточных вод имеет место при рН выше 7.

На рисунке 7 приведены зависимости степени разложения капсулированного феррата натрия от продолжительности контакта его с раствором 9 М NaOH.

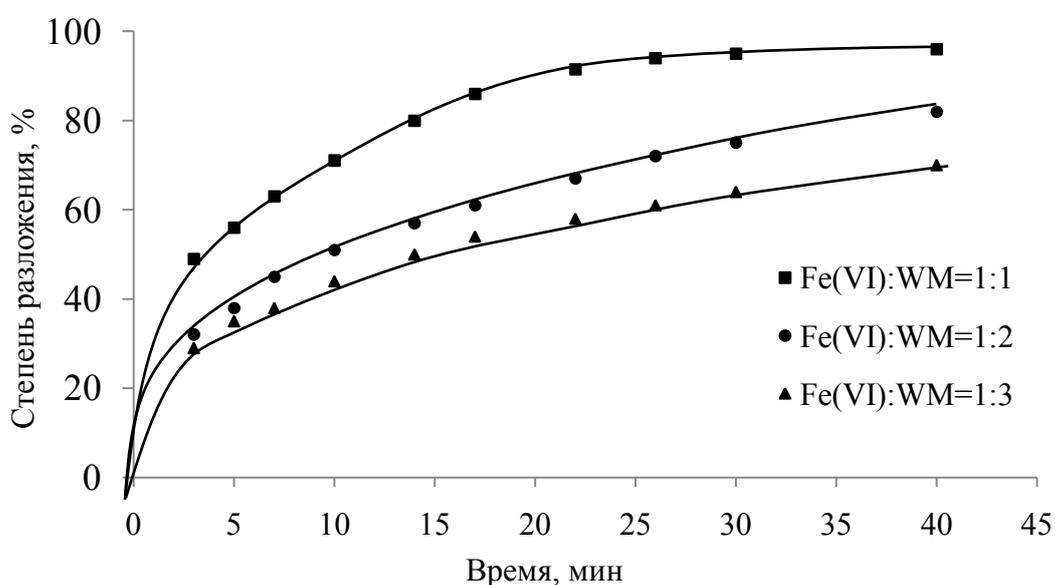


Рисунок 7 – Зависимость степени разложения капсулированного феррата натрия от продолжительности контакта его с раствором 9 М NaOH

Максимальная степень разложения капсулированного феррата натрия достигает 90% за 30 мин контакта капсул с раствором.

Увеличение массы оболочки капсулы, как и ожидалось, приводит к большей устойчивости ферратов натрия, и за те же 30 мин степень разложения феррата составляет уже 50-55% при трехкратном превышении массы оболочки капсулы над массой феррата. Для тестирования капсулированного феррата натрия осуществлена обработка им модельных растворов. Исследована его активность в очистке модельного раствора от фенола. Для изучения процесса очистки модельного раствора от фенола капсулированным ферратом натрия и выяснения роли рН в этом процессе был приготовлен раствор с концентрацией фенола 40 мг/л в присутствии гидроксида натрия (рН раствора варьировался от 4 до 12, продолжительность обработки составляла 80 мин).

По окончании обработки определили содержание фенола в обработанном растворе. Результаты представлены на рисунке 8.

Из рисунка 8 видно, что первые 10-15 мин степень разложения фенола достигла 70-80% от максимально возможной в данных условиях, дальнейшее увеличение времени обработки незначительно увеличило степень разложения фенола в воде. С увеличением рН раствора степень разложения фенола снизилась, что связано с саморазложением феррат-ионов в щелочной среде. Значение рН=6,5 является наиболее оптимальным для очистки воды от фенола с использованием феррат-ионов; так как феррат-ионы при данном значении рН наиболее устойчивы.

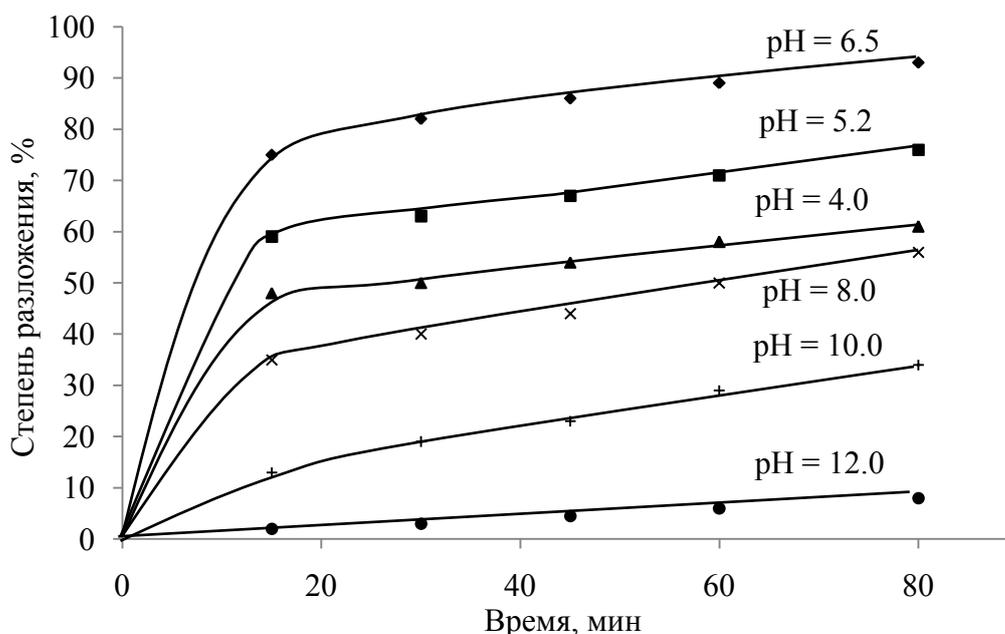


Рисунок 8 – Зависимость степени разложения фенола от времени обработки и рН раствора

Важным фактором в любой химической технологии, в том числе в технологиях водоочистки, являются кинетические параметры процесса [7]. На рисунке 9 приведены константы скорости реакции феррат-ионов с фенолом при обработке воды капсулированным ферратом натрия (без перемешивания).

Так как реакция феррат-ионов с фенолом второго порядка, то для расчета константы скорости реакции использовалось следующее уравнение 3:

$$k = \frac{1}{\tau} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right) \quad (3)$$

где τ – продолжительность обработки, с;

C и C_0 – текущая и начальная концентрации фенола в воде, моль/л.

Для ряда значений рН (6; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 10) были определены средние значения констант скоростей по трем измерениям.

Кривая на рисунке показывает, что наблюдается линейная зависимость между логарифмом константы скорости и рН раствора. Повышение щелочности раствора негативно сказывается на значениях константы скорости

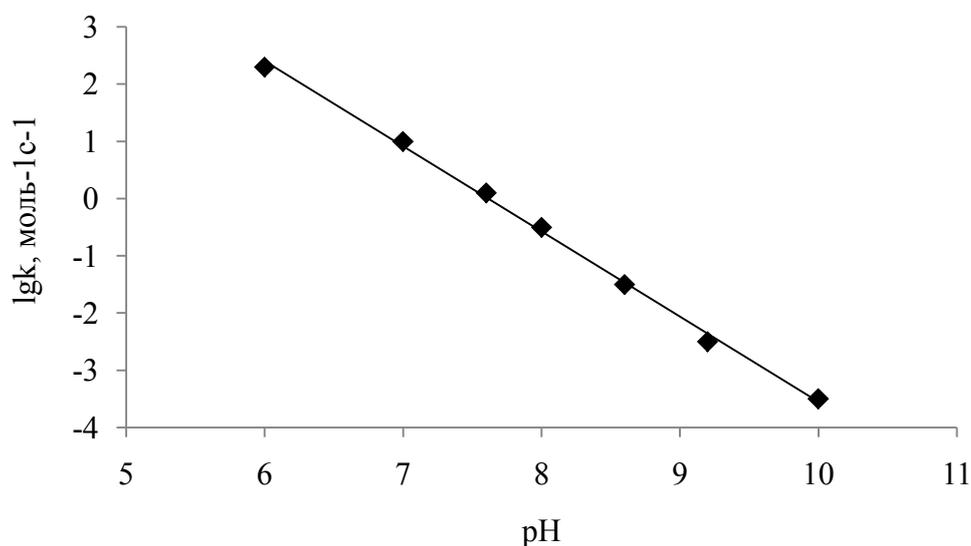


Рисунок 9 – Зависимость константы скорости реакции капсулированного феррата натрия с фенолом в воде от pH раствора

Это объясняется тем, что в присутствии свободных гидроксильных групп (т.е. в щелочном растворе) феррат-ионы более устойчивы, чем в нейтральной и кислой средах, и хуже вступают во взаимодействие с фенолом в растворе. Полученные результаты согласуются с данными авторов [8].

Следующим этапом исследований было определение влияния концентрации феррата натрия на степень разложения фенола в водном растворе. Образцы капсулированного феррата натрия вводились в модельный раствор фенола (1 мг/л) в концентрациях 0,5; 1,0 и 1,5 г/л раствора. Затем в определенные промежутки времени определялось текущее содержание фенола в растворе. Результаты представлены на рисунке 10.

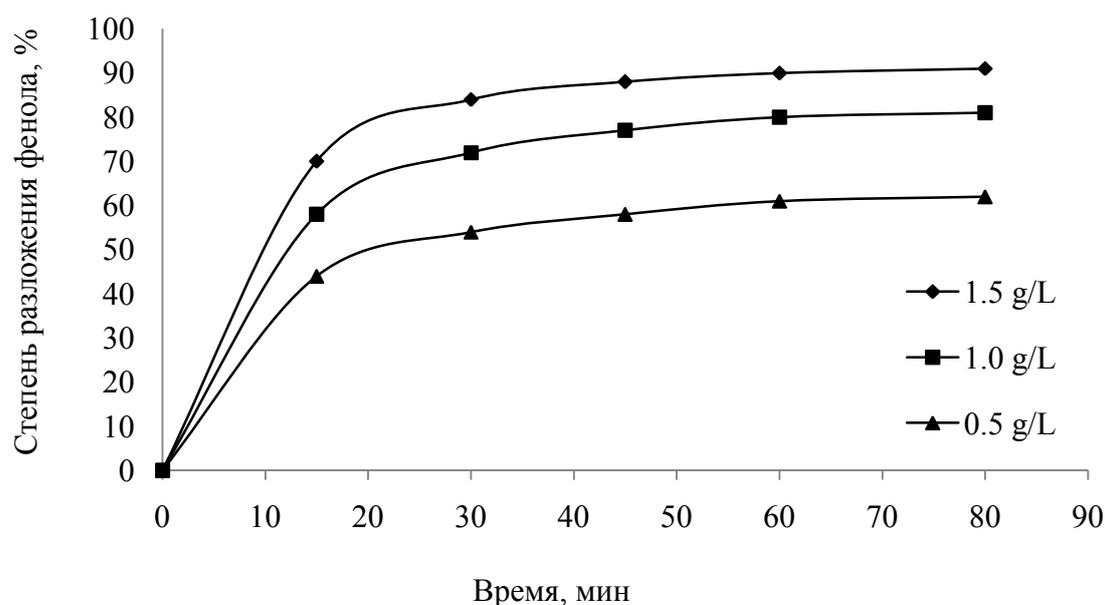


Рисунок 10 – Зависимость степени разложения фенола в воде от концентрации капсулированного феррата натрия и времени

Кривые показывают, что уже через 10 мин контакта капсулированного феррата с раствором практически достигается максимальная степень разложения фенола в воде. В дальнейшем разложение протекает с невысокой скоростью, и достигает 90% при концентрации капсулированного феррата натрия в растворе 1,5 г/л.

Выводы

1) показана возможность стабилизации твердого феррата натрия путем его капсулирования. Найдено, что стабильность капсулированного феррата натрия в воде и в щелочном растворе значительно возрастает в сравнении с некапсулированным ферратом;

2) найдены константы скорости реакции взаимодействия феррат-ионов с фенолом в водном растворе в диапазоне рН от 6 до 10. Показано, что логарифм константы скорости линейно снижается с увеличением рН раствора.

Таким образом, использование капсулированного феррата натрия является подходящей и надежной технологией для очистки содержащих красители сточных вод отделочного производства текстильных предприятий. Капсулированный феррат натрия позволит добиться высокой степени обесцвечивания и удаления других загрязнителей, причем очищенная вода может повторно применяться для процессов промывки.

Список литературы

1 Kadnikova, O.Yu., Altynbayeva, G.K., Aidarkhanov, A.M., Shaldykova, B.A., Uspanova, S.S. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti* 2016 - January(5), с. 141-143

2 Kadnikova, O., Altynbayeva, G., Kuzmin, S., Aidarkhanov, A., Shaldykova, B. *Recycling of production waste as a way to improve environmental conditions – 2018. - Energy Procedia* 147, p. 402-408

3 Kadnikova, Olga; Altynbayeva, Gulnara; Aidarkhanov, Arman; и др. *Improving the technology of processing sewing and knitwear production waste. International scientific conference - environmental and climate technologies // connect -2016. Energy Procedia: – 2014. – Т. 113: С. 488-493*

4 Kadnikova, Olga; Altynbayeva, Gulnara; Aidarkhanov, Arman; и др. *Potential analysis of implementation of developed technology for processing of sewing and knitting fabrics: International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies. Energy Procedia. 2017. Т. 128: С. 411-417.*

5 Zhang D. X., Liu Q., Zhang Y. M. *Treating Effect of Potassium Ferrate to Aquaculture Recirculating Water // Advanced Materials Research. – 2014. – Т. 1004. – С. 1005-1007.*

6 Экспрессный метод определения ферратов в щелочной среде с помощью гидроксокомплексов хрома(III) / В.И. Супрунович, О.В. Павлова и др. – *Вопр. химии и хим. технологии. – 2009 – № 6 – С.83-87.*

7 Bouzek K., Roušar I. *Influence of anode material on current yields during ferrate (VI) production by anodic iron dissolution Part I: Current efficiency during*

anodic dissolution of grey cast iron to ferrate (VI) in concentrated alkali hydroxide solutions // Journal of applied electrochemistry. 1996. Т. 26. №. 9. С. 919-923.

8 Bouzek K., Roušar I., Taylor M. A. Influence of anode material on current yield during ferrate (VI) production by anodic iron dissolution Part II: Current efficiency during anodic dissolution of white cast iron to ferrate (VI) in concentrated alkali hydroxide solutions // J. of applied electrochemistry. 1996. №. 9. С. 925-931.

УДК: 621.311

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНО-ДИНАМИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF VACUUM DYNAMIC POWER AMPLIFIER

Хабдуллин Ас. Б., Хабдуллина З.К., Хабдуллина Г.А., Хабдуллин Ар. Б.

*Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,
aset85@mail.ru*

Khabdullin As., Khabdullina Z., Khabdullina G., Khabdullin Ar.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,

Аннотация: В статье дана информация по разработке и исследованию вакуумно-динамического усилителя мощности. Поставлены и решены следующие задачи: определены параметры вакуумно-динамического усилителя мощности; произведен расчет вакуумно-динамического усилителя мощности. На основе проведенных расчетов была модифицирована конструкция и установлены необходимые параметры двух систем, участвующих в выработке энергии. Большая вариативность оборудования и регулирование нагрузки позволяет создать широкую вариативность исполнения вакуумно-динамического усилителя мощности, а также определяет большое пространство для дальнейших исследований.

Ключевые слова: вакуумно-динамический усилитель мощности, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, технология,

Abstract: The article provides information on the development and research of vacuum dynamic power amplifier. The following tasks were set and solved: the parameters of the vacuum dynamic power amplifier were determined; the calculation of the vacuum dynamic power amplifier was made. On the basis of the calculations, the design was modified and the necessary parameters of the two systems involved in energy production were established. Large variability of equipment and load regulation allows to create a wide variation of the performance of the vacuum dynamic power amplifier, and also defines a large space for further research.

Key words: vacuum dynamic power amplifier, renewable energy, energy efficiency, technology,

За последнее десятилетие мировое производство электроэнергии быстро росло. По состоянию на 2017 год годовая валовая добыча электроэнергии достигла примерно 36 400 ТВт, из которых ископаемое топливо (включая уголь / торф, природный газ и нефть) составляет около 70% мирового производства электроэнергии [1]. Для поддержания стабильности электросети баланс нагрузки в основном управлялся электростанциями на ископаемом топливе. Для достижения цели сокращения выбросов CO₂ будущая генерация электроэнергии будет развиваться с уменьшением зависимости от ископаемого топлива, растущего использования возобновляемых источников энергии и с большим уважением к окружающей среде [2]. Тем не менее, большинство возобновляемых источников энергии являются прерывистыми по своему характеру, что представляет собой серьезную проблему для поддержания энергии, поддержания баланса нагрузки для обеспечения устойчивости и надежности сети. Большие усилия были предприняты для поиска жизнеспособных решений, в том числе для хранения энергоресурсов, переноса нагрузки посредством управления спросом, взаимосвязи с внешними сетями и т.д. Среди всех возможных решений хранения энергоресурсов был признан одним из наиболее перспективных подходов [3]. Технология Энергосбережения относится к процессу преобразования энергии из одной формы (в основном электрической энергии) в сохраняемую форму и резервирования ее в различных средах; тогда накопленная энергия может быть преобразована обратно в электрическую энергию, когда это необходимо [3]. Хранения энергоресурсов может иметь множество привлекательных предложений (функций) для работы сети электропитания и балансировки нагрузки, таких как:

- помощь в удовлетворении пиковых нагрузок на электроэнергию,
- обеспечение изменяющегося во времени управления энергией,
- смягчение прерывистости возобновляемого источника
- повышение качества / надежности электроэнергии,
- удовлетворение потребностей в удаленных и транспортных нагрузках,
- поддержка реализации интеллектуальных сетей,
- оказание помощи в управлении распределенной / резервной энергетикой,
- сокращение импорт электрической энергии в периоды пиковой нагрузки

Во многих сценариях спрос на ЭСБ и выбор соответствующих технологий энергосбережения считался важным и сложным в странах с относительно небольшим размером сети и инерцией. Исходя из изучения последних публикаций, на рисунке 1 показаны различные технологии энергосбережения с потенциалами для решения проблем, стоящих перед энергетическими системами [3]. Многим странам, необходимо решить аналогичные проблемы, которые могут быть решены или улучшены с помощью подходящих технологий хранения энергоресурсов.

Из-за большого потенциала и многочисленных функций хранения энергоресурсов в литературе многие авторы рассмотрели и обобщили

исследования и разработки, демонстрации и промышленные приложения с разных точек зрения, особенно в последние годы. Статья, представленная H.Ibrahim, A.Iinca, J.Perron подчеркнула необходимость сохранения энергии для улучшения энергетических сетей и поддержания уровней нагрузки [4]. Haisheng Chen и Thang Ngoc Cong обеспечили хорошо организованный и всеобъемлющий критический обзор прогресса в системах ЭСБ, охватывающий различные типы технологий хранения энергоресурсов и их статус приложений / развертывания [4-8].

Было проведено краткое статистическое исследование для определения тенденций в исследованиях, связанных с хранением энергоресурсов.. На рисунке 1 показаны результаты, подробно описывающие количество научных работ, опубликованных в шести областях, относящихся к хранения энергоресурсов. Названия субфигур на рисунке 1 являются ключевыми словами, используемыми в поисковой системе. Результаты показывают, что исследования в хранения энергоресурсов за последние десять лет, как правило, увеличивались.

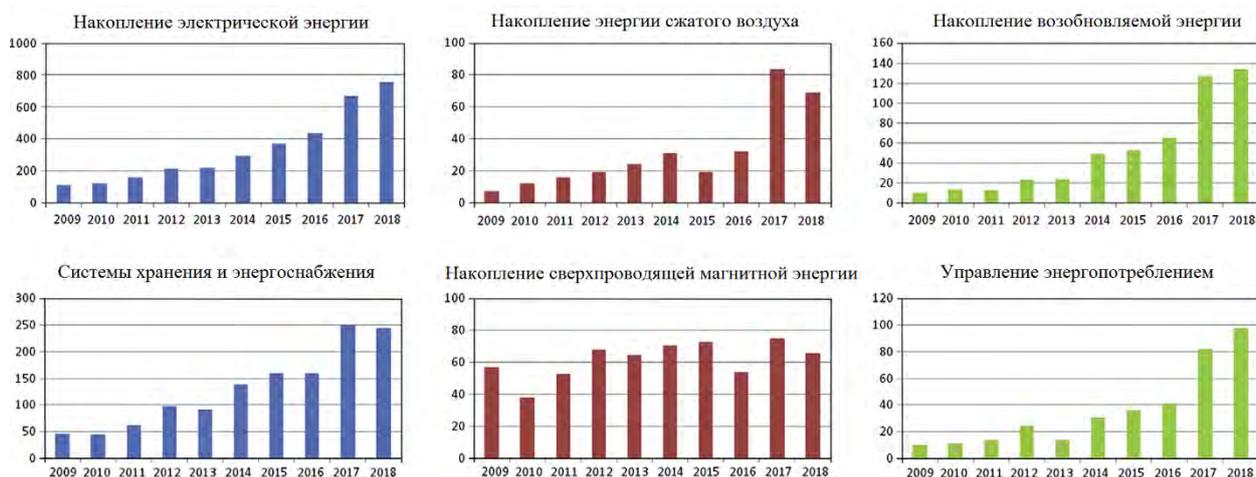


Рисунок 1 – Состояние развития секторов энергосбережения

Хотя потенциальные преимущества установки хранения энергоресурсов для работы энергосистемы широко признаны, существуют некоторые серьезные проблемы при развертывании систем Энергосбережения, такие как:

- как выбрать подходящую технологию хранения энергоресурсов для соответствия требованиям приложений к энергосистеме;
- как точно оценить фактические значения развернутых объектов хранения энергоресурсов, включая технические и экономические выгоды;
- как снизить стоимость до реально приемлемого уровня для развертывания, особенно для новых технологий хранения энергоресурсов.

Как правило, для эффективного производства любого типа ресурсов требуются большие установки, как для производства возобновляемых ресурсов, так и невозобновляемых ресурсов. Нет пока еще ни одной конструкции создающая энергию в домашних условиях, так как для создания мощностей, способных полноценно питать дом и при этом иметь малый масштаб. Данный

способ производства электроэнергии можно отнести к возобновляемым лишь номинально, ведь он построен на способе еще ни разу не примененной в современной науке – изменении давления и работы в условиях разрежения. В настоящее время мы смогли разработать устройство пригодное для малых хозяйств, использующую мощность до 1кВ. [9-12].

Устройство работает совместно с электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания. ВДУМ совместно с электродвигателем или двигателем внутреннего сгорания позволяет значительно экономить электроэнергию и топливо, а также может применяться в автономных системах электроснабжения, как экологически чистая генерирующая установка в производственных помещениях и сооружениях, а также в жилых домах. Данное устройство первое в свое роде и не имеет никаких аналогов.

Широкое внедрение вакуумно-динамического усилителя мощности различного назначения позволят значительно экономить электроэнергию и топливо. По расчетам обладает низкими затратами на получение 1кВт.

Изобретение относится к области машиностроения, в частности к объемным поршневым машинам, таким как двигатели, компрессоры, насосы.

Предлагаемое изобретение позволяет значительно экономить электроэнергию и топливо, упростить конструкцию, увеличить крутящий момент за счет использования взаимодействия атмосферного давления и вакуума.

Алгоритм расчета состоит из семи модулей (рисунок 2).

По расчетам и результатам полученных на экспериментальных моделях, где проводились замеры динамических нагрузок на узлы и детали, поддерживающие колебания системы, коэффициент преобразования энергии составляет 43 %.

Главной задачей при расчёте данного проекта является создание компьютерной симуляции и расчет необходимых мощностей и оборудования. В начале, необходимо определить угловую скорость маховика:

$$\omega = 2\pi n \quad (1)$$

Далее определяем линейную скорость:

$$v = \omega R \quad (2)$$

Необходимо определить период вращения маховика:

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad (3)$$

Момент инерции маховика относительно оси вращения:

$$I_1 = \frac{mR^2}{2} \quad (4)$$

Кинетическая энергия вращения, накопленная в маховике будет равна:

$$E_1 = \frac{I\omega^2}{2} \quad (5)$$

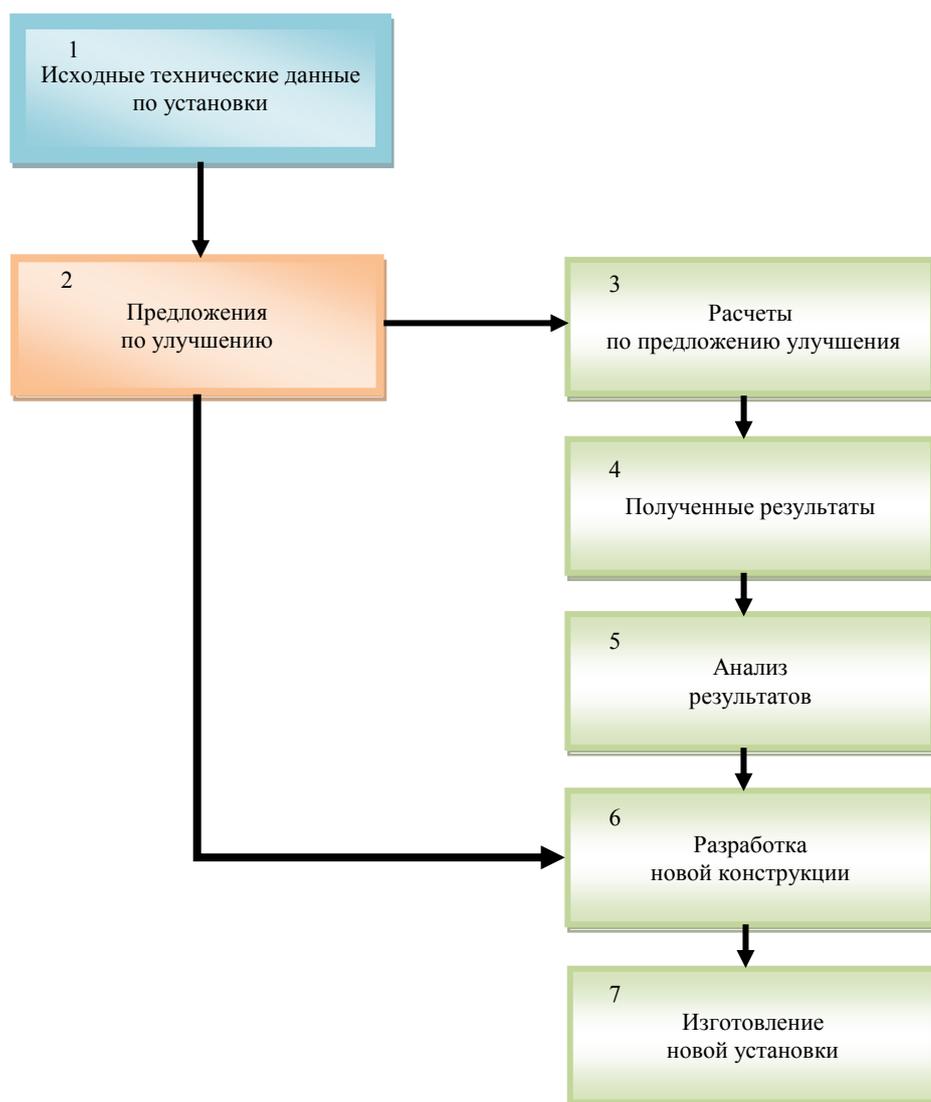


Рисунок 2 –Разработка и исследование вакуумно-динамического усилителя мощности

Определяем необходимый радиус шатуна:

$$R_{кр} = \frac{s}{2} \quad (6)$$

Сила, возникающая на кривошипе 1:

$$F_{кр1} = m\omega^2 R_{кр} \quad (7)$$

Определяем работу системы 1:

$$A_1 = F_{кр1} L \quad (8)$$

1: Определяем мощность для создания крутящего момента на валу системы

$$N_1 = \frac{A_1}{t} \quad (9)$$

Угол между шкивом и шатуном принимаем равным 30 градусов.

Сила, передаваемая на шток будет равна (принимаем КПД=0,87):

$$F_{шат1} = F_{кр1} * \sin 30^\circ * \eta_1 \quad (10)$$

Определяем момент шатуна:

$$M_{\text{шат1}} = F_{\text{шат1}} R_{\text{шат}} \quad (11)$$

Определяем силу, которой шток давит на вакуумный усилитель тормоза (принимая КПД равным 0,85):

$$F_{\text{шт1}} = \frac{2M_{\text{шат1}}}{D} * \eta_2 \quad (12)$$

Далее, необходимо определить время, за которое вакуумный насос подготовит усилитель мощности к работе:

$$t_{\text{вак}} = \frac{V}{S} \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) F, \quad (13)$$

где F - коэффициент, зависящий от необходимого давления в области разряжения, в данном случае он равен 1,5

По оценкам действия ВУ на практике, было выяснено, что он работает эффективно при давлении менее 500 бар, что в 2 раза менее атмосферного (1013 бар). Опытным путем доказано, что для начала цикла работы необходимо наличие давления равного 200 бар. При заданных параметрах, время создания разряжения будет равно:

$$t_{\text{вак}} = \frac{0.02}{16} \ln \left(\frac{1013}{200} \right) 1,5 \quad (14)$$

Итого, время необходимое для создания разряжения, необходимого для работы установки равно 10,95 сек. В дальнейшем по оценкам моей работы значение функции логарифма стремится к 0. На основе проведенных мной опытов, устанавливается, что коэффициент усиления системы в зависимости от разряжения системы варьируется от 4 до 7. В дальнейших вычислениях принимаем среднее значение равное 5,5. Соответственно определяем силу штока на выходе:

$$F_{\text{шт2}} = F_{\text{шт1}} * k \quad (15)$$

В дальнейшем необходимо определить момент шатуна системы 2:

$$M_{\text{шат2}} = \frac{F_{\text{шт2}} D}{2} \quad (16)$$

Сила на шатуне системы 2 будет равна (принимая КПД равное 0,87):

$$F_{\text{шат2}} = \frac{M_{\text{шат2}}}{R_{\text{шат}}} * \eta_3 \quad (17)$$

Определяем силу, приходящую на кривошип (принимая КПД 0,87):

$$F_{\text{кр2}} = \frac{F_{\text{шат2}}}{\sin 30^\circ} * \eta_4 \quad (18)$$

Для того, чтобы система была синхронизована необходимо обеспечить равенство систем:

$$\omega_1 = \omega_2 \quad (19)$$

$$T_1 = T_2 \quad (20)$$

Определяем параметры 2-ой системы:

$$F_{\text{кр2}} = m_2 \omega^2 R_{\text{кр}} \quad (21)$$

Отсюда:

$$m_2 = \frac{F_{\text{кр2}}}{\omega^2 R_{\text{кр}}} \quad (22)$$

Устанавливаем, что системе 2 для синхронной работы с системой 1 и сохранения момента необходим маховик массой 188 кг. Для этого выбирается маховик и устанавливается в количестве

Определяем работу системы:

$$A_2 = F_{кр2}L \quad (24)$$

Определяется мощность системы:

$$N_2 = \frac{A_2}{t} \quad (25)$$

Соответственно мощность, получаемая генератором, будет равна (принимая КПД=0,9):

$$N_{ген} = N_2\eta_5 \quad (26)$$

Сравнивая мощность первой и второй системы, получаем:

$$\frac{N_2}{N_1} \quad (27)$$

В таком случае, общее КПД системы равняется:

$$\eta_{общ} = \eta_1\eta_2\eta_3\eta_4\eta_5 \quad (28)$$

Так как КПД меньше 50% предлагается улучшить конструкцию благодаря демонтажу шатуна.

В данном случае расчет представляет собой:

$$M_{кр1} = F_{кр1}R_{кр} \quad (29)$$

Определяем силу, которой шток давит на вакуумный усилитель мощности (принимая КПД равным 0,85):

$$F_{шт1} = \frac{2M_{шат1}}{D} * \eta_2 \quad (30)$$

В дальнейших вычислениях принимаем среднее значение коэффициента усиления равное 5,5. Соответственно определяем силу штока на выходе:

$$F_{шт2} = F_{шт1} * k \quad (31)$$

В дальнейшем необходимо определить момент кривошипа системы 2:

$$M_{шат2} = \frac{F_{шт2}D}{2} \quad (32)$$

В дальнейшем необходимо определить момент кривошипа системы 2 (КПД принимаем 0,85):

$$F_{шат2} = \frac{M_{шат2}}{R} * \eta_3 \quad (33)$$

Определяем параметры 2-ой системы:

$$F_{кр2} = m_2\omega^2R_{кр} \quad (34)$$

Отсюда:

$$m_2 = \frac{F_{кр2}}{\omega^2R_{кр}} \quad (35)$$

Устанавливаем, что 2ой системе для синхронной работе с 1ой и сохранения момента необходим маховик массой 110 кг. Для этого выбирается маховик и устанавливается в количестве сваренной.

Определяем работу системы:

$$A_2 = F_{кр2}L \quad (37)$$

Определяется мощность системы:

$$N_2 = \frac{A_2}{t} \quad (38)$$

Соответственно мощность, получаемая генератором равна (принимая КПД=0,9):

$$N_{\text{ген}} = N_2 \eta_5 \quad (39)$$

Сравнивая мощность первой и второй системы, получаем:

$$\frac{N_2}{N_1} \quad (40)$$

В таком случае, общее КПД системы равняется:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 \eta_5 \quad (41)$$

Принимаем второй вариант машины основным.

На основе полученных расчетов была построена схема, полностью описывающая технологический процесс, спецификации и особенности работы установки. Неотъемлемой частью процесса создания новой технологии является заключение патента, проектирование и создание реальной модели.

Предлагаемое изобретение позволяет упростить конструкцию и увеличить крутящий момент за счет усиливающего действия вакуумно усилителя мощности.

Известное устройства позволяет обеспечить самоустанавливаемость механизма поршневой группы путем исключения избыточных связей механизма, а также позволяет повысить технологичность конструкции за счет снижения требований к точности изготовления деталей, входящих в устройство.

Недостатками указанной машины являются жесткие связи в механизмах, а также наличие второго кривошипного механизма, которые усложняют конструкцию поршневой машины. Жесткие связи в механизмах требуют наличия механизма уравнивания сил инерции, благодаря увеличению массы маховика 11, а отсутствие регулирования усилий воздействия на выходе снижает эффективность работы машины.

Регулируя мощность электродвигателя можно добиться изменения мощности на выходе, получая максимальное увеличение мощности равное 7.

Задачей изобретения является создание поршневой машины с увеличением крутящего момента за счет усиления мощности, создаваемой благодаря вакуумному усилителю мощности 5.

Изобретение относится к области машиностроения в частности к объемным поршневым машинам, таким как двигатели, компрессоры, насосы.

Технический результат проявляется в увеличении крутящего момента и достигается тем, что шток 4 воздействует на атмосферную камеру вакуумно-динамического усилителя мощности 5. Вакуумный насос создает разрежение в вакуумной камере вакуумно-динамического усилителя мощности 5, что позволяет создать усиление воздействия на шток 8. Клапан 7 позволяет сохранять герметичность при работе установки.

По сравнению с известными, предлагаемое устройство позволяет увеличить крутящий момент на приводном валу за счет использования дополнительной энергии, благодаря разницы давления между вакуумной камерой и атмосферной камерой вакуумно-динамического усилителя мощности 5. При этом увеличение крутящего момента происходит на всем времени

работы установки, благодаря работе двух установок с каждой стороны вала. Схема изобретения пояснена на рисунке.

Список литературы

1. Chen H, Cong TN, Yang W, Tan C, Li Y, Ding Y. Progress in electrical energy storage system: a critical review. Prog Nat Sci 2009; 19:291–312.
2. Beaudin M, Zareipour H, Schellenberglobe A, Rosehart W. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: an updated review. Energy Sust Dev 2010; 14:302–14.
3. Succar S, Williams RH. Compressed air energy storage: theory, resources, and applications for wind power. Princeton Environmental Institute. Energy Anal Group; 2008.
4. Dace E, Blumberga D, Kuplais G, Bozko L, Khabdullina Z, Khabdullin A. [Optimization of landfill gas use in municipal solid waste landfills in Latvia](#) International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT) 2014;72: 293-299.

УДК: 621.311

ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА БЕЗ ЗАТРАТНОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И НАГРУЗКИ

IMPLEMENTATION OF THE SOFTWARE PACKAGE WITHOUT COSTLY ENERGY-SAVING TECHNOLOGY TO MINIMIZE POWER AND LOAD LOSSES

*Хабдуллин Ас.Б., Хабдуллина З.К., Хабдуллина Г.А., Хабдуллин Ар. Б.
Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,
aset85@mail.ru*

*Khabdullin As., Khabdullina Z., Khabdullina G., Khabdullin Ar.
Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,*

Аннотация: В статье дана информация по оптимизации установившихся режимов в системах электроснабжения с целью минимизации потерь мощности. Поставлены и решены следующие задачи: определены параметры двигателей; произведен расчет установившегося режима СЭС. Получены статистические характеристики потерь мощности в асинхронных и синхронных двигателях и трансформаторах. Исследования проведены для горно-обогатительного производства. На основе полученной универсальной модели разработан программный комплекс, предназначенных для выполнения расчетно-экспериментальных исследований с целью получения статических характеристик потерь мощности и нагрузок в СЭС и установления закономерностей изменения этих характеристик.

Ключевые слова: система электроснабжения, статистические характеристики; асинхронный и синхронный двигатель, трансформатор, мощность нагрузки; установившийся режим; потери мощности; программный комплекс.

Abstract: The article provides information on optimization of steady-state regimes in power supply systems in order to minimize power losses. The following tasks were set and solved: engine parameters were determined; calculation of the steady-state SES mode was made. Statistical characteristics of power losses in asynchronous and synchronous motors and transformers are obtained. Studies have been carried out for mining and processing production. Based on the universal model of the developed program complex, intended for performing computational and experimental studies with the aim of obtaining the static characteristics of power losses and loads in the SES and identify patterns of change in these characteristics.

Key words: power supply system, statistical characteristics; asynchronous and synchronous motor, transformer, load power; steady-state mode; power loss; software package.

Общеизвестно, что энергоемкость отечественной промышленности существенно превышает аналогичные показатели развитых экономик Западной Европы, США и Японии. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется вопросам энергосбережения в направлении оптимизации режимов электропотребления отдельных электроприемников и электротехнических комплексов, а также сокращения потерь при передаче, распределении и потреблении электроэнергии[1]. При этом эффективность функционирования промышленных предприятий оценивается, в том числе и по показателям экономичности работы системы электроснабжения (СЭС), что особенно актуально при значительных удельных расходах электроэнергии и высокой энергетической составляющей в структуре себестоимости продукции [2]. В этой связи необходимо решать задачу оптимизации режимов работы систем электроснабжения с целью минимизации потерь на передачу энергии от энергосистемы потребителям.

Решение задачи минимизации потерь электроэнергии в электрических сетях целесообразно, прежде всего, на этапе проектирования промышленного объекта, когда осуществляется выбор параметров основного электрооборудования. Не менее актуальна эта задача и в процессе эксплуатации СЭС. Однако в обоих случаях проблемы анализа, расчета и оптимизации режимов работы СЭС возможно только на основе применения специальных методов и средств вычислительной техники. Развитие методов математического моделирования, направленных на решение перечисленных задач, несомненно, актуально.

Проектирование и эксплуатация схем электроснабжения требуют решения разнообразных задач, характеризующихся повышением надежности электроснабжения потребителей и множеством параметров, определяющих состояние взаимосвязанных и взаимодействующих процессов в синхронных и

асинхронных двигателях, отдельных элементах системы электроснабжения и энергосистемы. Проблемы анализа, расчета и оптимизации режимов работы решаются на основе применения специальных методов и средств вычислительной техники. Наибольшее распространение получили методы математического моделирования.

Несмотря на значительное число работ в этой области [1-6], методы моделирования и оптимизации цеховых систем электроснабжения, алгоритмов расчета характеристик асинхронный двигатель (АД) и синхронный двигатель (СД), статических характеристик нагрузок и потерь мощности применительно к расчету нормальных режимов работы крупных СЭС и их практическая реализация еще не получили должного развития. Большинство существующих алгоритмов упрощенно представляют сложную по структуре и конфигурации схему цеховых сетей, эквивалентируют большую часть нагрузки на напряжении 380 В, не в полной мере учитывают изменения параметров схемы замещения АД и СД [7-11].

Исследования включают комплекс методов, состоящих из анализа и научного обобщения научно-технической и патентной информации, теоретических исследований, методов трехмерного моделирования и конструирования. Достоверность результатов научных исследований подтверждается разработкой моделей предлагаемых устройств. [12].

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие теоретические и прикладные задачи:

1. Разработка методики и алгоритмов расчета параметров схем замещения АД, СД с массивным гладким ротором и с шихтованными полюсами, по каталожным данным применительно к определению статических характеристик потерь мощности;

2. Исследование влияния отклонения реальных данных, нормируемых стандартами, двигателей от каталожных на разброс значений параметров схем замещения;

3. Доработка программного комплекса для расчета установившихся режимов СЭС с электродвигательной нагрузкой на основе разработанных алгоритмов применительно к определению статических характеристик потерь мощности;

4. Получение статических характеристик нагрузок и потерь мощности для реальных промышленных объектов и исследование возможности их использования при разработке энергосберегающих мероприятий.

Качество моделирования системы промышленного электроснабжения (СПЭ) в значительной степени определяется способом моделирования режимов [13]. Способ моделирования режимов должен позволять отображать все многообразие возможных состояний СПЭ при оптимальных затратах машинного времени и ресурсов ЭВМ на расчеты [14].

Для упрощения расчетов режимов в СПЭ целесообразно выделить три иерархических уровня [15]

Параметры режима СПЭ на этом уровне определяются уравнением

$$\underline{U}_y = \underline{E}_c - \underline{Z}_y \underline{I}_y, \quad (1)$$

где \underline{U}_y (\underline{I}_y) - матрицы узловых напряжений (токов), соответствующих секциям распределительных устройств в СПЭ, т.е. узлам промышленной нагрузки; \underline{Z}_y - матрица узловых сопротивлений.

Входными параметрами первого уровня являются узловые токи \underline{I}_y , которые отражают влияние второго и третьего уровней; выходными параметрами - узловые напряжения \underline{U}_y характеризующие влияние первого уровня на остальные.

Для второго иерархического уровня СПЭ можно записать следующие уравнения:

$$\underline{U}_{\%JB} = \underline{U}_{-} - \underline{Z}_{\%JB} \underline{I}_{JB}; \quad (2)$$

$$\underline{I}_y = \underline{I}_{np} + \underline{M}_d \underline{I}_d, \quad (3)$$

где $\underline{U}_{ВД}$ - матрица напряжений на выводах двигателей; $\underline{Z}_{ВД}$ - матрица сопротивлений элементов электрической сети в цепи от узла нагрузки до выводов двигателей; \underline{M}_d - матрица подключения двигателей к узлам нагрузки; \underline{I}_d - матрица токов двигателей.

Входными параметрами второго уровня по отношению к первому являются узловые напряжения \underline{U}_y ; по отношению к третьему - токи двигателей \underline{I}_d . Выходными параметрами второго уровня по отношению к первому будут узловые токи \underline{I}_y , по отношению к третьему - напряжения на выводах двигателей $\underline{U}_{ВД}$.

На третьем иерархическом уровне СПЭ параметры режима определяются системой уравнений установившихся режимов СД и АД. При этом входными параметрами для СД будут напряжения на выводах двигателя $\underline{U}_{вСД}$ и обмотке возбуждения U_f и момент сопротивления механизма $M_{МЕХ}$ а для АД - напряжение на выводах двигателя $\underline{U}_{вАД}$ и момент сопротивления механизма $M_{МЕХ}$. Выходными параметрами СД и АД, через которые проявляется влияние двигателей на режим остальных уровней СПЭ, являются токи двигателей $\underline{I}_{СД}$ и $\underline{I}_{АД}$.

Цеховые сети в отличие от питающих сетей внешнего электроснабжения и распределительных сетей внутризаводского электроснабжения имеют следующие особенности, нашедшие отражение в математической модели систем электроснабжения напряжением до 1 кВ:

1. Номенклатура элементов цеховой сети существенно шире нежели в электрических сетях высокого напряжения (к вышеперечисленным элементам следует добавить трансформаторы тока, предохранители, автоматические выключатели (автоматы), контакторы, пускатели, рубильники, пакетные выключатели. Тип элемента в математической модели задается по аналогии с высоковольтными сетями признаком типа (JE) с номерами от 10 до 16 (JE=10 – трансформатор тока, JE=11 – автомат и т.д.).

2. Несмотря на то, что большее число низковольтных элементов электрической сети являются коммутационными аппаратами, они обладают конечной величиной электрического сопротивления, которое определяется исходя из номинальных параметров устройства (номинального тока и

напряжения). Сопротивление трансформаторов тока определяется на основе данных о номинальном токе первичной обмотки и класса точности.

3. В низковольтных электрических сетях необходимо учитывать величину контактных сопротивлений между элементами, которая приплюсовывается к сопротивлению нижерасположенного элемента сети.

Для нормальной работы потребителей необходимо поддерживать определенный уровень напряжения на шинах подстанций. В электрических сетях предусматриваются способы регулирования напряжения, одним из которых является изменение коэффициента трансформации трансформаторов.

Известно, что коэффициент трансформации определяется как отношение первичного напряжения ко вторичному.

Коэффициент трансформации изменяют с помощью дополнительными ответвлениями, которые снабжены в обмотки трансформаторов.

Разработанная универсальная математическая модель систем электроснабжения и узлов промышленной нагрузки, позволила на основе детального учета характера зависимостей потерь мощности от уровней напряжения, для каждого элемента выполнить комплексную оценку потерь мощности во всей системе одновременно. На основе полученной универсальной модели разработан программный комплекс, предназначенных для выполнения расчетно-экспериментальных исследований с целью получения статических характеристик потерь мощности и нагрузок в СЭС и установления закономерностей изменения этих характеристик.

Для расчетно-экспериментальных исследований установившихся режимов СПЭ в качестве базового использовался программный комплекс «SEZAM», созданный на кафедре Электроснабжения промышленных предприятий Национального исследовательского университета «МРЕИ».

Применительно к целям и задачам работы проведена модернизация комплекса, которая заключалась:

- в переработке программы расчета параметров схем замещения высоковольтных и низковольтных асинхронных двигателей;
- в переработке программы расчета параметров схем замещения высоковольтных и низковольтных синхронных двигателей различных типов ;
- разработке алгоритма расчета потерь мощности в двигателях с учетом эффекта вытеснения тока в демпферных обмотках СД и АД;
- разработке программы определения статических характеристик потерь мощности как в отдельных электродвигателях, так и во всей системе электроснабжения;
- изменение интерфейса программного комплекса под задачи исследования статических характеристик потерь мощности.

На рисунке 1 показаны данные об основных параметрах сети. Указано количество ветвей в схеме замещения, синхронных и асинхронных двигателей, трансформаторов, кабельных линий, воздушных линий, токопроводов, реакторов, выключателей, секций, электрических систем, а так же указано значение базисной мощности и и номинальное напряжение ступени ЭДС системы.

Для точного определения места элементов (трансформатор, КЛ, ВЛ, реактор и т.д.) электрической сети, в схеме замещения имеются узлы или точки, которые имеют каждый свой номер. Это необходимо для того, что бы при вбивании координат элемента электросети, программа видела к чему прикреплён данный элемент сети и с каким элементом связан в электрической сети. Элементов, которых нет в данной схеме замещения не указывается их количество, т.е. 0. Показаны данные о структуре сети. Указаны элементы сети на каждом узле, присоединения асинхронных двигателей, секций, а так же типы и состояния выключателей.

Как видно на рисунке 1 в исходных данных по конфигурации электрической сети нужно указывать код элемента, которые расписаны справа в виде списка. В данной схеме замещения элеткрическая система имеет код элемента 1, начало узла ветви 0 и конец узла ветви 1. Очень важно указывать начало и конец ветви, иначе программа не сможет понять к чему прикреплён элемент. Вторая система на рисунке 24 имеет начало узла ветви тот же номер, что и первая система, т.е. 0.

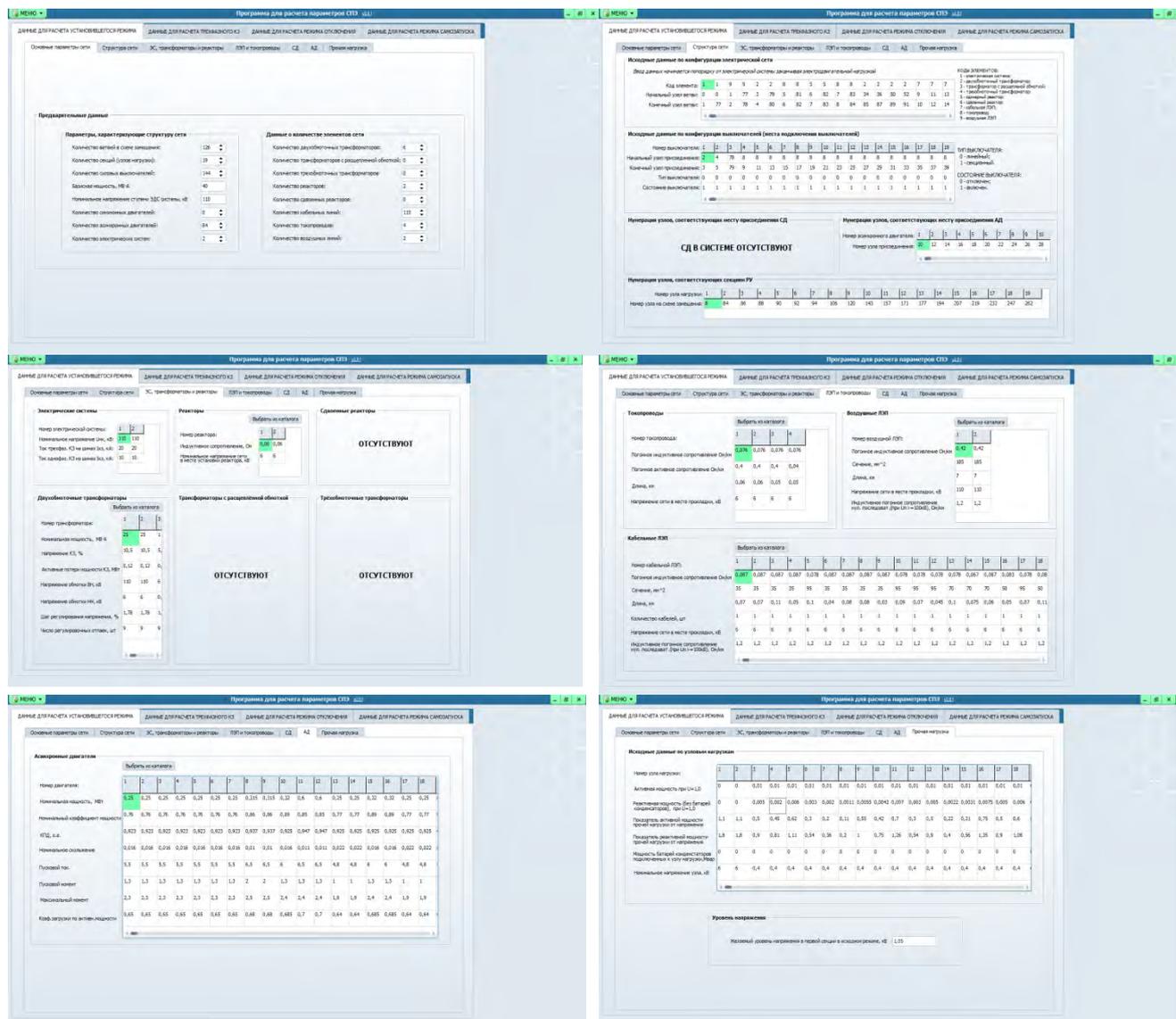


Рисунок 1 – Исходные данные программного комплекса

Исходные данные по конфигурации выключателей рассматривается также методика заполнения ячеек, только еще обязательно указывается тип выключателя и его состояние, иначе программа не будет производить расчет.

Нумерация узлов, соответствующих месту присоединения асинхронного двигателя указывается узел его присоединения.

Все данные элементов системы необходимо указывать в таком же порядке как было указано в структуре сети.

На рисунке 1 представлены параметры электрической сети: номинальное напряжение, ток трехфазного КЗ на шинах и ток однофазного КЗ на шинах. Параметры реакторов: индуктивное сопротивление, номинальное напряжение сети в месте установки реактора.

В двухобмоточных трансформаторах указываются следующие параметры: номинальная мощность, напряжение КЗ, активные потери мощности КЗ, напряжение обмотки на ВН и на НН, шаг регулирования напряжения и число регулировочных отпаек. Технические данные брались из справочника Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования.

На рисунке 1 показаны данные о КЛЭП, ВЛЭП и токопроводах.

В токопроводах указываются следующие параметры: погонное индуктивное сопротивление, погонное активное сопротивление, длина, напряжение сети в месте прокладки.

В воздушных ЛЭП указываются следующие параметры: погонное индуктивное сопротивление, сечение, длина, напряжение сети в месте прокладки, Индуктивное погонное сопротивление нулевой последовательности.

В кабельных ЛЭП указываются следующие параметры: погонное индуктивное сопротивление, сечение, длина, количество кабелей, напряжение сети в месте прокладки и индуктивное погонное сопротивление нулевой последовательности.

На рисунке 2 представлены технические параметры асинхронных и синхронных двигателей: номинальная мощность, номинальный коэффициент мощности, КПД, номинальное скольжение, пусковой ток, пусковой момент, максимальный момент, коэффициент загрузки по активности мощности.

В исходных данных по узловым нагрузкам вводятся следующие параметры: активная мощность, реактивная мощность, показатель активной мощности прочей нагрузки от напряжения, показатель реактивной мощности прочей нагрузки от напряжения, мощность батарей конденсаторов подключенных к узлу нагрузки, номинальное напряжение узла.

В уровне напряжения указывается желаемый уровень напряжения в первой секции в исходном режиме.

При правильно введенных данных вылезет новое окно с надписью «результаты расчетов», где проведено расчет параметров режима узлов нагрузки, асинхронные двигатели, потери в системе электроснабжения и строятся графики потерь мощности.

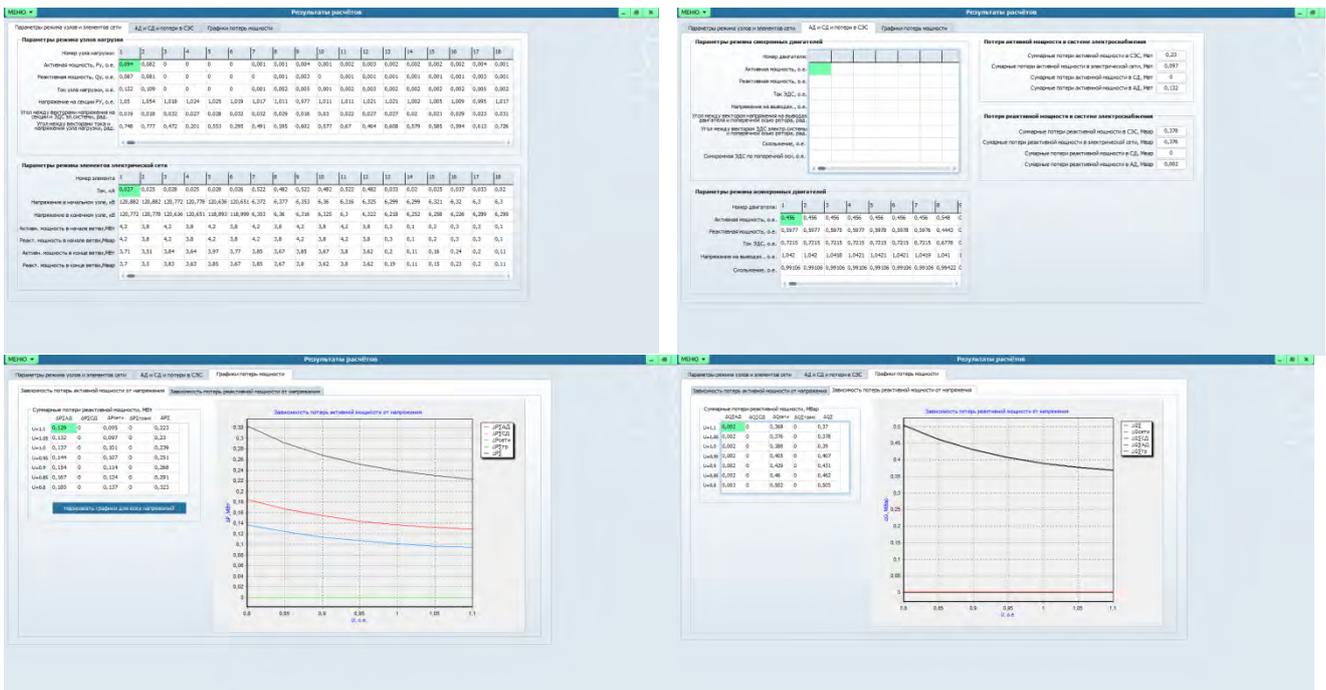


Рисунок 2 – Выходные данные программного комплекса

На рисунке 2 произведен расчет и указываются параметры режима узлов нагрузки, их активная мощность, реактивная мощность, ток узла нагрузки, напряжение на секции РУ, угол между векторами напряжения на секции и ЭДС электрической системы, угол между векторами тока и напряжения узла нагрузки.

В параметрах режима элементов электрической сети показаны результаты расчета напряжения в начальном узле, напряжения в конечном узле, активная и реактивная мощности в начале ветви, активная и реактивная мощности в конце пути.

На рисунке 2 показаны результаты параметров режима асинхронных двигателей: активная мощность, реактивная мощность, ток ЭДС, напряжение на выводах и скольжение.

Расчитаны потери активной мощности в системе электроснабжения: суммарные потери активной мощности, суммарные потери активной мощности в электрической сети, суммарные потери активной мощности в асинхронных и асинхронных двигателях.

Представлены графики потерь мощности. График строится по показаниям в таблице. Для этого надо нажать кнопку «нарисовать графики для всех напряжений», после чего появится график зависимостей потерь активной мощности от напряжения и график зависимостей потерь реактивной мощности от напряжения.

Программа для расчетов параметров СПЭ определила параметры режима узлов и элементов сети, режима элементов электрической сети, режима асинхронных двигателей, потери активной и реактивной мощности в системе электроснабжения, и построила графики зависимости потерь активной и реактивной мощности от напряжения.

Энергоэффективная политика должна включать в себя мероприятия по модернизации отраслей экономики, повышению качества управления и квалификации производственного персонала, привлечения масштабных инвестиций, воспитанию населения к бережливому потреблению энергетических ресурсов. Также, необходимым условием ее реализации является использование научно-технического потенциала и нового инновационного мышления, повышение инвестиционной привлекательности энергоэффективности, как привлекательного направления бизнес-деятельности.

Разработанный программный комплекс для расчета установившихся режимов СЭС, предназначенный для выполнения комплексной оценки эффекта регулирования напряжения на шинах подстанций на уровень общих потерь мощности во всех элементах системы электроснабжения для предприятий любых отраслей промышленности.

Программный комплекс использован при выполнении работ по энергосбережению для промышленных предприятий посредством определения оптимальных уровней напряжения с целью минимизации потерь мощности и нагрузки до 5 %.

Список литературы

1 Juan Camilo López, Marina Lavorato, Marcos J. Rider. Optimal reconfiguration of electrical distribution systems considering reliability indices improvement. UNICAMP – University of Campinas, School of Applied Science, School of Electrical and Computer Engineering, Department of Systems and Energy, Campinas, São Paulo, Limeira, Brazil. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 78: 837–845.

2 Samir Dahal, Hossein Salehfar. Impact of distributed generators in the power loss and voltage profile of three phase unbalanced distribution network. Department of Electrical Engineering, University of North Dakota, Grand Fork, ND 58202, USA. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 77: 256–262.

3 José Raúl Castro, Maarouf Saad, Serge Lefebvre, Dalal Asber, Laurent Lenoir. Optimal voltage control in distribution network in the presence of DGs. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador, Ecole de technologie supérieure, 1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal H3C1K3, Hydro-Quebec's Research Institute, IREQ, 1800, boul. Lionel-Boulet, Varennes, Québec J3X1S3, Canada. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 78: 239–247.

4 Biplab Bhattacharyya, Saurav Raj. Swarm intelligence based algorithms for reactive power planning with Flexible AC transmission system devices. Dept. of Electrical Engineering, Indian School of Mines, Dhanbad, Jharkhand, India. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 78: 158–164.

5 Aggelos S. Bouhouras, Kallisthenis I. Sgouras, Paschalis A. Gkaidatzis, Dimitris P. Labridis. Optimal active and reactive nodal power requirements towards loss minimization under reverse power flow constraint defining DG type. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 78: 445–454.

6 Bahram Poornazaryan, Peyman Karimyan, G.B. Gharehpetian, Mehrdad Abedi. Optimal allocation and sizing of DG units considering voltage stability, losses and load variations. Department of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 79: 42–52.

7 Susanta Dutta, Pranabesh Mukhopadhyay, Provas Kumar Roy, Debashis Nandi. Unified power flow controller based reactive power dispatch using oppositional krill herd algorithm. Department of Electrical Engineering, Dr. B C Roy Engineering College, Durgapur, Jalpaiguri Government Engineering College, Jalpaiguri-735102, West Bengal, India, Department of Information Technology, National Institute of Technology, Durgapur, West Bengal, India. *Electrical Power and Energy Systems* 2016;80: 10–25.

8 Rajendra K. Pandey, Deepak Kumar Gupta. Knowledge domain states mapping concept for controller tuning in an interconnected power network. Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology (Banaras Hindu University), India. *Electrical Power and Energy Systems* 2016; 80: 160–170.

9 Wanyu Cao, JianzhongWua, Nick Jenkins, ChengshanWangb, Timothy Green. Benefits analysis of Soft Open Points for electrical distribution network operation. Institute of Energy, School of Engineering, Cardiff University, Cardiff CF24 3AA, School of Engineering, Imperial College London, London, UK, Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China. *Applied Energy* 2016; 165: 36–47.

10 Nimal Madhu M, Nikhil Sasidharan, Jai Govind Singh. A droop control incorporated dc equivalent power flow method for distribution and low voltage systems. Energy Field of Study, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, 58 Moo 9, Km. 42, Phaholyothin High, KlongLuang, Pathumthani 12120, Thailand. *Electric Power Systems Research* 2016; 134: 56–65.

11 DaceE, BlumbergaD, KuplaisG, BozkoL, KhabdullinaZ, KhabdullinA. [Optimization of landfill gas use in municipal solid waste landfills in Latvia](#) International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT) 2014;72: 293-299.

12 Blumberga D, Vigants H, Cilinskis E, et al. [Energy efficiency and energy management nexus](#). International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT) 2015; 95: 71-75.

13 Francmanis E, Khabdullin A, Khabdullin A, et al. [Comparative environmental analysis of microbial electrochemical systems](#). International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT) 2015; 95: 564-568.

14 Khabdullin A, Khabdullin A, Khabdullina Z, et al. [Mathematical model of synchronous motors for static characteristics power loss](#) International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT) 2015; 95: 487-490.

15 Khabdullin A, Khabdullina Z., Climate Considerations of the Electricity Supply Systems in Industries, *Environmental and Climate Technologies* №13, 2014: 27- 31.

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ В ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКЕ ГЕРМАНИИ
(НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ОСНАБРЮК)**

**SOME FEATURES OF RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND
STRUCTURES IN THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY
(ON THE EXAMPLE OF OSNABRUCK)**

Мауль В.П.

*Deutsches Finanzkontor AG, Stadt Osnabrück, Deutschland
dr.maul.wasilij@gmail.com*

Mail W.

Deutsches Finanzkontor AG, Stadt Osnabrück, Deutschland

Abstract: The article deals with the European experience in the technology of reconstruction of buildings and structures in dense urban development, the use of modern building materials, small-scale mechanization and high-tech equipment, the problems of safety of above-ground and underground communications.

Key words: construction technology, reconstruction, means of mechanization, dense urban development.

Аннотация: Рассматривается европейский опыт технологии реконструкции зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки, вопросы использования современных строительных материалов, средств малой механизации и высокотехнологичного оборудования, проблемы сохранности надземных и подземных коммуникаций.

Ключевые слова: технология строительства, реконструкция, средства механизации, плотная городская застройка.

Отечественный опыт технологии и организации реконструкций зданий и сооружений подробно рассмотрен автором в книге [1]. Отдельные специальные вопросы технологии и организации ремонтных работ изложены также в работах [2-4]. В данной публикации рассматривается зарубежный опыт реконструкции зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки.

Проблема дефицита земли в Европе особенно чувствуется на территории ФРГ. Городские здания и сооружения имеют многовековую историю. Эти здания строились давно по существующим на момент застройки нормативам. Расстояние между ними незначительное, коэффициент застройки очень высок и в этой связи условия производства работ имеют очень высокий коэффициент стесненности. Дополнительные стесняющие условия накладываются от работающих рядом городских предприятий. С точки зрения техники безопасности требования в этих условиях ужесточаются, но, тем не менее, реконструкция зданий и сооружений проходит успешно. Строительное производство выполняется с максимальным применением машин и средств

механизации, хотя не обходится и без работ, выполняемых вручную. Широкий спектр средств малой механизации позволяет сократить сроки выполнения работ. Все организации обязаны иметь лицензию на право выполнения работ. Если в процессе выполнения работ будут нарушены правила и законы и это впоследствии будет доказано, то фирму лишают лицензии.

На примере реконструкции жилого дома рассмотрим особенности, с которыми пришлось возводить этот объект. Как видно по рисунку 1, необходимо надстроить 2 и 3 этаж и кровлю. Все работы должны выполняться в стесненных городских условиях, без перекрытия движения транспорта и не прекращающих работу расположенных поблизости предприятий. На рисунке 1 видны транспортные средства и прохожие.

Башенный кран (рисунок 1) установлен стационарно в одной точке без возможности перемещения. Стесненные условия не дают возможности складирования материалов. Материалы подвозятся своевременно и только в объеме необходимом на установку в данный рабочий день. Применяются самые современные строительные материалы. В частности, стены возводят из газобетонных блоков, перекрытия в основном выполняются из монолитного железобетона, что позволяет строить с высокой степенью архитектурной выразительности и индивидуальности внешнего вида городской застройки.

Выполнение работ в таких условиях требуют жестких условий соблюдения технологии и норм эксплуатации машин и механизмов. Машинист управляет башенным краном посредством радиоэлектронного пульта, находясь на земле. Он же сам выполняет строповку грузов.



Рисунок 1 – Установка башенного крана в стесненных условиях

Проверка и выбраковка грузозахватных приспособлений производится регулярно, т.к. их стоимость заложена в цене на эксплуатацию. Риски сводятся к нулю. Леса, как правило, закрываются сеткой из искусственных материалов для предотвращения выпадения каких-либо предметов. В некоторых случаях движение людей предусмотрено под лесами, если они устанавливаются на тротуарах.

Еще одной отличительной особенностью является, то, что если необходимо выполнить реконструкцию жилого дома, то строительная фирма не имеет права снести весь дом и построить заново. Весь процесс реконструкции проходит в два этапа. Сначала вывешивается крыша, и меняются стены. В этот период возможна перепланировка здания. Во время второго этапа меняется крыша. Это можно рассмотреть на рисунке 2.



Рисунок 2 – Замена несущих конструкций первого этажа реконструируемого здания

Рост территории городов привел к тому, что реки, на берегу которых они строились, оказались в черте города. Естественно были построены мосты для возможности коммуникаций между частями города. Эти сооружения так же требуют реконструкции. На рисунке 3 представлена реконструкция моста через реку. Работы выполнялись в летний период, когда уровень воды минимальный. Течение воды не прекращалось во время выполнения всех видов работ. Ведение работ требовало лишь изменения русла течения воды. Это достигалось за счет применения труб из синтетических материалов большого диаметра, которые заполнялись водой, и таким образом изменялось русло. При этом трубы выполняли роль ограждающих конструкций.

На рисунке 4 показано, как гибкий материал труб после заполнения плотно прижимается к грунту и не позволяет воде проникать за ее пределы. Применение таких труб позволяло выполнять работы под пролетами моста без присутствия воды. После выполнения работ под одним пролетом, вода сбрасывалась, трубы перемещались на новое место и опять заполнялись водой, перекрывая поток под пролетом. Расходные материалы и вспомогательные приспособления размещались на специальных подставках, установленных в русле реки с другой стороны моста.

При возведении жилого дома в центре города (рисунок 5) потребовалось разрушить часть уже существующего здания, выполнить демонтаж подземного перехода, а так же учесть, что здание возводится на берегу реки.



Рисунок 3 –Использование гибкого трубопровода для осушения участка реконструкции моста



Рисунок 4 – Решение вопросов гидроизоляции участка реконструкции



Рисунок 5 – Обрушением части здания

Естественно были приняты меры для гидроизоляции подземных конструкций. Для борьбы с пылью при разрушении здания применялась вода, которая подавалась непосредственно к месту разрушаемой части здания. Это необходимо было делать, что бы могли нормально функционировать рядом расположенные городские предприятия (рисунок 6).



Рисунок 6 – Обрушение конструкций существующего здания

Движение автобусов и автомобильного транспорта продолжалось в обычном ритме. Материал разрушаемых конструкций дробился и сортировался на строительной площадке для повторного использования (рисунок 7). Вся техника, используемая на объекте, оснащена быстросъемными приспособлениями. Контейнеры с отработанным материалом автомобилями транспортировались на полигон для переработки.

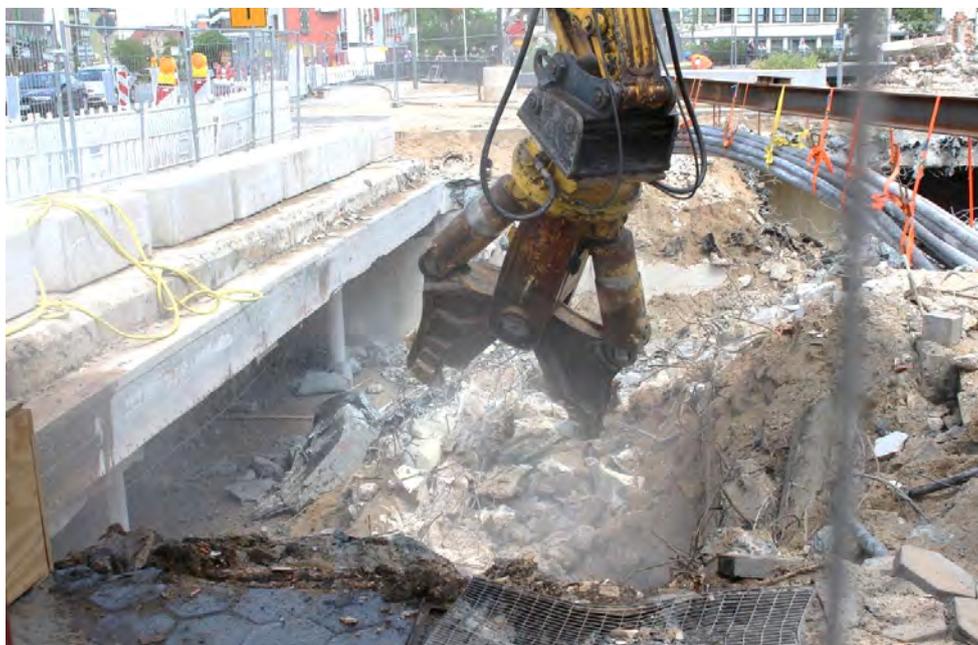


Рисунок 7 – Технология дробления строительного мусора на строительной площадке



Рисунок 8 – Установка дополнительных несущих конструкций для переброски коммуникаций связи и электрических сетей

При демонтаже перехода необходимо было сохранить существующие коммуникации связи и электрических сетей. Для этого была установлена двутавровая балка, к которой они были прикреплены при помощи гибких строп (рисунок 8).

Замена инженерных сетей требует разработки траншей. Песчаные и супесчаные грунты, которые преобладают в нашем городе, требуют укрепления стенок. В основном используют укрепление стенок при помощи металлического шпунта или раздвижных металлических блоков. Грунт, полученный после разработки траншей, не используется для обратной засыпки, т.к. имеет различные включения, а привозится новый, который затем тщательно уплотняется.

Приведенные примеры свидетельствуют о высокой технологичности и продуманной организации ремонтных работ в стесненных условиях, при соблюдении требований рационального использования материалов, безопасной организации работ и минимальным влиянием на работу городских сетей и транспорта.

Список литературы

- 1 Мауль, В.П. Технология и организация реконструкции и ремонта зданий и сооружений. /В.П. Мауль. –Рудный: Издательство РИИ, 2000, 260 с.
- 2 Шагин, А.Л. Реконструкция зданий и сооружений/ А.Л. Шагин–М.: Высш. школа, 1991.–352 с.
- 3 Кочерженко, В.В. Технология реконструкции зданий и сооружений/ В.В. Кочерженко, В.М. Лебедев.–М.: Изд. АСВ, 2007.–224 с.
- 4 Строкинов, В.Н. Организация и технология ремонта зданий и сооружений/ В.Н. Строкинов. – М.: Изд. АСВ, 2003.–535 с.

УДК 624.1(075.8)

КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ НА УПЛОТНЕННОМ ОСНОВАНИИ

FOUNDATI ON STRUCTURE SON THE COMPACTED BASE

Шамов В.В.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

shamov62@mail.ru

Shamov V.V.

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: рассмотрены вопросы проектирования и устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах, предложена конструкция ленточного фундамента со сплошным уширенным основанием, с прерывистым уширенным основанием при слиянии уплотненных зон, с прерывистым основанием без слияния уплотненных зон

Ключевые слова: фундаменты в вытрамбованных котлованах, трамбовка, основание

Abstract: reviewed the design and installation of foundations in wyrmbane pits, the design of a strip Foundation with a solid widen base, with intermittent widened base at the confluence of compacted areas, with a intermittent basis without the merger compacted areas

Key words: foundations in rammed pits, ramming, bases.

В последние десятилетия в практике строительства широкое распространение получили фундаменты на уплотненном основании, получаемом путем вытрамбовывания котлованов [1-4]. При устройстве таких фундаментов глубина трамбования обычно составляет 0,6-3 м. Трамбовка, имеющая форму фундамента, падает по направляющей штанге с высоты 4-8 м.

После вытрамбовывания котлован заполняется враспор монолитным бетоном или устанавливается сборный фундамент, имеющий близкие к котловану форму и размеры.

При вытрамбовывании вокруг котлована образуется уплотненная зона (рисунок 1), в пределах которой повышается плотность грунта, и устраняются просадочные свойства. За уплотненную зону принимается массив грунта, в пределах которого плотность сухого грунта составляет более 1,55 т/м³.

Фундаменты в вытрамбованных котлованах подразделяются:

– по глубине заложения: мелко заложения при $d_p/d_m \leq 1,5$ (рис. 1а) и удлиненные при $d_p/d_m > 1,5$ (рис. 1б)

– по способу устройства: без уширения с плоской или заостренной подошвой (рис. 1а) и с уширением основания (рисунок 1б).

По взаимному расположению и характеру взаимодействия с грунтом основания фундаменты подразделяются:

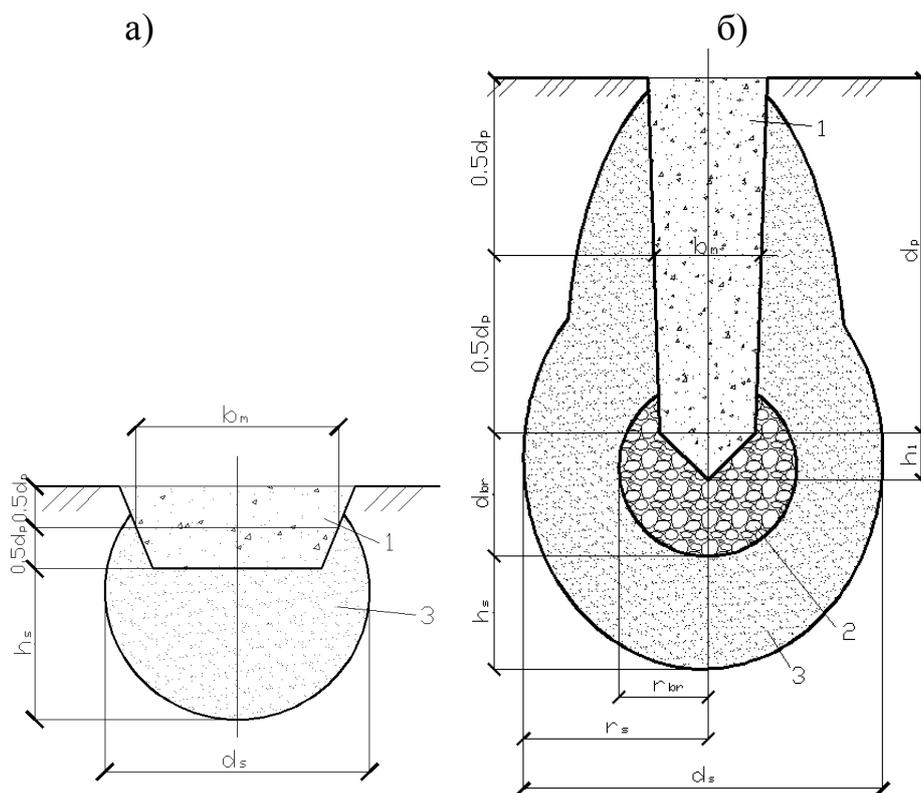
– отдельно стоящие на которые не распространяется взаимное влияние одного фундамента на другой, как при вытрамбовывании котлованов, так и при передаче нагрузки на грунт;

– ленточные прерывистые фундаменты, устраиваемые в близко расположенных один от другого котлованах, в которых необходимо учитывать взаимное влияние соседних фундаментов как при вытрамбовывании котлованов, так и при анализе их работы.

Целесообразно применять следующие виды фундаментов в вытрамбованных котлованах:

– столбчатые – для каркасных промышленных, гражданских и сельскохозяйственных зданий при вертикальной нагрузке до 2000 кН;

– ленточные прерывистые и столбчатые – для бескаркасных жилых и промышленных зданий при нагрузке до 300 кН/м.



а – обычный; б – с уширенным основанием 1 – фундамент;
2 – втрамбованный жесткий материал; 3 – уплотненная зона

Рисунок 1 – Фундаменты в вытрамбованных котлованах

Фундаменты с уширенным основанием рекомендуется применять при нагрузках свыше 500-800 кН.

При расстояниях в свету поверху между фундаментами $a_{min} > 2b_m$ они рассматриваются как отдельно стоящие, а при $a_{min} < b_m$ – как ленточные прерывистые. Минимальное расстояние в осях между соседними фундаментами с уширенным основанием должно быть не менее $3b_m$.

Форма трамбовок в плане при трамбовании котлованов под обычные фундаменты принимается квадратной, прямоугольной или круглой с плоским или заостренным основанием. Уклон боковых стенок трамбовок принимается в пределах от 1:15 до 1:3.

Для трамбования котлованов под фундаменты с уширенным основанием применяются трамбовки квадратной, шестигранной или круглой формы в плане с углом заострения нижнего конца 60-90°.

Высота сбрасывания трамбовок принимается равной 4-8 м. Число ударов трамбовки определяется по формуле

$$n_{im} = d_p / \eta_{\omega} s_{im} \quad (1)$$

где d_p – заданная глубина вытрамбованного котлована;
 η_{ω} – коэффициент, учитывающий состояние грунта по влажности, принимаемый равным единице при вытрамбовывании котлованов в

грунтах с влажностью, близкой к оптимальной, а при понижении влажности более, чем на 0,03-0,05 от оптимальной – 0,7;

s_{im} – средняя величина понижения дна котлована за один удар трамбовки принимается для трамбовок с плоским основанием площадью $A, м^2$, при $A < 1$ – $s_{im} = 10$ см; $A = 1-2$ – $s_{im} = 8$ см; $A = 2$ – $s_{im} = 6$ см; для трамбовок с нижним заостренным концом – $s_{im} = 15$ см.

Вытрамбовывание котлованов должно производиться при оптимальной или близкой к ней влажности грунта. Отклонение от оптимальной влажности при вытрамбовывании котлованов под фундаменты без уширения допускается не более чем на $\pm 0,05$, с уширенным основанием не более чем на $\pm 0,02$.

Ориентировочное значение оптимальной влажности ω_0 для пылевато-глинистых грунтов принимается $\omega_0 = \omega_p - (0,01 \div 0,03)$, где ω_p – влажность на границе раскатывания.

Сопряжение колонн с отдельно стоящими фундаментами осуществляется с помощью стакана, анкерных болтов, анкерной плиты. Для опирания фундаментных балок в верхней части фундаментов устраивают соответствующих размеров гнезда и устраивают балки на подбетонку или непосредственно на фундамент. Опирание кирпичных и блочных стен на отдельно стоящие столбчатые фундаменты осуществляется через фундаментные балки.

Конструкция подземной части зданий при ленточных прерывистых фундаментах в вытрамбованных котлованах включает:

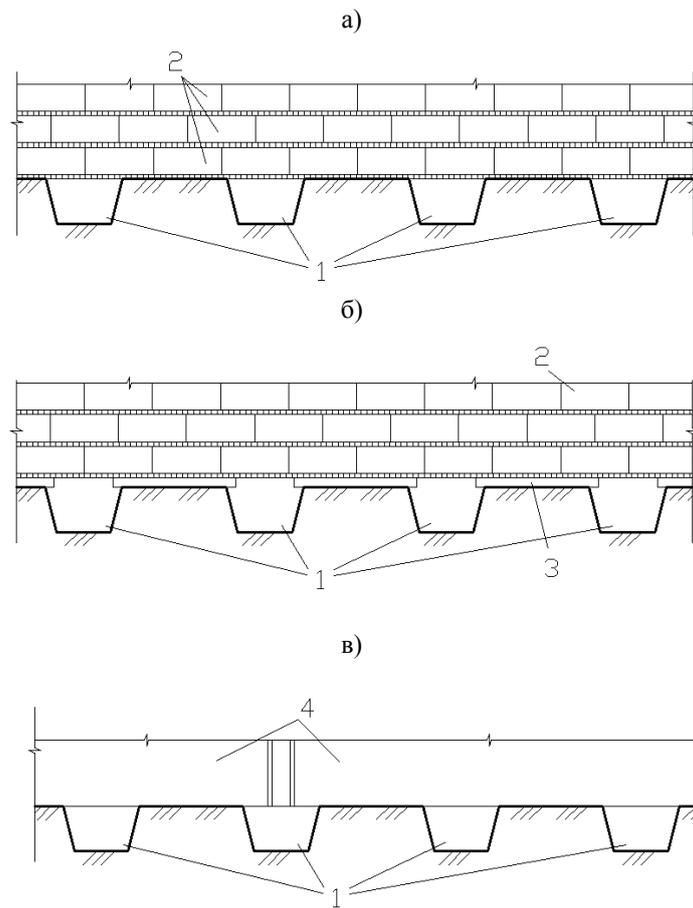
для кирпичных и крупноблочных зданий – сборные бетонные блоки на ленточных прерывистых фундаментах (рисунок 2, а), а при значительных расстояниях между ними дополнительно железобетонные перемычки (рисунок 2, б) или фундаментные балки;

для крупнопанельных зданий – цокольные стеновые панели и панели технического подполья на ленточных прерывистых фундаментах (рисунок 2, в).

Под несущие стены зданий, как показывает опыт строительства, наиболее целесообразны ленточные фундаменты, кратчайшим путем передающие нагрузку на основание, и не требующих дополнительных элементов, перераспределяющих ее. В грунтах подверженных неравномерному деформированию (просадочные, насыпные), ленточные фундаменты в полной мере позволяют использовать их собственную жесткость, увеличивая сопротивление неравномерным деформациям основания.

Проведенные исследования показывают возможность и целесообразность устройства ленточных фундаментов таврового сечения в вытрамбованных котлованах [5].

Устройство ленточных фундаментов в вытрамбованных котлованах, как без уширения, так и с уширенным основанием выполняется вытрамбовыванием отдельных котлованов с составлением грунтовой перегородки между ними и последующим её довытрамбовыванием.



а – с бетонными блоками; б – с железобетонными перемычками;
 в – с железобетонными панелями
 1 – ленточные прерывистые фундаменты; 2 – бетонные блоки стен подвала;
 3 – перемычки; 4 – панели технического подполья.

Рисунок 2 – Конструкция ленточных прерывистых фундаментов

Длина грунтовой перегородки между котлованами для фундаментов со сплошным уширенным основанием, определяется по формуле

$$l_{br} = 0,7b_{br} \quad (2)$$

где b_{br} – ширина уширения из жесткого материала, м.

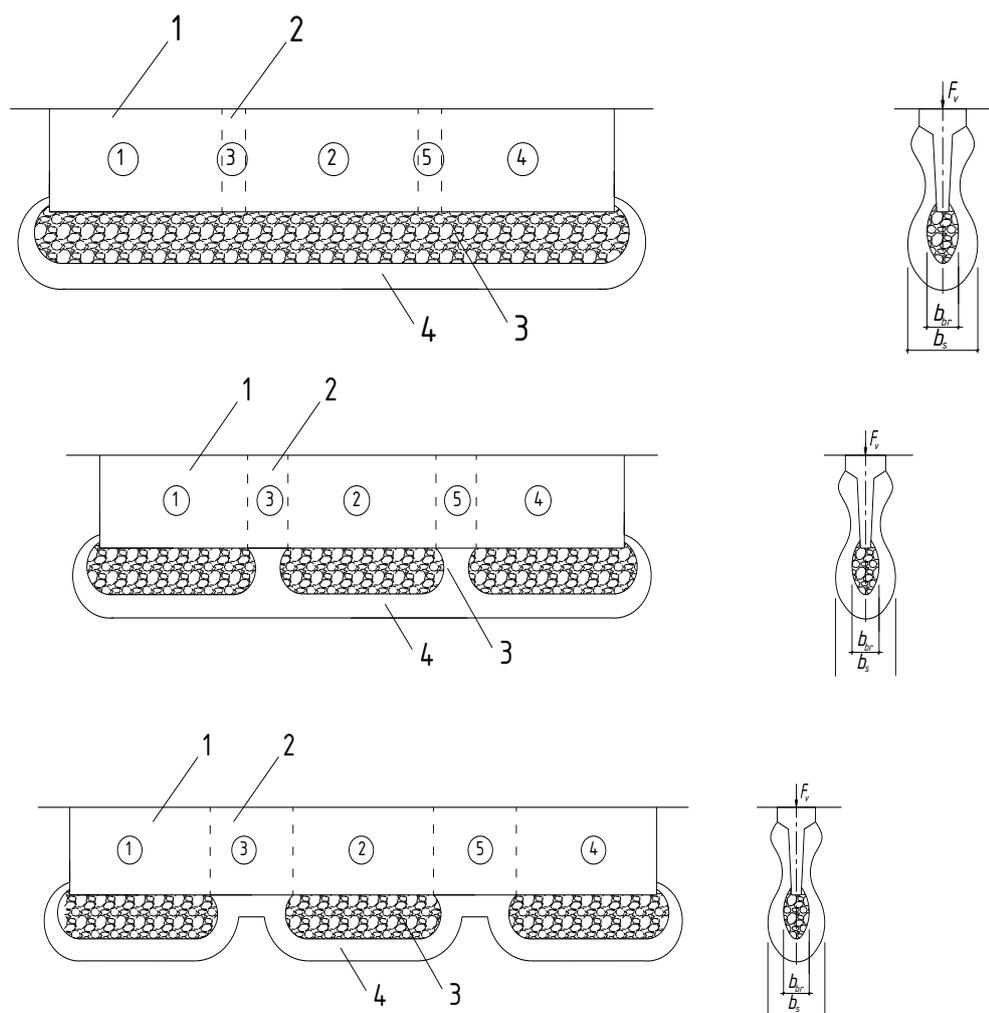
Длина грунтовой перегородки при вытрамбовывании котлованов для фундаментов с прерывистым уширенным основанием, при слиянии уплотненных зон, определяется по формуле

$$l_s = 0,7b_s \quad (3)$$

где b_s – ширина уплотненной зоны грунта основания, м.

Проведенные исследования позволяют разделить по характеру взаимодействия с грунтом основания ленточные фундаменты в вытрамбованных котлованах (рисунок 3) на следующие виды:

- а) со сплошным уширенным основанием,
- б) с прерывистым уширенным основанием, при слиянии уплотненных зон,
- в) с прерывистым основанием, без слияния уплотненных зон.



1– вытрамбованный котлован; 2 – довытрамбовываемая грунтовая перегородка;
3–уширение из жесткого материала; 4–уплотненная зона

Рисунок 3 – Виды ленточных фундаментов в вытрамбованных котлованах с уширенным основанием

Опыт устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах показывает, что применение монолитного бетона и сведение до минимума земляных и опалубочных работ обеспечивает снижение стоимости фундаментов в 1,5-3 раза, а трудоемкости в 1,8-2,5 раза по сравнению с традиционными фундаментами.

Список литературы

- 1 Крутов В.И., Багдасаров Ю.А., Рабинович И.Г. Фундаменты в вытрамбованных котлованах. – М.: Стройиздат, 1985. – 164 с.
- 2 Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.

3 Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. М.: АСВ, 2013. 544 с

4 Ковалев В.А., Ковалев А.С. Разработка технических решений устройства фундаментов в уплотненном грунте // Строительство: наука и образование. 2017. Т. 7. Вып. 2 (23). Ст. 1. Режим доступа: <http://nso-journal.ru>

5 Шамов В.В. Ленточные фундаменты таврового сечения в вытрамбованных котлованах с уширенным основанием: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1992. – 18 с.

УДК 624.042.8

**ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННОГО
МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ГИБКИМ ВЕРХНИМ ЭТАЖЕМ
НА ИСКУССТВЕННО СИНТЕЗИРОВАННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**DYNAMIC CALCULATION OF A SEISMICALLY ISOLATED MULTI-
STOREY BUILDING WITH A FLEXIBLE UPPER FLOOR ON
ARTIFICIALLY SYNTHESIZED SEISMIC LOAD**

Дукарт А.В.¹, Олейник А.И.², Юнисова С.А.², Синявская А.А.²

Московский государственный строительный университет, Москва, Россия,

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

aoleinik@mail.ru

Dukart A.V.¹, Oleinik A.I.², Unisova S.A.², Sinyavskaya A.A.²

Moscow state University of civil engineering, Moscow, Russia,

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Рассматривается задача разработки сейсмозащиты многоэтажных зданий с помощью комбинированной системы пассивных элементов, включающей в себя сейсмоизолирующие опоры и динамический гаситель колебаний в виде гибкого верхнего этажа здания. На основе фильтрации случайных воздействий типа белого шума разработана методика синтеза искусственных акселерограмм землетрясений. Численно исследуется эффективность гашения колебаний здания на действие искусственно синтезированного сейсмического воздействия.

Ключевые слова: сейсмическая защита, гасители колебаний, сейсмоизоляция, искусственные акселерограммы.

Abstract: The problem of development of seismic protection of multi-storey buildings with the help of a combined system of passive elements, including seismic isolation supports and dynamic vibration damper in the form of a flexible upper floor of the building is considered. The method of synthesis of artificial accelerograms of earthquakes is developed on the basis of filtering of random influences such as white

noise. The efficiency of vibration damping on the effect of artificially synthesized seismic action is numerically investigated.

Key words: seismic protection, vibration dampers, seismic isolation, artificial accelerograms

Разработка систем сейсмозащиты зданий и сооружений является актуальной проблемой для многих регионов строительства. При определении сейсмических нагрузок используются приведенные в строительных нормах России и Казахстана [1, 2] графики изменения коэффициента динамичности в зависимости от периода собственных колебаний основного тона сооружения. Аналогичным образом в нормах США и Западной Европы используются так называемые стандартные спектры ускорений [3, 4]. Для исследовательских задач, например при разработке систем сейсмозащиты зданий, возникает необходимость уточненного представления сейсмического воздействия. С этой целью можно использовать реальные записи акселерограмм землетрясений. Однако количество этих записей весьма ограничено и, кроме того, имеющийся банк данных по землетрясениям может не соответствовать району строительства. В этой связи целесообразным является синтез искусственных акселерограмм, позволяющих получить несколько численных реализаций, соответствующих району строительства.

Известен способ синтеза искусственных акселерограмм, основанный на фильтрации случайного воздействия типа «белого шума» с помощью одночастотного фильтра. Спектральные кривые для построенных таким образом акселерограмм, ввиду известной частотной узкополосности одночастотного фильтра, существенно отличаются от нормативных спектров. В этой связи были предложены усложненные широкополосные поличастотные фильтры, реализующие искусственные акселерограммы с плотно заполненным спектром [5].

Если взять за основу структурной модели усложненного фильтра древовидную модель и присвоить элементам модели массы и жесткости, то можно получить каскадно-пакетную модель поличастотного фильтра (рисунок 1), реализующего нормативный плотно заполненный частотный спектр.

В случае использования модели усложненного фильтра второго порядка предлагается модифицированный дискретный фильтр второго порядка, содержащий главную (основную) массу и группу укрупненных сателлитов, включающую не менее трех подгрупп ($j \geq 3$), имеющих независимые параметры, настраиваемые на соответствующие участки 1-3 нормативной спектральной кривой [1, 2]. Следует отметить, что каждый из элементов группы с массами $m_1, m_2, \dots, m_g, \dots, m_M$, в свою очередь, может быть представлен в виде подгрупп, состоящих из большого числа параллельных звеньев одинаковой массы (рисунок 1).

Алгоритм синтеза искусственной акселерограммы включает в себя ряд последовательных шагов.

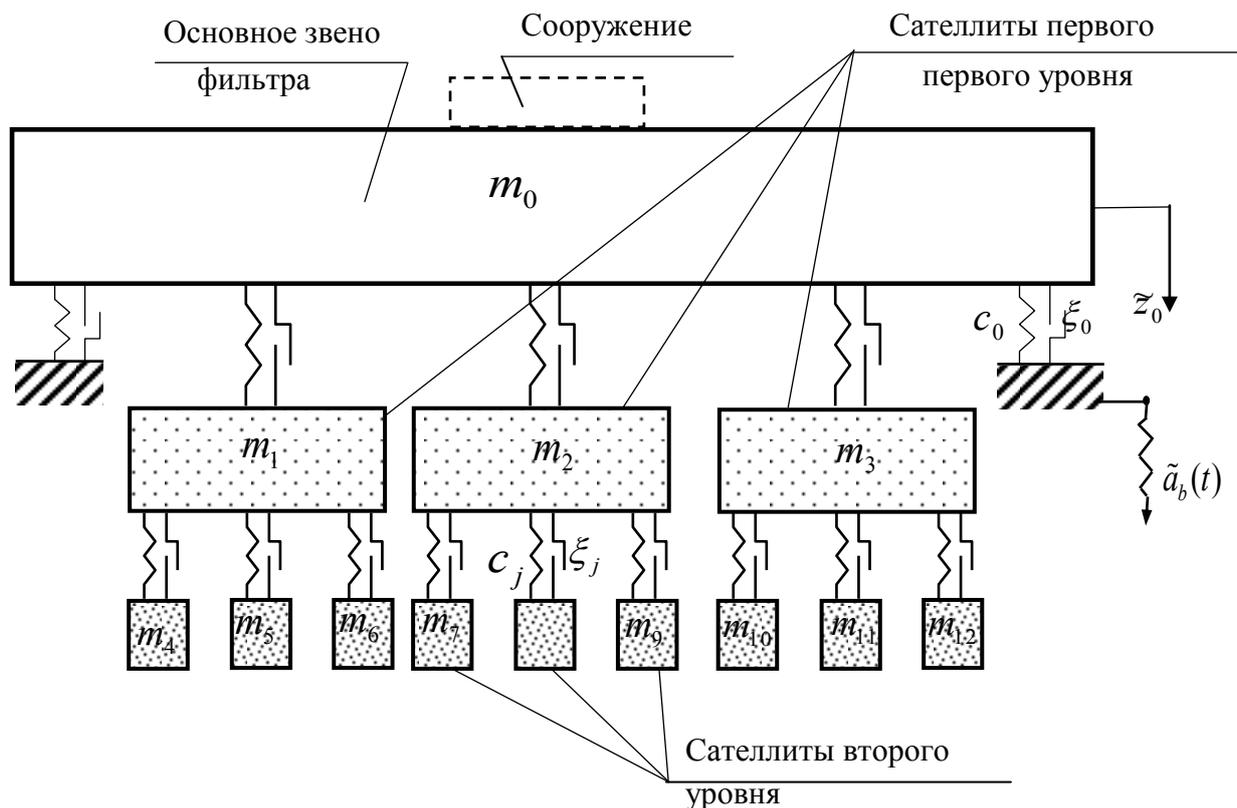


Рисунок 1 – Структурная модель поличастотного фильтра

Затем создается новая последовательность случайных чисел w_i , используя соотношения:

$$w_i = (-2 \ln u_i)^{0.5} \cos(2\pi u_{i+1}); \quad w_{i+1} = (-2 \ln u_i)^{0.5} \sin(2\pi u_{i+1}). \quad (1)$$

$$i = 1, 3, 5, \dots$$

Случайные величины \tilde{w}_i также имеют нормальное распределение с нулевым средним значением и единичной дисперсией.

Последовательно откладывая значения w_1, w_2, \dots, w_n с заданным интервалом Δt по временной координате и полагая $w_0 = 0$, получаем выборочную функцию $\tilde{w}_{\Delta t}(t)$. В предельном случае при $\Delta t \rightarrow 0$ полученный таким образом случайный процесс становится гауссовским белым шумом на интервале частот $0 < \omega < \infty$ со спектральной плотностью $S_0 = \Delta t / 2\pi$. Следует отметить, что после умножения ординат w_i на нормирующий множитель $(2\pi S_0 / \Delta t)^{0.5}$, можно получить приближенную выборочную функцию гауссовского белого шума с любой спектральной плотностью S_0 .

Случайное нормированное ускорение в скальных породах с учетом нестационарности случайного процесса представляется в виде:

$$\tilde{a}_b(t) = (\phi(t) / \Delta t)^{0.5} \tilde{w}(t), \quad (2)$$

где функция формы $\phi(t)$, в частности, может быть записана в виде:

$\phi(t) = 5,11 \cdot 10^{-5}$ при $0 < t \leq 11,5$, $\phi(t) = 5,11 \cdot 10^{-5} \exp(-0,155(t - 11,5))$,
при $t > 11,5$.

В соответствии с [5] ускорение в скальных породах фильтруется мягкими слоями. Влияние этих слоев описывается линейным фильтром второго порядка. Фильтрованные перемещения в уровне оснований сооружений находятся из решения дифференциального уравнения:

$$\ddot{\tilde{z}}_0 + 2\xi_0\omega_0\dot{\tilde{z}}_0 + \omega_0^2\tilde{z}_0 = -\tilde{a}_b(t). \quad (3)$$

Ускорения грунта в уровне фундамента $\tilde{a}_g(t)$ определяются выражением:

$$\tilde{a}_g(t) = -2\xi_0\omega_0\dot{\tilde{z}}_0 - \omega_0^2\tilde{z}_0. \quad (4)$$

В случае использования модели усложненного фильтра второго порядка дифференциальное уравнение (3) заменяется системой дифференциальных уравнений, соответствующей модели, изображенной на рис. 1, где обозначено: m_0, c_0, ξ_0 – соответственно масса, жесткость упругой связи и коэффициент рассеяния энергии основного звена дискретной модели фильтра; $m_{j,k}, c_{j,k}, \xi_{j,k}$ – то же, для k -го сателлита в подгруппе j , причем $\xi_{j,k} = \xi_j = const$ для всех элементов подгруппы.

В результате стандартных преобразований [6, 7] система дифференциальных уравнений для усложненного поличастотного фильтра принимает вид:

$$\begin{aligned} \ddot{\tilde{z}}_0 + 2\xi_0(\omega_0 + \mu_j \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \omega_{j,k})\dot{\tilde{z}}_0 + (\omega_0^2 + \mu_j \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \omega_{j,k}^2)\tilde{z}_0 - \\ - 2\xi_j \mu_j \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \omega_{j,k} \dot{\tilde{z}}_{j,k} - \mu_j \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \omega_{j,k}^2 \tilde{z}_{j,k} = -\tilde{a}_b(t); \\ \ddot{\tilde{z}}_{j,k} + 2\xi_j \omega_{j,k} \dot{\tilde{z}}_{j,k} + \omega_{j,k}^2 \tilde{z}_{j,k} - 2\xi_j \omega_{j,k} \dot{\tilde{z}}_0 - \omega_{j,k}^2 \tilde{z}_0 = 0; \\ j = \overline{1, M}; k = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь $\tilde{z}_0, \tilde{z}_{j,k}$ – случайные функции перемещений звеньев фильтра; $\omega_0 = \sqrt{c_0/m_0}$ – частота основного звена фильтра; $\omega_{j,k} = \sqrt{c_{j,k}/m_{j,k}}$ – собственная частота k -го сателлита; $\mu_j = m_{j,k}/m_0$ – относительная масса сателлита, причем предполагается, что все массы сателлитов подгруппы j одинаковы: $m_{j,k} = const$; M – число элементов группы; N – число элементов в подгруппе. Ускорения грунта в уровне фундамента определяются с помощью выражения (4).

Для численного исследования рассматриваемой модели распределение парциальных частот сателлитов $\omega_{j,k}$ примем случайным и соответствующим

нормальному закону распределения с математическим ожиданием $\omega_{j,0}$ и дисперсией σ_j . Величина относительной массы μ_j и дисперсия частотных настроек сателлитов σ_j определяют ширину интервала пропускаемых частот (добротность фильтра). Уравнения (5) приводятся к системе дифференциальных уравнений первого порядка решение которой производится методом Рунге-Кутты в программе MathCad.

Одна из важных проблем при синтезе искусственных акселерограмм землетрясений связана с масштабированием получаемых спектров и подбора соответствующих параметров, таких, чтобы эти спектральные кривые отличались от нормативных спектров для районов проектирования не более чем на 10%. Для генерирования сейсмического воздействия использована программа MathCad. На рисунке 2,а показана акселерограмма, синтезированная с помощью соотношений (1)-(5), где по вертикальной оси отложены ускорения в долях ускорения свободного падения, по горизонтальной оси – время в секундах. На рисунке 2,б приведена соответствующая этой акселерограмме спектральная кривая.

Моделью исследования (рисунок 3,а) служила двухпролетная плоская 13-этажная рама (пролеты – 6 м; высота этажа – 3 м; первый и последний этажи здания имеют стальной каркас; остальные этажи выполнены из железобетона). Численные исследования выполнялись с помощью программы SCAD, реализующей сейсмические расчеты на заданный спектр ускорений, генерированный с помощью соотношений (1)-(5). Предварительно с помощью программы MathCad определялись значения сейсмических ускорений основания во времени, затем определенным таким образом вектор ускорений учитывался непосредственно в программе SCAD.

На рисунке 3,б,в показаны варианты применения специальных сейсмоизолирующих опор, которые могут использоваться вместо гибких стоек.

В настоящее время в строительной практике используется несколько вариантов резинометаллических опор: французский, новозеландский, американский, итальянский. Гибкие колонны первого этажа здания выполнены стальными и играют роль горизонтальной виброизоляции.

Проектирование плоской рамы выполнялось в трех модификациях:

1 – здание без специальных сейсмозащитных устройств;

2 – здание, оборудованное сейсмоизоляцией в уровне первого этажа;

3 – здание, оборудованное сейсмоизоляцией в уровне первого этажа и гасителем в виде гибкого технического этажа (коэффициент рассеяния энергии в гасителе 0,25).

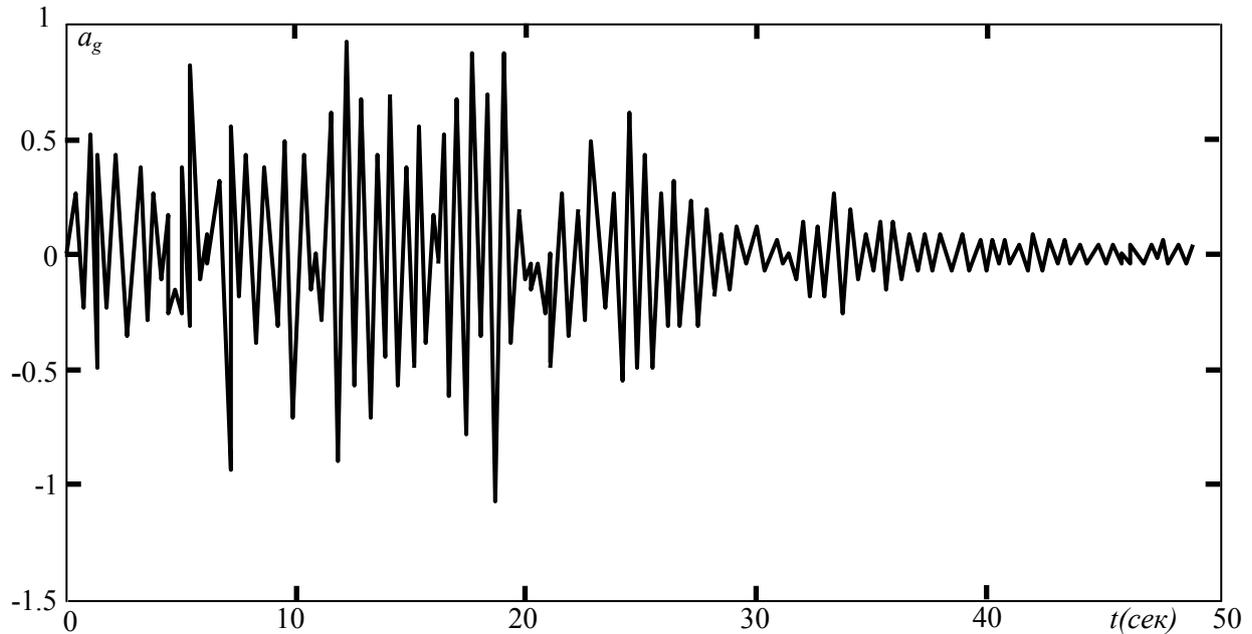
Несмотря на конструктивные различия опор, в целом, это представляет собой систему чередующихся стальных листов с неопреном (фторопластом) со свинцовыми (Новая Зеландия и Япония) или резиновыми (США) сердечниками (рисунок 3, б, в).

Для предотвращения чрезмерной осадки зданий под нагрузкой от собственного веса, опоры выполняют жесткими в вертикальной плоскости и, в

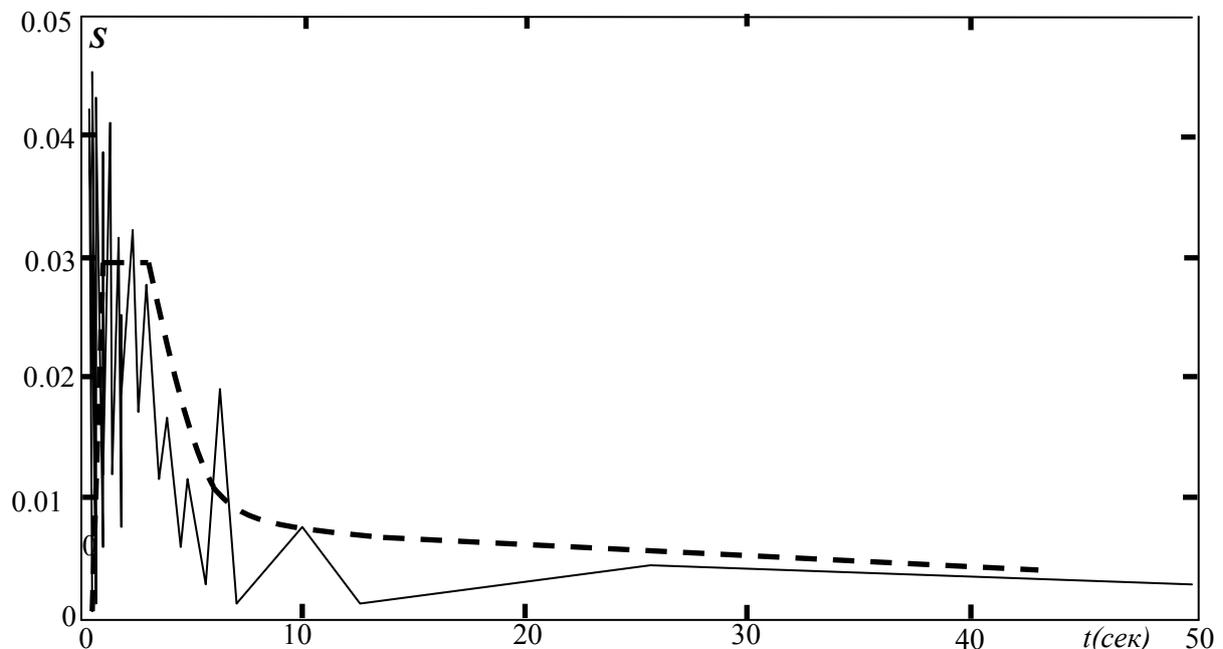
то же время, чтобы обеспечить возможность упругого бокового перемещения, с малой жесткостью в горизонтальной плоскости.

Благодаря упругим свойствам неопрена, опоры обладают высокой прочностью при сжатии, растяжении и кручении. Гарантированный срок службы опор составляет около 50 лет [8, 9].

В качестве дополнительной сейсмозащиты здания используется динамический гаситель колебаний (ДГК) в виде гибкого технического этажа.

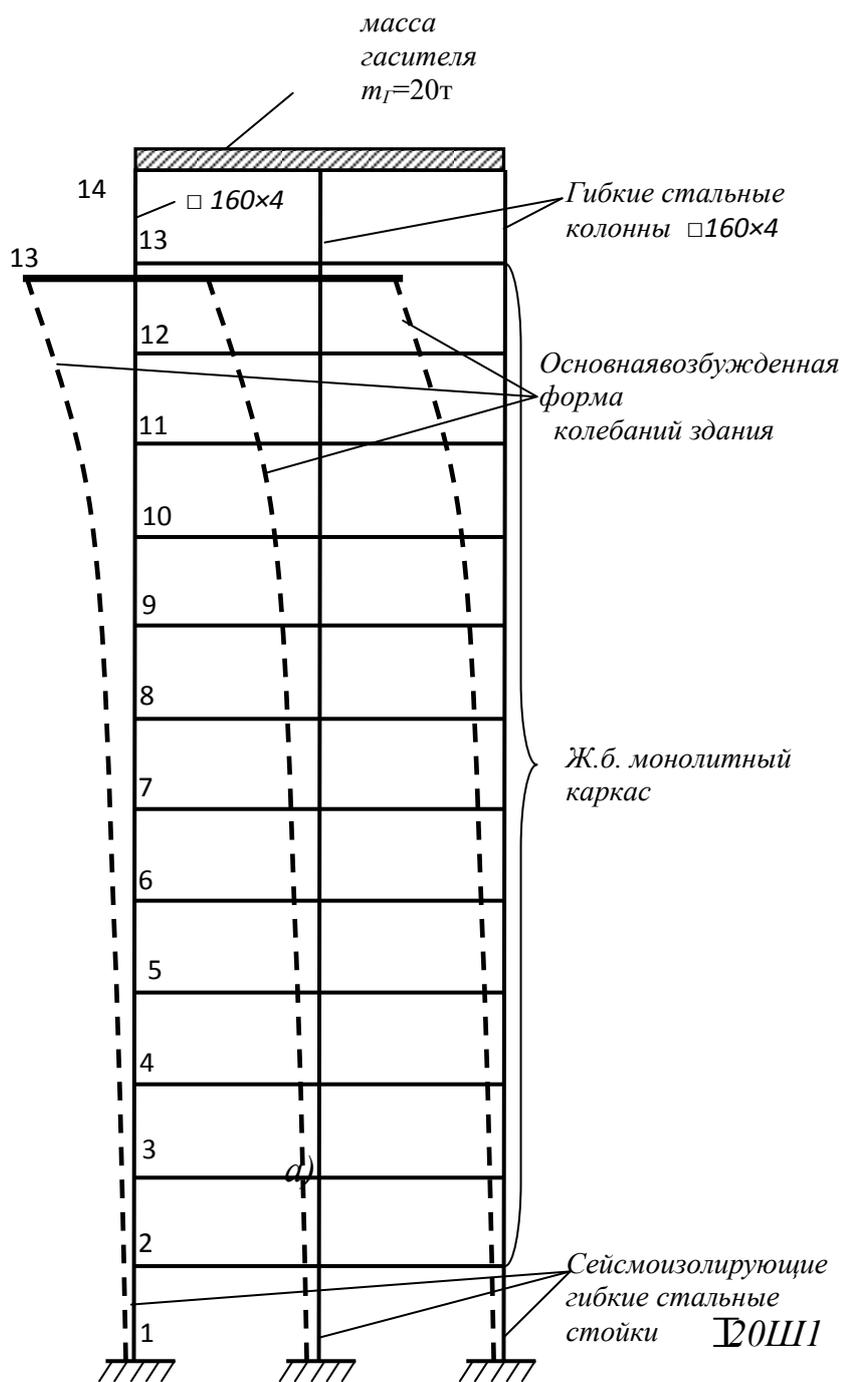


а)– искусственная акселерограмма

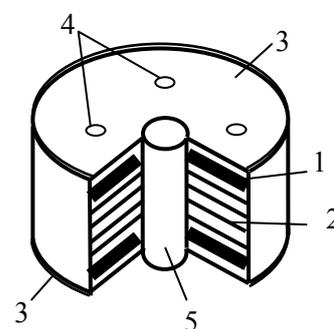


б) –спектральная кривая

Рисунок 2 – Искусственная акселерограмма и соответствующий спектр



б)



в)

- а) расчетная схема и основная форма колебаний; б) реальные примеры установки здания на сейсмоопоры; в) структура сейсмоопоры:
 1 – слой каучука (резины); 2 – внутренний стальной лист; 3 – опорная стальная пластина; 4 – отверстия для крепления опор к конструкциям сооружения;
 5 – свинцовый сердечник

Рисунок 3 – Комплексная сейсмозащита многоэтажного здания с помощью сейсмоизолирующих опор первого этажа и гасителя колебаний, выполненного в виде гибкого верхнего этажа

Динамический гаситель с помощью соответствующего задания параметров массы гасителя и жесткости стоек настраивался на основную частоту собственных колебаний здания. Для обеспечения необходимого уровня рассеяния энергии колебаний в гасителе могут быть использованы дополнительные пневматические или гидравлические демпферы поршневого типа. На рисунках 4-6 приведены графики максимальных для основной формы амплитуд горизонтальных перемещений и ускорений расчетной точки (узел 13, на рисунке 1) в уровне перекрытия верхнего эксплуатируемого этажа.

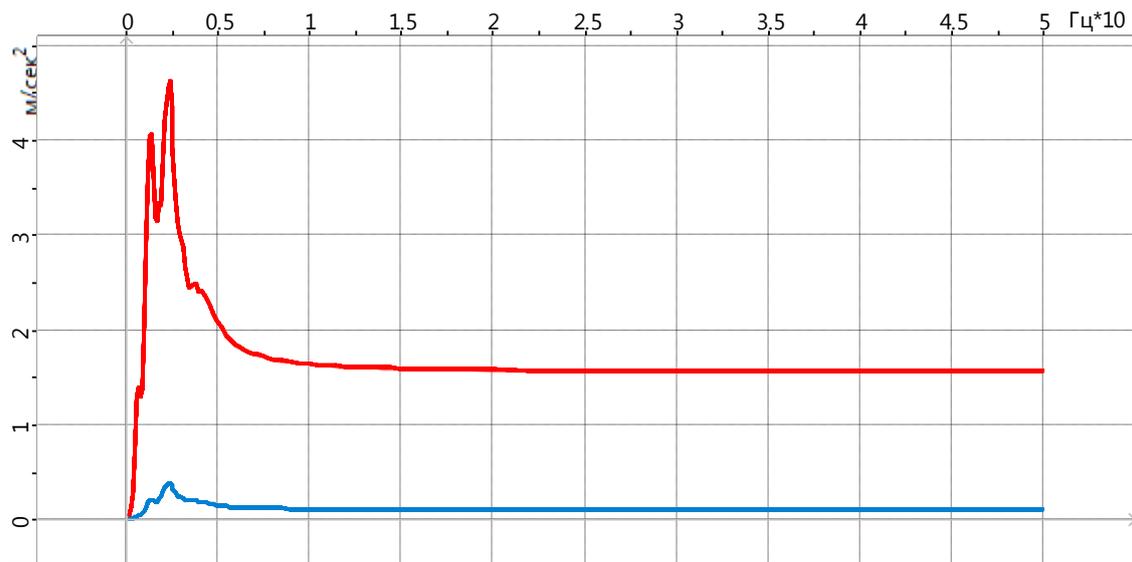


Рисунок 4 Спектры ответа в уровне двенадцатого этажа (узел 13) многоэтажного железобетонного здания без специальных сейсмозащитных устройств, $X_{\max}=4,61$ м/сек²

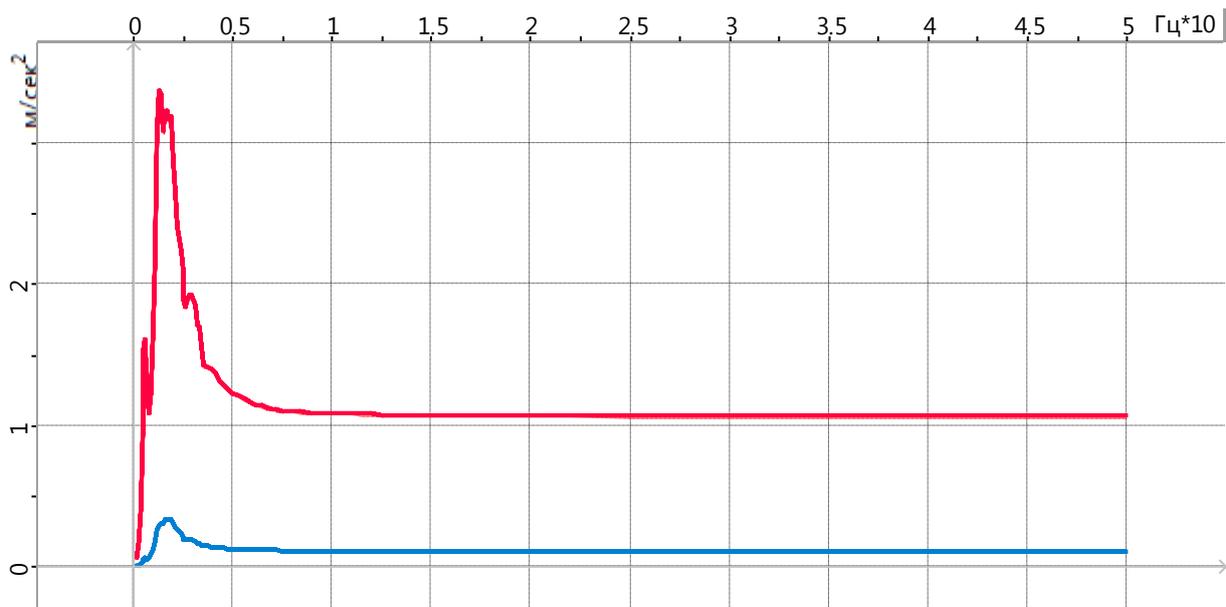


Рисунок 5 – Спектры ответа в уровне двенадцатого этажа (узел 13) многоэтажного железобетонного здания, оборудованного сейсмоизоляцией в уровне первого этажа, $X_{\max}=3,19$ м/сек²

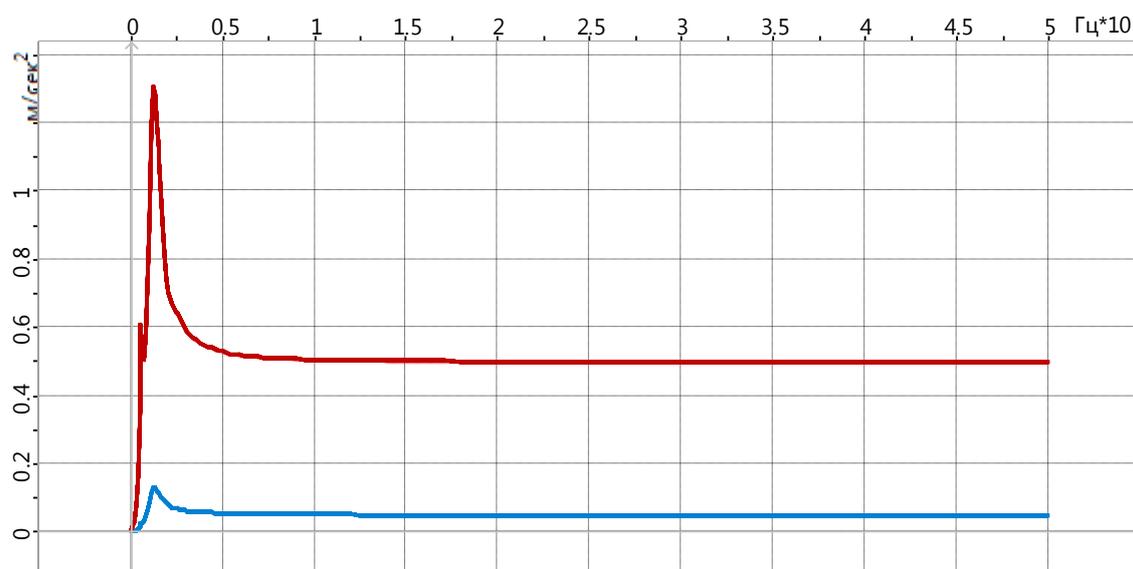


Рисунок 6 – Спектры ответа в уровне двенадцатого этажа (узел 13) многоэтажного железобетонного здания, оборудованного сейсмоизоляцией в уровне первого этажа и гасителем в виде гибкого технического этажа (коэффициент рассеяния энергии в гасителе 0,25), $X_{\max}=1,30$ м/сек²

Выводы:

1. Численные расчеты показывают, что разработанная методика эффективна и способна синтезировать искусственные сейсмические воздействия с плотным спектром частот, математическое ожидание которых близко к частоте основного тона собственных колебаний многоэтажного здания.

2. Применение сейсмоизоляции в уровне первого этажа здания обеспечивает снижение амплитуд колебаний и ускорений верхнего эксплуатируемого этажа здания в 1,3 раза по сравнению со зданием без сейсмозащитных устройств.

3. Комплексная сейсмозащита, включающая сейсмоизоляцию и динамический гаситель колебаний в виде гибкого верхнего технологического этажа, имеет максимальную эффективность сейсмозащиты и обеспечивает снижение амплитуд и ускорений здания в 3,5 раза.

Список литературы

1. СНиП РК 2.03-30 Строительство в сейсмических районах. А., 2006. – 78 с.
2. СНиП 7-81* Строительство в сейсмических районах. М., 2011. – 77 с.
3. ASCE Standart 7-05 Minimum Desigh Loads for Buildings and Other Structures. Virginia, American Society of Civil Engineers, 2006.–P. 175-254
4. Eurocode 8 Part 1–EN 1998(12-2003). Brussel , 2003.–215 p.
5. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: Справочник проектировщика/ Под ред. Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1984. –303 с.

6. Дукарт, А.В. Способ стохастического моделирования искусственных акселерограмм с помощью усложненного фильтра второго порядка / А. В. Дукарт, А. И. Олейник // Теоретические основы строительства. Доклады XVII польско-российско-словацкого семинара, Warszawa- Wrocław, 02.06-06.06.2008. – Žilina. – 2008. – Part I. – С. 148-154.

7. Дукарт, А.В. О применении многомассовых динамических гасителей колебаний для виброзащиты высотных зданий башенного типа при сейсмических воздействиях / А. В. Дукарт, А. И. Олейник // Известия вузов. Строительство. – 2003. – №11. – С. 4-10.

8. Айзенберг, Я.М. Сейсмостойкие многоэтажные здания с железобетонным каркасом / Я.М. Айзенберг, Э.Н. Кодыш, И.К.Никитин, В.И.Смирнов, Н.Н. Трекин. – Москва: АСВ, 2012. – 264 с.

9. Плевков, В.С. Железобетонные и каменные конструкции сейсмостойких зданий и сооружений / В.С.Плевков, А.И. Мальганов, И.В. Балдин. – М.: АСВ, 2010. – 290 с.

УДК 624.15 (075.8)

О КИНЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

ABOUT KINEMATIC MODELS OF THE BUCKLING OF FOUNDATIONS OF HIGH-RISE BUILDINGS

*Олейник А.И., Ахмедов К.М., Шамов В.В., Синявская А.А.
Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан
aoleinik@mail.ru*

*Oleinik A.I., Akhmedov K.M., Shamov V.V., Sinyavskaya A.A.
Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan*

Аннотация: Исследуются вопросы устойчивости многоэтажных зданий и сооружений, расположенных на слабых грунтах. Рассматриваются различные кинематические модели потери устойчивости грунтового основания и развития прогрессирующих разрушений. В анализе потери устойчивости приняты линейно-упругие модели здания и основания. Обсуждаются причины, создающие предпосылки развития различных механизмов деформирования, и мероприятия, которые могут предупредить возникновение аварийных ситуаций.

Ключевые слова: устойчивость грунтовых оснований, прогрессирующее обрушение многоэтажных зданий.

Abstract: The questions of stability of multi-storey buildings and structures located on weak soils are investigated. Various kinematic models of loss of stability of the soil base and the development of progressive destruction are considered. Linear elastic models of a building and a base are accepted in the analysis of loss of

stability. Discusses the reasons for creating preconditions for the development of different deformation mechanisms and activities that can prevent the occurrence of accidents.

Keywords: stability of soil bases, progressive collapse of multi-storey buildings.

Проблема устойчивости грунтовых оснований, в том числе откосов и склонов, очень актуальна, особенно в случае пластичных пород, слагающих основания. Если для откосов и склонов в технологии горных работ расчеты на устойчивость проводятся обязательно, то в строительной практике часто этот вопрос вообще упускают из вида. Проявления неустойчивости оснований могут быть весьма неожиданными и происходить даже при отсутствии поблизости от каких-либо склонов откосов и выработок.

Строительство, многоэтажных зданий особенно в развивающихся административных и промышленных центрах имеет высокие темпы, однако при этом в погоне за снижением себестоимости и сокращением сроков строительства не всегда учитываются особенности оснований, на которых возводятся здания и сооружения. Зачастую здания возводятся на площадках с недостаточно изученными инженерно-геологическими условиями, на подрабатываемых территориях, или основаниях, содержащих различные неоднородности в виде пустот, линзообразных жестких и пластических включений, свойства которых меняются при изменениях температурных и влажностных режимов [1,2], что в итоге может послужить толчком к потере устойчивости. Кроме того, источником потери устойчивости может служить промышленная сейсмика, вызванная взрывными работами в горнодобывающих регионах.

В основаниях зданий зачастую расположены структурно неустойчивые породы, которые в предельном состоянии ведут себя как идеально пластичные материалы [3]. При достижении критических напряжений в этих слоях развиваются чрезмерные пластические деформации, не укладываемые в рамки перемещений, получаемых с помощью классических методов определения осадок и просадок зданий и сооружений. Происходит потеря устойчивости основания, которая вызывает потерю устойчивости самого здания или сооружения в целом. С аналогичными проблемами сталкиваются застройщики в г. Костанай, при возведении зданий на слабых грунтах в районах с высоким уровнем грунтовых вод (строительство жилых зданий в районе Юбилейный г. Костаная).

Таким образом, при рассмотрении проблемы устойчивости зданий целесообразно комплексное рассмотрение здания и основания в единой комплексной модели с учетом взаимовлияния различных сопутствующих факторов. Такая постановка задачи и разработка направлений ее рассмотрения является весьма целесообразной и актуальной.

В механике грунтовых оснований, как правило, вопрос об устойчивости здания в целом не исследуется, и при расчете по деформациям в соответствии с

нормами определяются только осадки и просадки самих фундаментов. Такой односторонний подход приводит к аварийным ситуациям (рисунки 1, 2).

Анализ приведенных примеров показывает, что в обоих случаях увлажнение послужило пусковым механизмом для потери устойчивости основания, повлекшее потерю устойчивости здания в целом. Это еще раз подчеркивает необходимость учета взаимовлияния сооружения и основания при оценке устойчивости зданий на слабых грунтах. Следует отметить, что при существенном увлажнении глинистые породы, а также линзообразные включения песка ведут себя как идеально пластичные материалы. Основное влияние увлажнения сказывается на снижении модуля упругости грунта. Это можно учесть в рамках упругой постановки решаемой задачи. В таком случае решение задачи должно быть выполнено в нелинейной постановке с учетом преобладающего влияния сдвиговых деформаций в грунтах, что хорошо описывается моделью Кулона [4,5].

На практике возможно влияние на устойчивость других факторов, таких как нелинейное изменение модуля упругости по толщине слоя основания [3], морозное пучение и неравномерное оттаивание пород и связанное с этим появление термоупругих деформаций. Для уточнения расчетной модели целесообразно проведение углубленных экспериментов и численных расчетов [2]. В данном случае ограничимся исследованием устойчивости многоэтажного монолитного здания, расположенного на линейно-упругом многослойном основании, с различными модулями упругости слоев.



Рисунок 1 – Падение многоэтажного здания в Китае (Шанхай 06. 2009)



Рисунок 2 – Обрушение здания новостройки в Караганде (04. 2012)

Учитывая протяженные размеры здания, поставленную задачу будем рассматривать в плоской постановке. В научной литературе, обычно рассматривается приближенная жестко-пластичная модель системы здание-основание (рисунок 3), в которой применяется известное решение Прандля [4-6] в сочетании с принципом «отвердения», широко используемым в задачах механики разрушения. Анализ приведенных на рисунке 3 линий скольжения служит основой для исследования различных случаев потери устойчивости основания [4-6]. В соответствии с теоретическими и экспериментальными данными в основании фундамента образуется жесткое треугольное ядро; а линии скольжения описываются аналитическим выражением логарифмической спирали.

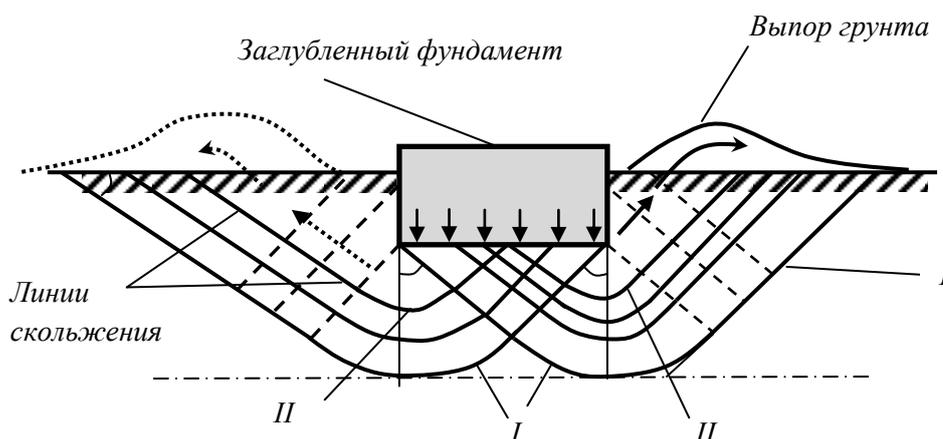


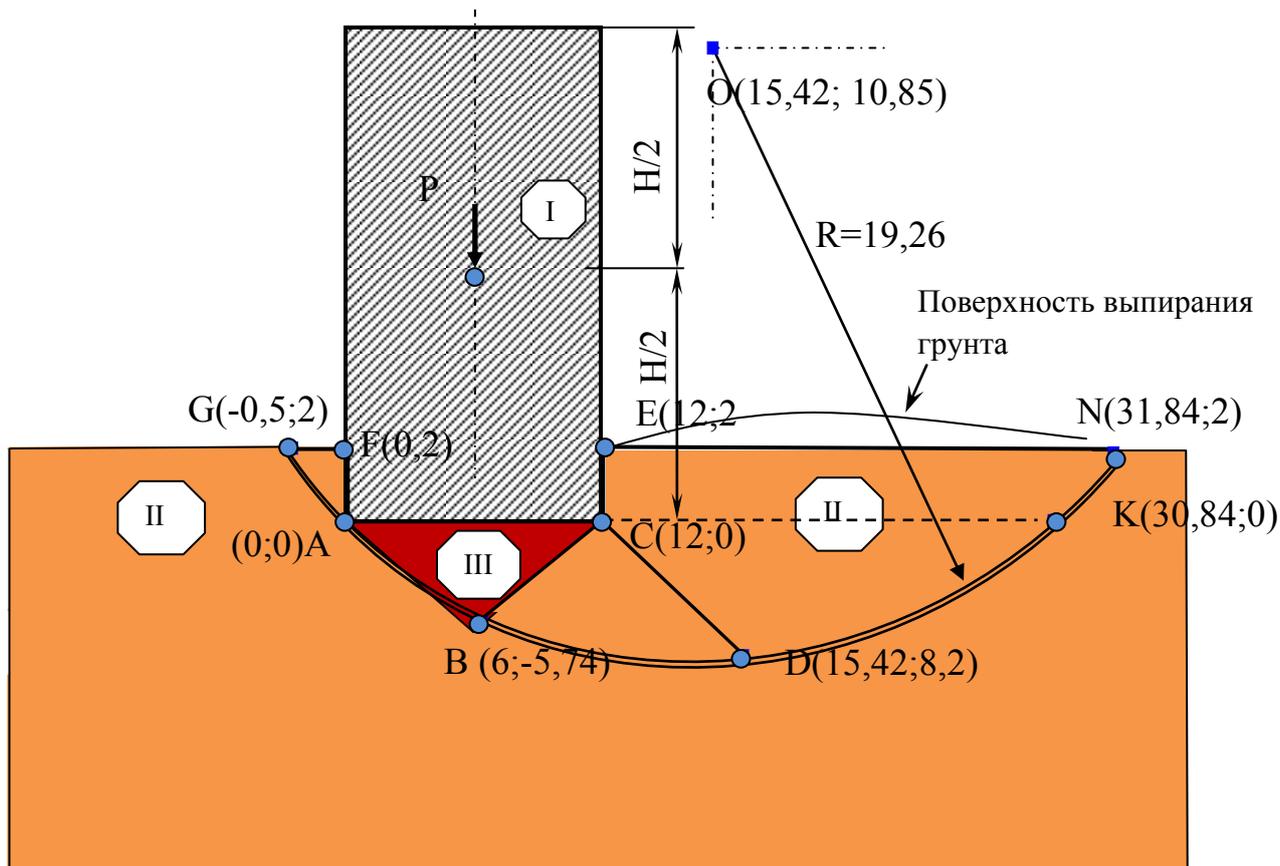
Рисунок 3 – Возможные линии скольжения в основании (модель Прандля)

Опишем возможные механизмы потери устойчивости комплексной системы здание-основание и определим пути решения поставленной задачи.

Механизм потери устойчивости I. Классический метод решения поставленной задачи, который хорошо отражен в специальной литературе [4-6] связан с исследованием выпора грунта и потере устойчивости по линии скольжения *I* (рисунок 3). В этом случае линии скольжения целесообразно

аппроксимировать цилиндрической поверхностью, а при рассмотрении плоской задачи – аппроксимировать окружностью радиуса R с центром O . При определении положения центра O и радиуса окружности R область грунта в основании разбивается на элементарные вертикальные призмы, которые не давят друг на друга и смещаются по линии скольжения L [4-6].

Пример определения положения центра O , значения радиуса R и соответствующей линии скольжения для жесткого фундамента многоэтажного здания шириной 12 м. приведен на рисунке 4.



I – рассматриваемое здание; II – слабые неустойчивые грунты;
III – жесткая треугольная область

Рисунок 4 – Механизм потери устойчивости со скольжением по круглоцилиндрической поверхности радиуса R вокруг центра O

В критической ситуации, соответствующей потере устойчивости грунтового основания, вдоль линии скольжения G - N действуют только касательные напряжения, равные коэффициенту сцепления в модели Кулона. Вертикальное давление от веса сооружения и собственного веса элементарных призм компенсируется вертикальным отпором основания по линии G - N . Критическая нагрузка P_I и соответствующий ей коэффициент запаса на устойчивость, в данной ситуации определяется известными методами строительной механики [7] из уравнения суммы моментов внешней нагрузки и касательных напряжений относительно центра O .

Следует отметить, что при симметричных условиях коэффициент запаса на устойчивость достаточный, однако предпосылкой или пусковым механизмом потери устойчивости по этой форме может служить наличие часто встречающихся на практике различных кососимметричных нагрузок. К числу последних можно отнести, например, ветровую нагрузку, горизонтальную сейсмическую нагрузку (включая промышленную сейсмику), нагрузку, обусловленную неравномерной осадкой или просадкой фундаментов.

Механизм потери устойчивости II. Этот механизм (рисунок 5) возникает при потере устойчивости по окружностям скольжения II (рис. 3) с радиусом, равным половине ширины фундамента.

Механизм II (рисунок 5) соответствует локальной потере устойчивости грунтового основания под одной из сторон здания. В этом случае вокруг центра вращения O_1 будет действовать внешний момент от здания, создаваемый силой, равной половине равнодействующей $P/2$. В расчетных соотношениях при определении внутренних напряжений по линии ABCD вместо b следует положить $b/2$. Приравнявая работу внешних и внутренних сил [7] для возможного отклоненного состояния, получим величину критической нагрузки P_{II} и соответствующий коэффициент запаса на устойчивость.

В работе [1] проводилось сравнение схем I, II для условий Караганды. Было показано, что наиболее вероятный механизм для данных условий осуществляется по схеме II.

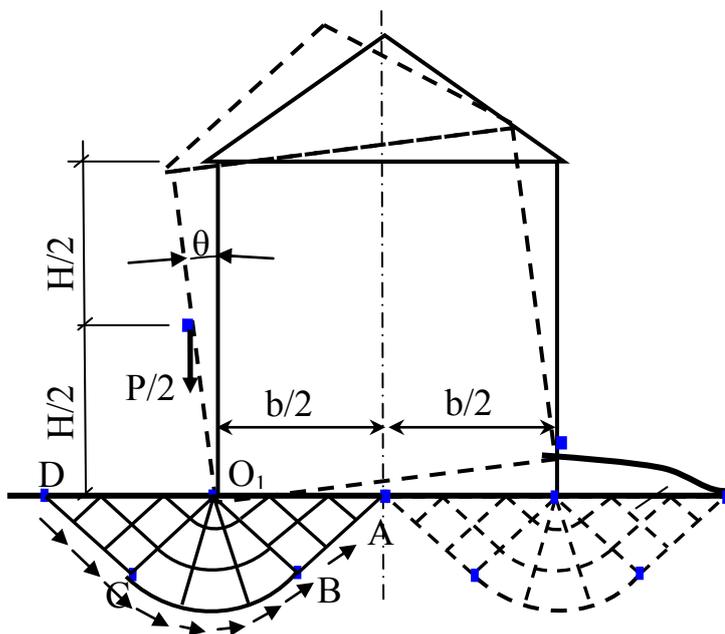


Рисунок 5 – Механизм потери устойчивости II системы «сооружение-основание»

Еще одной причиной потери устойчивости основания является возникновение несимметричных характеристик грунта в основании, вызванное постепенным движением фронта увлажнения и соответственно, разупрочнением и структурными изменениями в основании. При движении

фронта увлажнения (замачивания) предполагается, что грунты становятся водонасыщенными, а величина модуля деформации грунта снижается.

При подходе границы фронта увлажнения к краю фундамента (фронт приближается к правому краю фундамента (рисунок 6), грунтовое основание под фундаментом сохраняет свои упругие характеристики практически в неизменном состоянии; при этом жесткое треугольное ядро в основании не разрушается. Коэффициент запаса на устойчивость меняется незначительно. Численные расчеты, выполненные для конечно элементной модели, показывают, что при перемещении границы фронта замачивания от правого края фундамента к левому коэффициент запаса на устойчивость модели снижается в три раза. Затем, при движении фронта увлажнения за пределами левой границы фундамента снова наблюдается стабильное значение коэффициента запаса на устойчивость.

Остановимся на критической на наш взгляд ситуации, когда фронт разупрочнения занимает положение посередине фундамента (рис. 6). Потеря устойчивости в этой ситуации порождается очевидной асимметрией физических свойств грунтов в основании фундамента.

В этом случае, когда основание проявляет выраженные жестко-пластичные свойства, возможны механизмы *III*, *IV* потери устойчивости, показанные на рисунке 6.

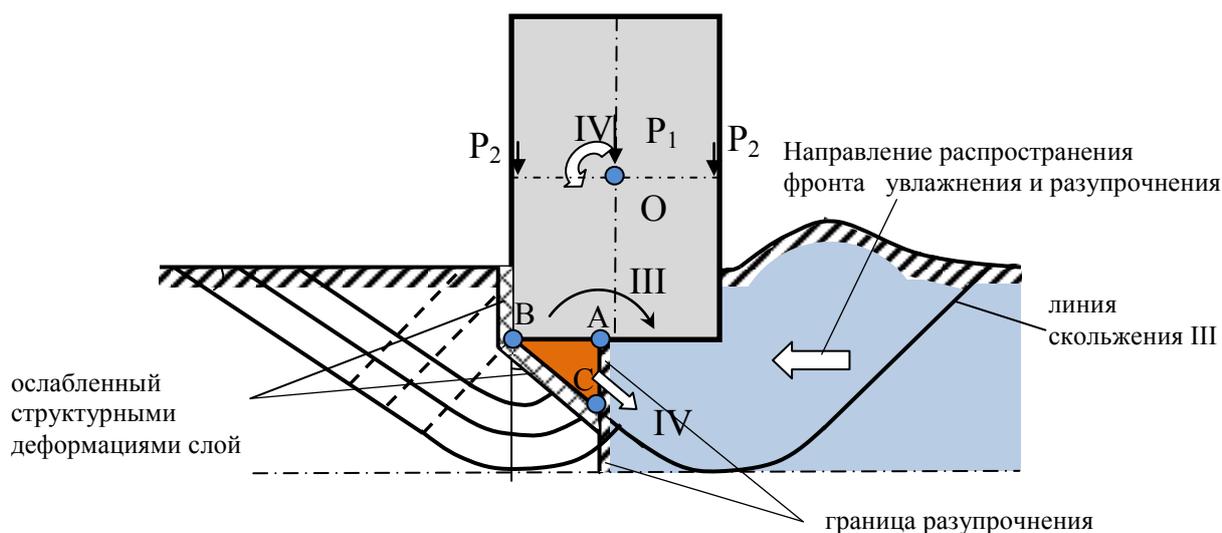


Рисунок 6 – Механизмы потери устойчивости III, IV

Механизмы потери устойчивости III, IV. Потеря устойчивости и поворот фундамента вместе со зданием вокруг угловой точки А (рис. 6), расположенной в верхней граничной точке фронта разупрочнения соответствуют механизму *III*; для *IV* механизма характерно сползание жесткой призмы ABC по поверхности скольжения и поворот здания вместе с фундаментом в противоположную сторону.

Наиболее вероятной в этом случае является реализация механизма IV, учитывая относительно слабое сопротивление грунтов сдвигу. Этот случай потери устойчивости почти эквивалентен механизму *I*.

Механизм потери устойчивости V. Рисунок 7 иллюстрирует механизм поворота вокруг точки A_1 . Такая ситуация возникает, когда фронт разупрочнения приближается к левой границе фундамента. Следует отметить, что критические нагрузки P_{III} , P_{IV} , P_V могут быть определены только численными методами.

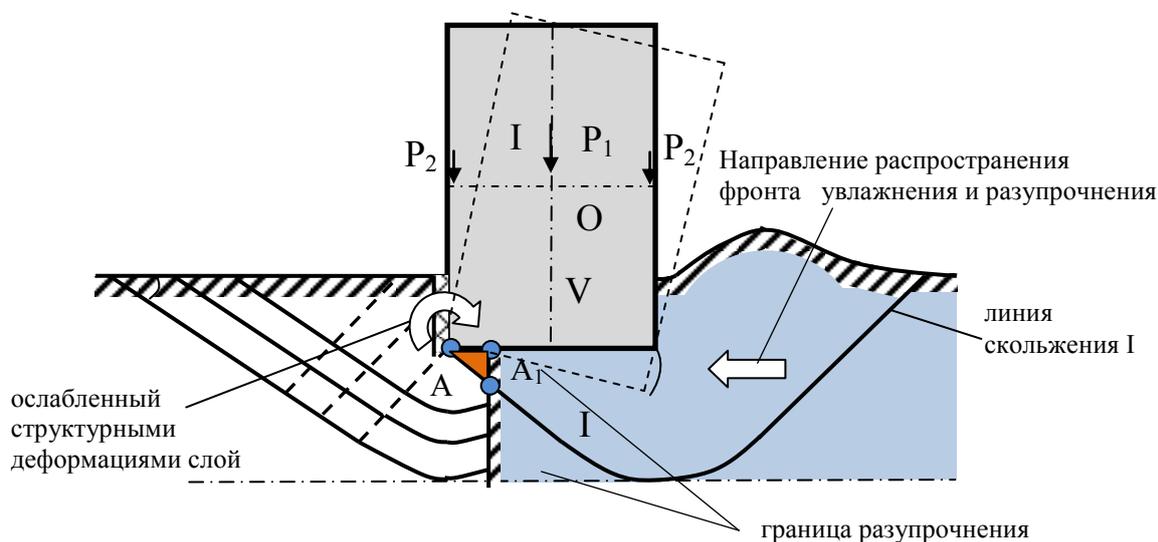


Рисунок 7 – Механизм потери устойчивости V с поворотом фундамента и здания вокруг центра A

Выводы

При одинаковых допущениях на основании результатов численных исследований можно определить, какая из схем имеет наименьший коэффициент запаса на устойчивость. Эта схема будет иметь максимальную степень вероятности потери устойчивости и наиболее реализуема.

При сниженных значениях модуля упругости основания, что может быть вызвано например замачиванием грунтов или их деконсолидацией в период оттаивания, основание и расположенные на нем сооружения становятся существенно неустойчивыми. Таким образом, имеем очень незначительный резерв по устойчивости конструкции.

Выявление наиболее опасного механизма потери устойчивости позволяет разработать соответствующий вариант усиления основания и предупредить обрушение здания.

Вариантом усиления может служить увеличение размеров фундамента с образованием фундаментной плиты шире самого здания. Это приводит к распределению нагрузки от здания по значительно большей поверхности, предупреждает преждевременное срезание клиновидной области ABC с обрушением здания.

Применение сооружений препятствующих распространению фронта замачивания (стены в грунте и дренажные системы), укрепление оснований химическими добавками [5].

Список литературы

1. Олейник, А.И., Ахмедов, К.М., Рахимов, З.Р. Об оценке устойчивости системы "Сооружение - основание" / А.И. Олейник, К.М. Ахмедов, В.В., Рахимов З.Р. // Сборник докладов МНК Инновации в науке, образовании и производстве Казахстана, ЕТУ, Алматы. 18–19 ноября 2015.–С. 212-218.
2. Ахмедов, К.М. Поля распределения температуры в грунтовых основаниях / К.М. Ахмедов// Топорковские чтения. 2008. вып. VIII. С. 378-384.
3. Шашкин А.Г. Вязко-упруго-пластическая модель поведения глинистого грунта/А.Г.Шашкин //Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – Вып. №2. – С.15-25.
4. Цытович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.
5. Долматов Б.И. Основания и фундаменты. М.: АСВ, 2002, -392 с.
6. Малинин, Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести/ Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
7. Ржаницын А.Р. Строительная механика / А.Р. Ржаницын.–М.: Высшая школа, 1982.–400 с.
8. Шамоу, В.В. Технология устройства ленточных фундаментов в вытрамбованных котлованах/ В.В. Шамоу // Топорковские чтения. – 2008.–вып. VIII. – С. 493-498.

УДК 678.074.01

МОДИФИКАЦИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

MODIFICATION OF THERMOPHYSICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF ELASTOMER COMPOSITIONS

Касперович А.В.¹, Боброва В.В.¹, Шевчик А.В.¹, Валько Н.Г.²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Гродненский государственный университет им. Я. Купалы

andkasp@belstu.by

Kasperovich A.V.¹, Bobrova V.V.¹, Bobrova V.V.¹, Shevchik A.V.¹, Valko N.G.²

¹Belarusian State Technological University, ²Yanka Kupala State University of Grodno

Аннотация: Одним из приоритетных направлений улучшения эксплуатационных характеристик эластомерных композиций является их физическое модифицирование, которое позволяет получать материалы с новым комплексом эксплуатационных свойств. Среди известных способов модифицирования изделий на основе эластомеров одним из актуальных является радиационное модифицирование, которое позволяет управлять физико-механическими и упруго-прочностными характеристиками изделий. В связи с вышеизложенным, актуальным является разработка технологии

радиационного модифицирования эластомеров с целью повышения их эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: эластомер, прочность, теплообразование, трение, излучение.

Abstract: One of the priority areas for improving the operational characteristics of elastomeric compositions is their physical modification, which allows one to obtain materials with a new set of operational properties. Among the known methods of modifying products based on elastomers, one of the most relevant is radiation modification, which allows to control the physico-mechanical and elastic-strength characteristics of the products. In connection with the foregoing, it is urgent to develop a technology for the radiation modification of elastomers in order to increase their operational characteristics.

Key words: elastomer, strength, heat generation, friction, radiation.

Основной причиной, или одной из основных причин, преждевременного выхода их строя шин, находящихся в эксплуатации, являются тепловые разрушения. Т.е. в процессе эксплуатации шина подвергается такой нагрузке, при которой теплообразование в ней достигает уровня, приводящего к разрушению, вплоть до оплавления и горения. Избыточное теплообразование ослабляет или разрушает связи между элементами конструкции шины, а также вызывает реструктуризацию резины.

Внешнее проявление перегрева – расслоения и отслоения в наиболее термонагруженных зонах шины – плечевой, верхней части боковины. Однако расслоение может развиваться далее после момента возникновения и распространиться на боковину или протекторную зону, затрудняя анализ причины дефекта. Экспертные признаки перегрева шины: участки кольцевой формы с изменённым цветом и твёрдостью на внутренней поверхности шины (гермослое) в плечевой зоне и над бортом.

Основные причины генерации тепла в шине:

– перегруз шины или выбор шины, не соответствующей по нагрузочным характеристикам требуемым условиям эксплуатации;

– неправильный выбор рабочего давления в шине или отклонения от рекомендованного давления. У разных производителей техники давление может отличаться друг от друга для абсолютно одинаковых шин (рисунок 1);

– превышение скорости эксплуатации самосвала, особенно под нагрузкой;

– большое плечо перевозки, т. е. расстояние от места загрузки до места выгрузки имеет большое значение, ведь на данном участке самосвал движется под постоянной нагрузкой и без остановки.

Несоблюдение рекомендаций по одному из факторов неизбежно приводит к ускоренному износу шин и преждевременному выходу из строя, что вызывает существенное увеличение стоимости перевозок.

Шины выделяют тепло во время эксплуатации. так как шина отклоняется от циклических колебаний, она достигает теплового равновесия с точки зрения

температуры ее внутреннего компонента и с точки зрения температуры содержащегося воздуха в полости шины. Изменение условий эксплуатации и физических изменений самой конструкции шины может привести к изменению состояния равновесия.

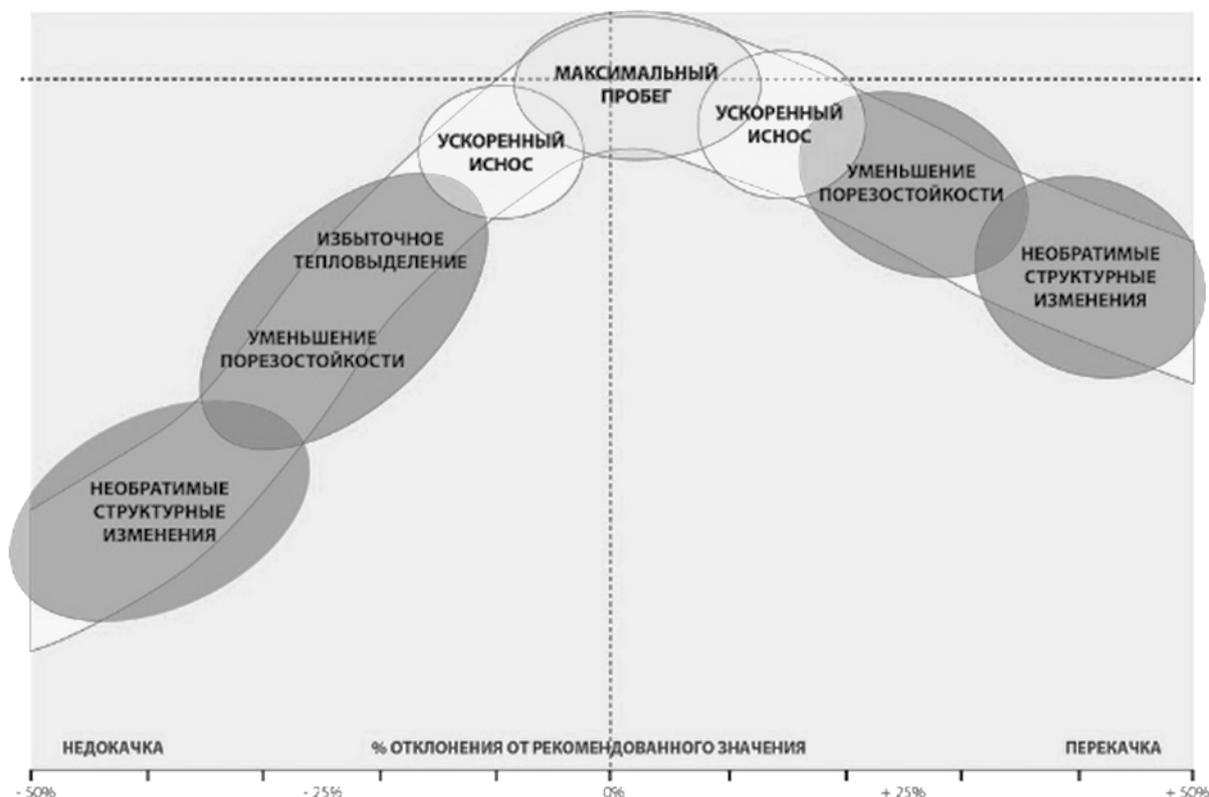


Рисунок 1 – Давление в покрышке

Повышенное и продолжительное выделение тепла является основным фактором разрушения шины. Повышенное тепло снижает сопротивление разрыву резины, что способствует зарождению и распространению трещин.

Происходит постоянное ухудшение свойств материала от воздействия повышенных температур, в зависимости от продолжительности воздействия (рисунок 2-3).

Плечевые зоны радиальной шины, как правило, являются самыми высокими по выработке тепла. Рисунок иллюстрирует растущие температуры, которые развиваются в плечевой зоне, когда шина эксплуатируется с возрастающим прогибом.

Износ резины из-за чрезмерного тепловыделения приводит к снижению прочности на растяжение и общей растяжимости. Этот отказ от тепла является дополнительным эффектом, который может еще больше повысить температуру. В конечном счете, компонент или часть шины могут достигнуть критической отметки, где износ резины может вызвать, отрыв от шины кусков или всего участка протектора.

Радиационное модифицирование материалов

Радиационное модифицирование материалов – направленное изменение их свойств в результате воздействия ионизирующими излучениями [1].

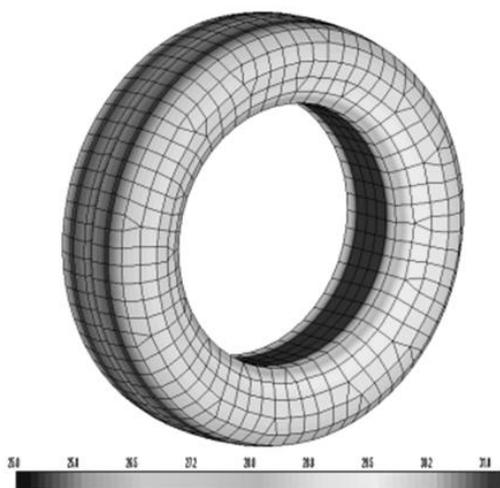


Рисунок 2 – Контурный график средней температуры протектора при движении шины

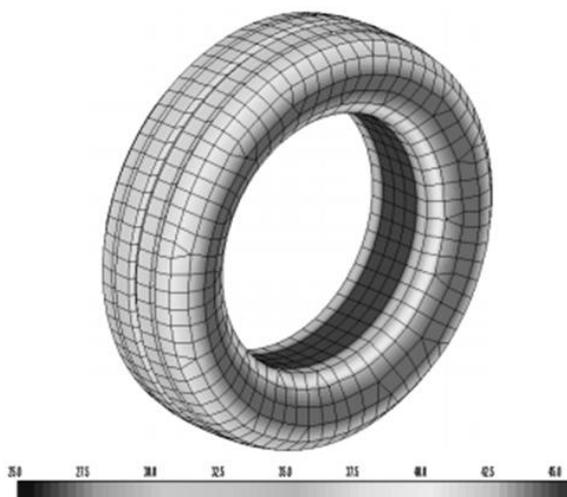


Рисунок 3 – Контурный график средней температуры боковины при движении шины

Существующие способы модификации можно разделить на три группы:

- 1) облучение сырых резиновых смесей с целью улучшения перерабатываемости;
- 2) инициированный излучением процесс привитой полимеризации мономеров и олигомеров в объеме резиновой смеси;
- 3) процесс радиационной привитой полимеризации жидких и газообразных мономеров и олигомеров на поверхности резиновых смесей с целью улучшения адгезионных и фрикционных свойств.

Модификация в объеме производится путем введения в резиновую смесь полимеризационноспособных соединений и последующего облучения этой смеси источником ионизирующего излучения в условиях изоляции от кислорода воздуха; излучение инициирует процесс гомополимеризации таких соединений и их прививку к молекулам каучука.

Процесс радиационной модификации поверхности обычно осуществляется облучением материала или изделия в контакте с прививаемым мономером или олигомером. Применительно к резинам этот вид модификации развит мало. Описан способ повышения озоностойкости резин на основе СКИ-3 путем поверхностной прививки винилхлорида; имеются сведения о прививке метилметакрилата и винилацетата из газовой фазы к бутилкаучуку и винилхлорида к бутадиен-нитрильным каучукам. Разработан процесс газофазной привитой полимеризации на поверхности тканей и волокон с целью повышения их адгезии к резинам. В текстильной промышленности этот процесс применяется для радиационной модификации поверхности синтетических волокон с целью улучшения прокрашиваемости, несминаемости, водоотталкивающих свойств и т.д., причем в США и Японии он реализован в полупромышленном масштабе [2].

Наиболее часто ионизирующее излучение применяется для модификации полимеров, поскольку вследствие высокой молекулярной массы полимера даже сравнительно небольшие дозы могут вызвать существенное изменение его

свойств. Самым важным в практическом отношении радиолитическим превращением в полимерах является сшивание. Сшивание используется в разнообразных промышленных процессах, таких как модифицирование полиолефиновой (преимущественно полиэтиленовой и поливинилхлоридной) изоляции кабелей и проводов, изготовление упрочненных и термоусаживающихся пленок, трубок, получение пенопропилена, вулканизация эластомеров и изделий из них (компонентов шин, каучуков с целью изготовления на их основе термостойких самослипающихся электроизоляционных лент и резиностеклоткани, латекса натурального каучука, резиновых перчаток и др.).

Радиационное сшивание полиолефинов приводит к повышению их механической прочности, термостойкости, улучшению электроизоляционных свойств. Этот процесс широко используется в производстве кабелей и проводов. Радиационным методом модифицируют преимущественно полиэтиленовую изоляцию и изоляцию из поливинилхлорида. Также в качестве изоляции используется радиационно-сшитый полиуретан.

Источниками ионизирующего излучения, применяемыми для облучения кабелей и проводов, являются электронные ускорители с энергиями 0.3–5 МэВ и мощностью до сотни киловатт. Доза, необходимая для сшивания полиэтилена, составляет 200–400 кГр и может быть заметно снижена путем введения в полиэтилен сенсibilизаторов – веществ, способствующих повышению чувствительности полиэтилена к воздействию ионизирующего излучения. Использование сенсibilизаторов приводит к снижению дозы облучения до 50–150 кГр.

Радиационное сшивание полимеров имеет ряд преимуществ перед химическим сшиванием [3]. Среди них – лучшие эксплуатационные характеристики продукта, меньшая стоимость процесса, более низкие энергетические затраты, выигрыш в рабочих площадях. Провода и кабели с радиационно-сшитой полимерной изоляцией производятся промышленностью многих стран и применяются в системах связи, военной и космической технике, электронном и компьютерном оборудовании, автомобильных электрических схемах, ядерных реакторах и др.

Реализованным в промышленности радиационно-химическим процессом, базирующимся на сшивании полимеров, является изготовление упрочненных и термоусаживающихся изделий. Среди них – термоусаживающиеся пленки, ленты, мешки, трубки, трубы, шланги и изделия более сложной конфигурации, применяющиеся в нефтегазовой, электротехнической, автомобильной и пищевой промышленности, электронной технике, судостроении, строительстве.

В основе изготовления термоусаживающихся изделий лежит эффект «памяти» (или «запоминания формы»). Суть его заключается в том, что полимерный материал, облученный до дозы, величина которой меньше дозы гелеобразования, деформированный при температуре выше температуры плавления кристаллитов (структуры в полимерах с трехмерным дальним порядком, образуемые звеньями макромолекул; размер этих структур не превышает нескольких мкм) и затем быстро охлажденный, после повторного

нагревания до той же температуры стремится (из-за образования пространственной сетки) восстановить исходную форму. Если этим материалом обтянуть какой-либо предмет, то после нагревания он образует на нем плотную оболочку. В производстве термоусаживающихся изделий применяют электронные ускорители. Для облучения трубок используются электронные пучки с энергией 1-3 МэВ, а в случае пленок и лент – пучки с энергией 0,5-1,0 МэВ. Дозы, необходимые для производства трубок и лент, составляют 50-150 кГр.

Объект исследования

Объектом исследования является резиновая смесь на основе натурального каучука, используемая для производства протектор-беговой части шины. Принципиальный состав рецептуры представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура исследуемой смеси

Наименование каучуков и ингредиентов	Масс.ч. на 100 масс.ч. каучука	Массовые %
Натуральный каучук	100	56,53
Кремниевая кислота	10	5,65
Техуглерод N234	45	24,45
Сера	1,3	0,74
Итого	176,85	100
Плотность резиновой смеси 1,136 г/см ³		

Основой резиновой смеси является натуральный каучук (100 масс.ч.). Склонность НК к кристаллизации при температурах, близких к нормальной, обуславливают высокую прочность при растяжении как ненаполненных резин из НК, так и резин на его основе, содержащих неактивные наполнители. При введении активных наполнителей значительно повышаются напряжения при удлинениях, твердость и сопротивление истиранию резины.

Резины характеризуются высокой эластичностью, морозостойкостью, хорошими динамическими свойствами, износостойкостью, но обладают малой стойкостью к воздействию агрессивных сред, сильно набухают в углеводородах и вследствие высокой неопределенности быстро подвергаются старению.

Результаты исследования

В ходе исследования образцы резин, полученные при разных степенях вулканизации, подвергались радиационной модификации – воздействию рентгеновского излучения. На основании полученных данных установлено, что плотность поперечного сшивания увеличилась на 13–14% по сравнению с немодифицированным образцом. Это свидетельствует о том, что в процессе воздействия излучения происходит образование свободных радикалов и их последующая рекомбинация.

Таким образом можно сделать вывод о том, что при воздействии излучения в вулканизате осуществляется дополнительное сшивание, и вероятно, образуются преимущественно – С – С – связи за счет того, что излучение выбивает атом Н⁺ и происходит рекомбинация радикалов. В связи с этим можно предположить, что модифицированные резины будут иметь

меньшее теплообразование.

Теплообразование изучалось с на флексометре типа Гудрича при постоянном значении амплитуды сжатия с частотой 25 Гц и амплитудой 6 мм. Испытание заключается в циклическом сжатии цилиндрического образца при заданной деформации и частоте в течение определенного времени, и измерении при этом его температуры. Теплообразование в образцах измеряется по формуле 1.

$$\Delta t_s = t_s - t_0 \quad (1)$$

где t_s – конечная температура образца после испытания, °С;
 t_0 – температура образца до испытания, °С.

Анализ представленных данных (рисунок 4) свидетельствует о том, что уровень максимально развиваемой в образцах температуры зависит от степени вулканизации резиновых смесей.

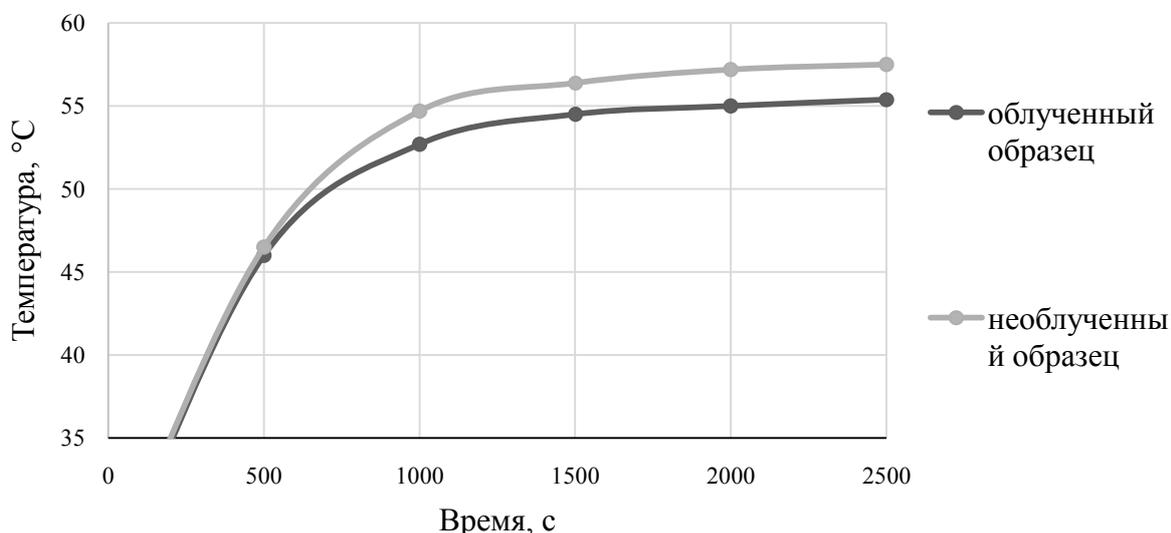


Рисунок 4 – Зависимость теплообразования необлученного и облученного образцов резины

Установлено, что с увеличением плотности поперечного сшивания теплообразование снижается на 1,5 – 3% у протектор беговой части шины.

Износостойкость резин – это свойство противостоять разрушению и отделению внешнего слоя при наличии слоя трения.

Шины СКГШ эксплуатируются в условиях значительных деформаций, напряжений и нагрузок. Поэтому представляет интерес исследовать влияние радиационной модификации на износ резин. В таблице 2 представлены показатели износостойкости протектор-беговой части.

Как видно из таблицы 2, истираемость резины уменьшилась в 3,5 раза. Это подтверждает тот факт, что увеличивается плотность поперечного сшивания образцов шинных резин.

Таблица 2 – Параметры износостойкости протектор-беговой части

Образец	Истираемость	Сопротивление истиранию	Коэффициент трения	Твердость, усл. ед Шор А
Исходный	0,0419	24,195	1,91	55
Облученный	0,0120	83,09	1,86	57

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) ионизирующее излучение вероятно способствует образованию – С – С – связи;
- 2) у модифицированных резин на 1–2°С снижается теплообразование;
- 3) износостойкость протекторных резин, после заданной модификации увеличивается в 3,5 раза.

Список литературы

1. A. Bhattacharya, Radiation and industrial polymers, Prog. Polym. Sci., 25 (2000) 371.
2. Боброва В.В. Исследование влияния радиационного модифицирования на теплофизические и эксплуатационные свойства протекторных резин для карьерных шин: Дис. ... магистра техн. наук. – Минск, 2018. – 70 с.
3. Chakraborty, S. K., Sabharwal, S., Das, P. K., Sarma, K. S. S., & Manjula, A. K. (2011). Electron beam (EB) radiation curing-a unique technique to introduce mixed crosslinks in cured rubber matrix to improve quality and productivity. Journal of Applied Polymer Science, 122(5), 3227–3236.

УДК 666.857

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДЕНИЯ СУЛЬФОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА

FEATURES OF HARDENING SULFOMAGNESIUM COMPOSITIONS OF VARIOUS STRUCTURE

Мирюк О.А.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

psm58@mail.ru

Miryuk O.A.

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Приведены результаты исследований процессов твердения композиционных сульфомагнезиальных вяжущих. Определен характер влияния плотности затворителя на твердение композиций. Показана возможность повышения прочности и водостойкости композиций за счет сочетания

строительного гипса и каустического магнезита при затворении раствором $MgCl_2$. Выявлены превращения фаз при гидратации сульфомагнезиальных вяжущих. Установлено влияние состава вяжущих на превращения гидратов. Приведены результаты исследования вяжущих длительного твердения. Показано, что долговечность камня магнезиальных материалов обеспечивается плотной структурой гидратов. В исследованиях использованы рентгенофазовый и термический методы, электронная микроскопия.

Ключевые слова: каустический магнезит, строительный гипс, сульфомагнезиальные композиции, гидратация, твердение.

Abstract: The results of studies of the hardening processes of composite sulfomagnesian binders are presented. The nature of the effect of the density of the caster on the hardening of the compositions is determined. The possibility of increasing the strength and water resistance of the compositions due to the combination of building gypsum and caustic magnesite during mixing with $MgCl_2$ solution is shown. Phase transformations were revealed during hydration of sulfomagnesian binders. The effect of the composition of binders on hydrate conversions is established. The results of a study of binders for long hardening are presented. It is shown that the durability of a stone of magnesia materials is ensured by the dense hydrate structure. The studies used X-ray phase and thermal methods, electron microscopy.

Key words: caustic magnesite, construction gypsum, sulfomagnesium compositions, hydration, hardening.

Введение

Магнезиальные вяжущие – группа веществ, активной составляющей которых является оксид магния. Для обеспечения интенсивного твердения и высокой прочности магнезиальные вяжущие затворяют растворами солей, преимущественно раствором хлорида магния. Магнезиальные вяжущие характеризуются малой энергоемкостью производства и применения, интенсивным твердением, высокими прочностными показателями.

Основной причиной, сдерживающей широкое распространение магнезиальных вяжущих, является ограниченность разработанных месторождений природных магнезитов и, как следствие, дефицит каустического магнезита. Магнезиальные материалы, обладая комплексом ценных свойств, не находят широкого применения из-за низкой водостойкости и усадочных деформаций при твердении.

Высокая активизирующая способность каустического магнезита по отношению к различным материалам служит основой для получения смешанных вяжущих. Сочетание каустического магнезита с природными и техногенными материалами расширяет ассортимент и увеличение объема выпуска магнезиальных вяжущих. Преимущества смешанных вяжущих в улучшении физико-механических характеристик при одновременной экономии каустического магнезита и рациональном использовании природных и техногенных силикатов [1 – 7].

Преимущества сочетания каустического магнезита с сульфатом кальция отмечены в работах [8, 9]. Строительный гипс (полуводный сульфат кальция) чувствителен к действию водорастворимых солей, которыми затворяют магнезиальные вяжущие. Нашими исследованиями [10] доказана возможность замены 40-60% каустического магнезита полуводным сульфатом кальция. Гипсовый компонент уменьшает расход солевого затворителя, удлиняет сроки схватывания, прочность смешанного вяжущего не снижается.

Представляет интерес разработка смешанных магнезиальных вяжущих и композиций на их основе, которая направлена на ресурсосбережение, улучшение качества и расширение ассортимента строительных материалов.

Объект и методы исследования

Объект исследования – сульфомагнезиальные вяжущие, приготовленные с использованием растворов хлорида магния и сульфата магния.

Цель работы – исследование влияние вещественного состава на процессы твердения и свойства сульфомагнезиальных материалов различного строения.

Для получения сульфомагнезиальных композиций использовали смешанное вяжущее, содержащее каустический магнезит ПМК – 75 и строительный гипс марки Г–5АП. Содержание гипсового компонента в вяжущих составляло 0 – 80%. Смешанные вяжущие затворяли растворами солей магния.

Прочность камня вяжущих определяли на образцах размером 20x20x20 мм, изготовленных из пластичного теста. Фазовый состав затвердевших материалов оценивали рентгеновским методом на дифрактометре общего назначения ДРОН–3. Термохимические превращения изучали дифференциально-термическим методом анализа на дериватографе фирмы «МОМ» системы Ф. Паулик, И. Паулик и Л. Эрдей. Строение камня исследовали с помощью растрового электронного микроскопа JSM–649OLVenergy.

Результаты экспериментов

Твердение сульфомагнезиального оксихлоридного вяжущего протекает при первоначальной гидратации MgO и сопровождается образованием пентагидрооксихлорида магния $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$, гидроксида магния $Mg(OH)_2$. Содержание нестабильного тригидрооксихлорида магния $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ невелико. На термограммах затвердевших вяжущих с различным содержанием сульфатного компонента эндотермические эффекты при 140, 210 и 340⁰С характеризуют присутствие гидрооксихлоридов магния (рисунок 1).

При добавлении 20 – 40 % полуводного гипса на термограммах смешанного вяжущего усиливается эндотермический эффект при 120 – 170⁰С, связанный с дегидратацией двуводного гипса. В вяжущем с наибольшей долей (60%) гипсового компонента (эндотермический эффект при 250⁰С) уменьшается содержание гидрооксихлоридов магния (эндотермический эффект при 140⁰С). Величина потери массы для вяжущих с содержанием 100; 80; 60 и 40 % каустического магнезита соответственно равна, %: 36,6; 35,7; 37,5; 35,1. Сопоставимость показателей термогравиметрии подтверждает гидратационную активность обеих

составляющих вяжущего. На примере смешанного вяжущего с 40 % полугидрата сульфата кальция исследовано влияние состава и концентрации затворителя. Композиции затворяли растворами хлорида и сульфата магния плотностью 1200 – 1280 кг/м³ (таблицы 1 и 2).

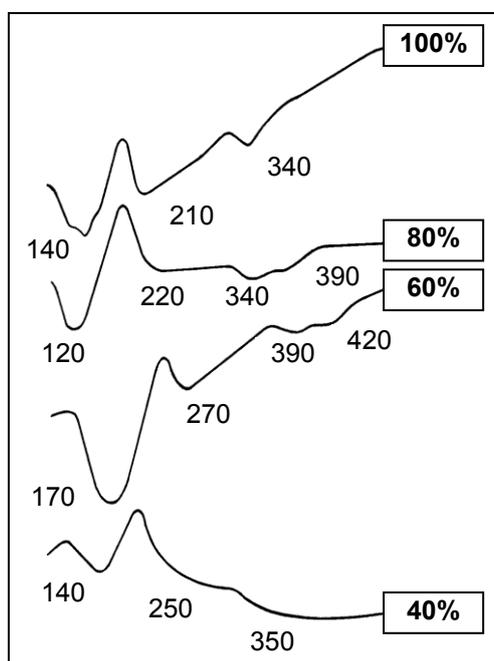


Рисунок 1 – Термограммы сульфомagneзиальных вяжущих с различным содержанием каустического магнезита после 28 сут твердения

Таблица 1 – Влияние вида затворителя на состав сульфомagneзиального камня

Сроки, сут	Интенсивность отражений фаз на дифрактограмме, отн.ед.				
	MgO (0,211нм)	Mg(OH) ₂ (0,483нм)	5Mg(OH) ₂ ·MgCl ₂ ·8H ₂ O (0,419 нм) / 3Mg(OH) ₂ ·MgSO ₄ ·8H ₂ O (0,517 нм)	CaSO ₄ ·0,5H ₂ O (0,604нм)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (0,430нм)
Затворитель – раствор MgCl ₂ , плотность 1240 кг/м ³					
1	88	35	74 / нет	100	24
7	82	40	81 / нет	82	27
28	81	28	87 / нет	76	36
90	77	35	71 / нет	65	36
Затворитель – раствор MgCl ₂ , плотность 1200 кг/м ³					
7	85	56	65 / нет	38	46
Затворитель – раствор MgCl ₂ , плотностью 1240 кг/м ³					
7	83	40	81 / нет	82	27
Затворитель – раствор MgCl ₂ , плотность 1280 кг/м ³					
7	82	35	100 / нет	88	24
Затворитель – раствор MgSO ₄ , плотность 1200 кг/м ³					
7	100	93	нет / 100	0	100
Затворитель – раствор MgSO ₄ , плотность 1240 кг/м ³					
7	95	98	нет / 85	7	96
Затворитель – раствор MgSO ₄ , плотность 1280 кг/м ³					
7	93	100	нет / 60	10	91

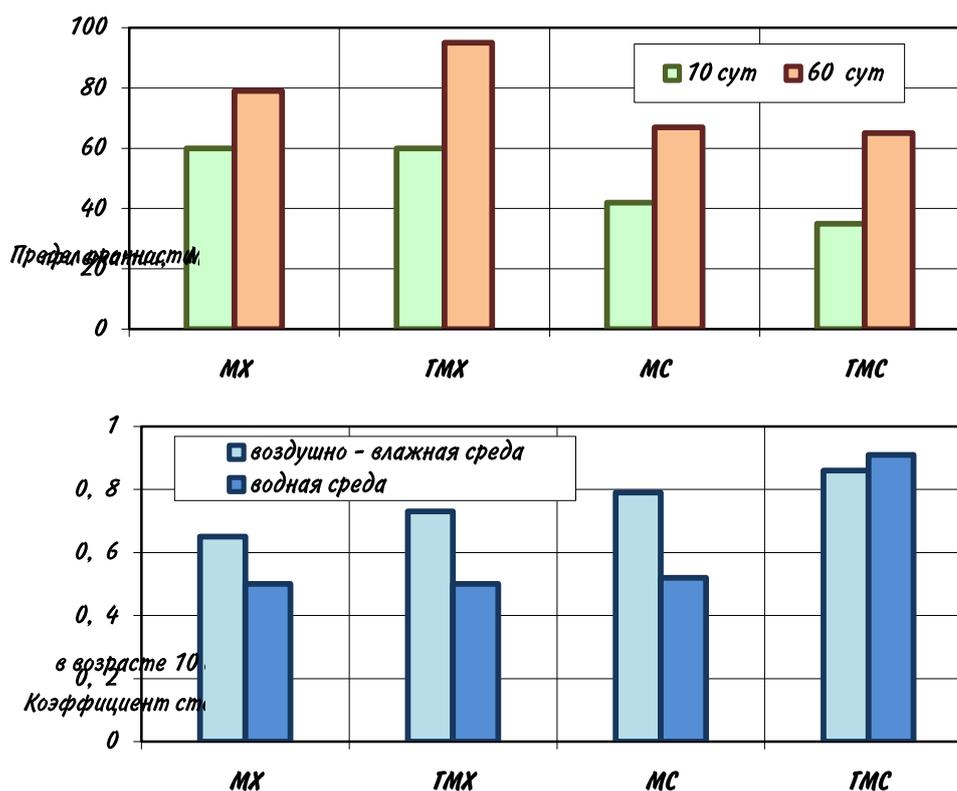
Результаты экспериментов свидетельствуют, что состав раствора соли мало влияет на расход затворителя вяжущих, который достигает 46 – 47 %. Вяжущие на основе раствора $MgSO_4$ отличаются быстрым схватыванием: например, при использовании затворителей одинаковой плотности начало схватывания теста на основе $MgSO_4$ составляет 10 мин, на основе $MgCl_2$ – 30 мин. Вид затворителя существенно влияет на характер твердения, фазовый состав и строения камня сульфомагнезиального вяжущего. Изменение плотности растворов обеих солей от 1200 до 1240 кг/м³ сопровождается упрочнением камня в возрасте 1 сут в 1,5 – 2,0 раза. Дальнейшее увеличение концентрации затворителя в меньшей степени повышает показатели прочности (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние затворителя на прочность сульфомагнезиального камня

Затворитель		Сроки твердения, сут	Предел прочности при сжатии, МПа
состав	плотность, кг/м ³		
$MgCl_2$	1240	1	45
		7	55
		28	85
		90	93
	1200	7	42
	1240	7	55
	1280	7	80
$MgSO_4$	1200	7	27
	1240	7	35
	1280	7	58

Для композиций продолжительного твердения зависимость прочности камня от плотности затворителя менее выразительна. В составе затвердевшего сульфомагнезиального вяжущего присутствуют фазы, характерные для самостоятельной гидратации компонентов, а также гидратные комплексы в виде двойных или тройных солей. Сопоставление состава и свойств композиций, отличающихся затворителем, позволило отметить наибольшую гидратационную активность оксида магния при использовании высококонцентрированного раствора хлорида магния (таблица 1). При этом реакционная способность MgO проявляет повышенную зависимость от плотности раствора $MgSO_4$, мало изменяясь при росте плотности раствора $MgCl_2$. Для активной гидратации гипсовой составляющей композиции предпочтителен раствор $MgSO_4$ пониженной плотности, который обеспечивает завершение процесса в ранние сроки. Увеличение концентрации солей замедляет гидратацию полуводного гипса.

Наибольшее значение в упрочнении смешанного вяжущего имеет состав гидратов, формирующих структуру сульфомагнезиального камня. Использование раствора $MgCl_2$ способствует интенсивному твердению и увеличению прочности камня различного возраста в среднем на 20 – 70 % по сравнению с вяжущим, затворенным раствором $MgSO_4$ (рисунок 2; таблица 2).



МХ – каустический магнезит, затворитель – раствор хлорида магния;
МС – каустический магнезит, затворитель – раствор сульфата магния;

Рисунок 2 – Влияние вещественного состава вяжущих на прочность и водостойкость камня (плотность затворителя 1240 кг/м³)

Твердение сульфомагнезиального оксихлоридного вяжущего сопровождается образованием гидрооксихлорида магния $5\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

При повышении плотности затворителя значительная часть оксида магния преобразуется в гидрооксихлориды, на 30 – 40 % уменьшается доля $\text{Mg}(\text{OH})_2$; формируется также $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 2\text{MgCO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. В присутствии MgCl_2 возможно ускорение гидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ в результате изменения растворимости вещества. Однако действие добавок, не содержащих одноименных с сульфатом кальция ионов, зависит от их концентрации. Для затворения сульфомагнезиальных вяжущих использовали концентрированный раствор хлорида магния, замедливший гидратацию гипсовой части. С течением времени твердения по мере связывания MgCl_2 в гидрооксихлориды магния характер влияния соли на гидратационные свойства $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ меняется.

С увеличением плотности MgCl_2 снижается степень гидратации полугидрата сульфата кальция, образуется меньшее количество (таблица 1) и, как результат, минимизируется вклад двухводного гипса в формирование первичного каркаса камня вяжущего.

Замедленная гидратация полуводного гипса, обусловленная повышением концентрации оксида и хлорида магния, обеспечивает плавный характер кристаллизации двухводного гипса, способствующий уплотнению и повышению

стойкости камня вяжущего. Повышение прочности образцов в отдаленные сроки твердения, по-видимому, обусловлено уплотнением структуры камня за счет продолжающейся гидратации и усиления сцепления гидратов.

Затворение сульфомagneзиального вяжущего раствором $MgSO_4$ сопровождается энергичной гидратацией гипсовой составляющей (таблица 1). Значительная часть оксида магния в смешанных вяжущих, затворенных сульфатом магния, преобразуется в гидроксид магния.

Исследования сульфомagneзиальных вяжущих длительного твердения показали, что после 10 лет пребывания на воздухе различия в показателях прочности стали менее выразительными, при этом качественный состав материалов мало изменился. По данным дифрактометрического анализа (рисунок 3), камень вяжущего, затворенного раствором $MgCl_2$, состоит из гидроксихлоридов магния $5Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$ и $3Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 8H_2O$, гидроксида магния, двуводного гипса. С увеличением концентрации раствора $MgCl_2$ растет степень гидратации MgO , повышается содержание гидроксихлоридов магния, стабильных при длительном твердении.

При использовании высококонцентрированного хлоридного затворителя формируется крупноблочная структура сульфомagneзиального камня (рисунок 4). В составе камня длительного твердения сохраняются негидратированные исходные вещества. Следовательно, в вяжущем не реализуется часть химически активных компонентов. Это указывает на необходимость поиска способов более полного вовлечения составляющих в процессы гидратации.

Гидратационная активность исследуемых вяжущих наиболее чувствительна к составу затворителя, что характерно для большинства магнезиальных материалов. Фазовый состав камня на основе сульфатного затворителя отличается повышенной долей негидратированного оксида магния; большим содержанием гидроксида магния, количество которого не зависит от плотности раствора соли.

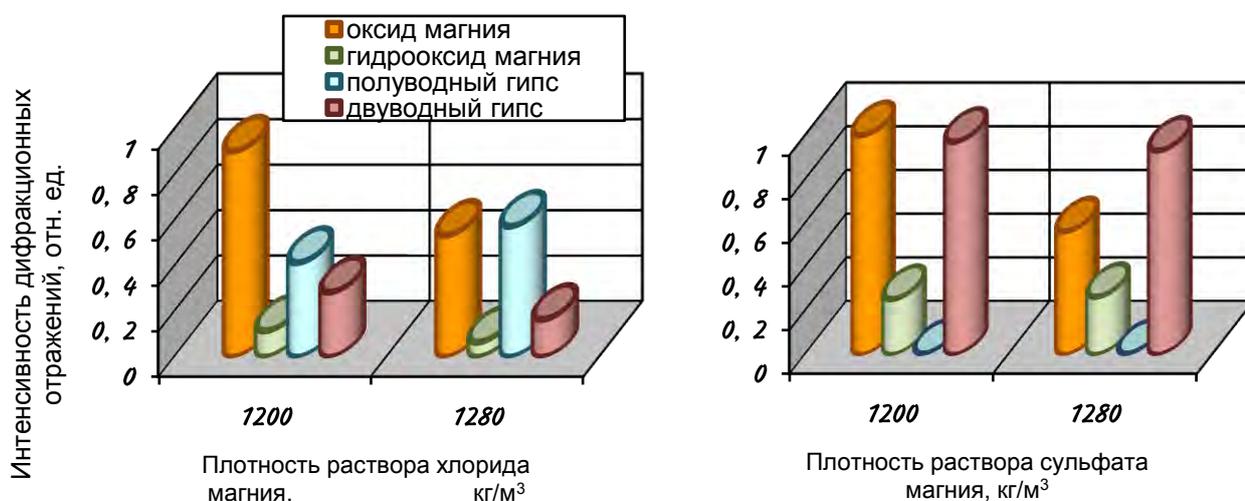
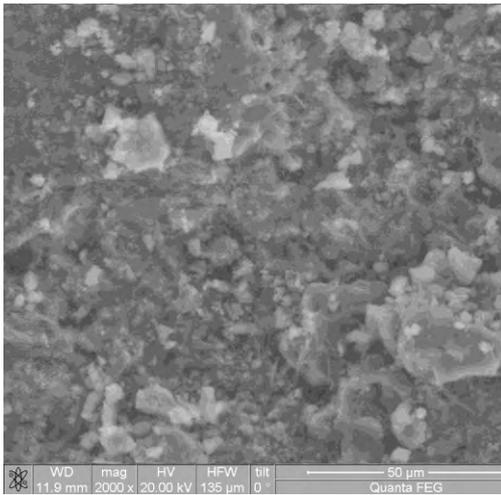
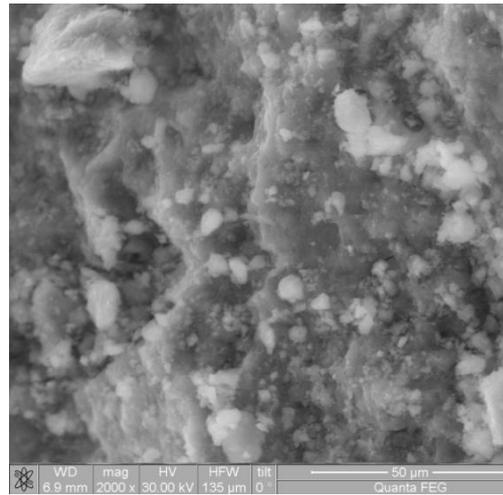


Рисунок 3 – Влияние вида затворителя на содержание основных фаз сульфомagneзиального камня длительного твердения

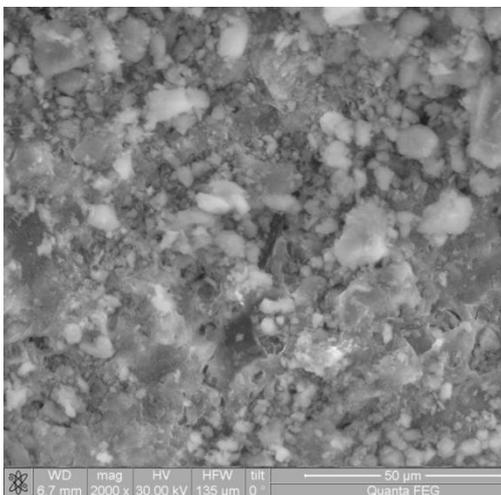


плотность 1200 кг/м³

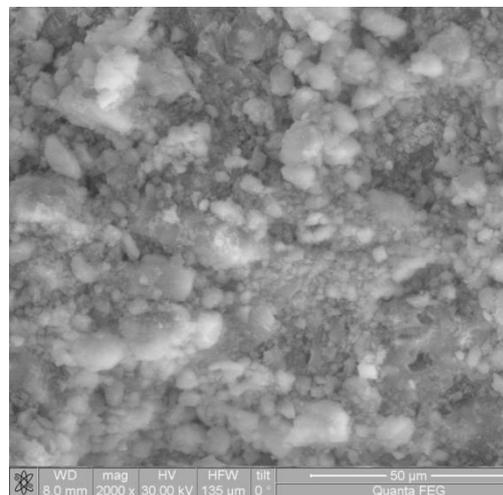


плотность 1280 кг/м³

Затворитель–раствор **MgCl₂**



плотность 1200 кг/м³



плотность 1280 кг/м³

Затворитель–раствор **MgSO₄**

Рисунок 4 – Микроструктура сульфомагнезиального камня длительного твердения

В затвердевшем вяжущем присутствуют гидросульфатномагнезиальные комплексы $3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (плотность раствора MgSO_4 1200 кг/м³) и $3(\text{Mg}_6(\text{OH})_{10} \cdot \text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (плотность раствора MgSO_4 1280 кг/м³).

Использование сульфатного затворителя обеспечивает формирование максимально возможного количества двуводного гипса, которое вчетверо превосходит аналогичный показатель камня оксихлоридного твердения.

Для данного эксперимента принята следующая методика: после предварительного твердения на воздухе в течение 3 сут образцы распределяли на три группы, которые помещали в различные условия (вода; воздушно-влажная среда с влажностью 80 – 85 %; воздух). Образцы хранили в указанных средах в течение различного времени (2 – 60 сут) для изучения характера

изменений состава и структуры камня. По результатам одного из испытаний определяли коэффициент стойкости – отношение прочности камня после пребывания в водной (воздушно-влажной) среде к прочности камня воздушного твердения (рисунок 2).

Сопоставление структур камня вяжущего, затворенного различным по концентрации раствором хлорида магния, позволяет предположить, что крупноблочное строение камня делает более уязвимой композицию на основе высококонцентрированного раствора хлорида магния в условиях повышенной влажности.

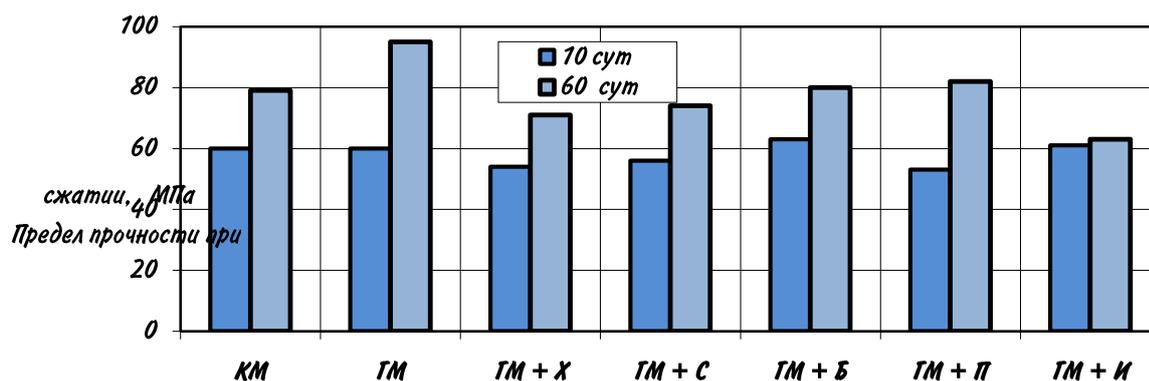
Это согласуется с результатами испытаний материалов на водостойкость. Наибольшей устойчивостью к действию влаги характеризуются сульфомагнезиальные композиции с повышенным содержанием гидроксида магния и двуводного гипса.

По данным дифрактометрического анализа, содержание пентагидрооксихлорида магния в составе сульфомагнезиальной композиции сопоставимо или превышает таковое в каустическом магнезите. Значительные количества доминирующего гидрооксихлорида магния в вяжущем с ограниченным содержанием оксида магния обусловлено повышенной активностью последнего в композиции. Это отличает сульфомагнезиальные композиции от смешанных вяжущих, содержащих силикатный или железистый компонент, в которых повышенная гидратационная активность оксида магния реализована не только в формировании гидрооксихлорида магния, а также в образовании гидросиликатов, гидроферритов магния [7].

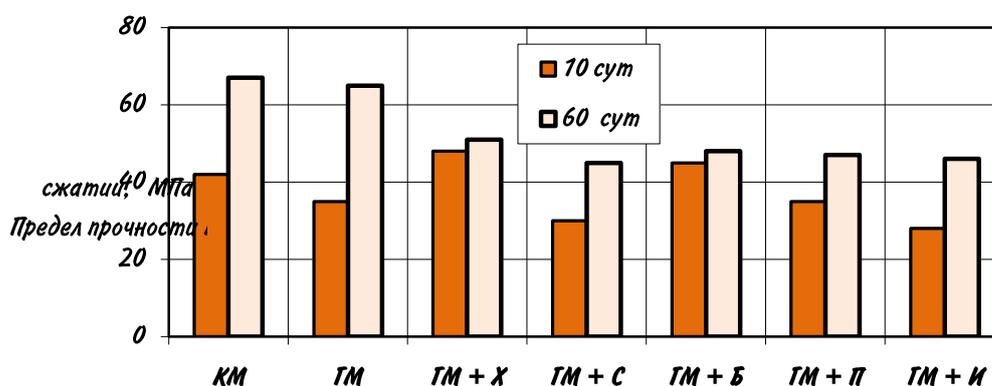
Исследованы композиции из сульфомагнезиального вяжущего и техногенных наполнителей при соотношении компонентов 50: 50, %. В качестве затворителей использованы растворы хлорида и сульфата магния плотностью 1250 кг/м³. Введение техногенного компонента снижает нормальную густоту смешанного вяжущего на 32 – 37 % по сравнению с каустическим магнезитом. Состав раствора соли мало влияет на водопотребность вяжущих. Результаты испытаний (рисунок 5) подтверждают целесообразность композиций: прочностные характеристики большинства составов сопоставимы с показателями каустического магнезита.

Зависимость свойств композиций от вида техногенного компонента невыразительна. Это свидетельствует о сложной взаимосвязи свойств материалов от многокомпонентного состава и микроконгломератной структуры камня. Высокие прочностные показатели трехкомпонентных композиций – результат совместной магнезиально-хлоридной и сульфатной активизации твердения техногенного наполнителя. При этом активность техногенных компонентов определяется их структурными и химическими особенностями и увеличивается с ростом способности к гидролитическому разложению в растворе затворителя. Скорость и степень преобразования минералов регулируются состоянием экранирующих пленок гидратов.

Накопление продуктов гидролиза минералов создает стесненные условия, в результате увеличиваются количество и площадь контактов между частицами, и образуется дисперсионно-коагуляционная структура.



Затворитель – раствор хлорида магния



Затворитель – раствор сульфата магния

КМ – каустический магнезит; **ГМ** – сульфомагнезиальное вяжущее;
Х – отходы обогащения магнетитовых руд; **С** – стеклобой;
Б – бетонный лом; **П** – отсев кварцевого песка; **И** – отсев

Рисунок 5 – Влияние вещественного состава на прочность композиций

Ионы магния, участвуя в формировании такой структуры, обеспечивают кислотно-основное равновесие и образование слабозакристаллизованных гидросиликатов, гидроалюмосиликатов, гидроферритов магния и других комплексов.

Композиции оксихлоридного твердения с техногенными наполнителями, склонные к резкому снижению прочности к 28 сут пребывания в воде, характеризуются последующим упрочнением структуры в средах с повышенной влажностью. Это свидетельствует об участии техногенного компонента, активированного хлоридом магния, в формировании дополнительных гидратных соединений.

Наибольшие значения прочности большинства композиций, твердевших в воздушно-влажностной среде, достигнуты при затворении $MgCl_2$. Замедленная гидратация $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$, обусловленная повышением концентрации MgO и $MgCl_2$, обеспечивает плавный характер кристаллизации $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, способствующий уплотнению и повышению стойкости камня вяжущего.

Сульфомагнезиальные композиции волокнисто-комбинированной структуры (рисунок 6) получали из смешанного вяжущего с содержанием строительного гипса 40 % на основе интегрального заполнителя (древесные опилки, зольная микросфера). Регулирование вещественным составом формовочной массы обеспечивает широкий интервал свойств композитов: средняя плотность 850 – 1450 кг/м³, прочность при сжатии 3 – 40 МПа с учетом состава вяжущего и заполнителя.

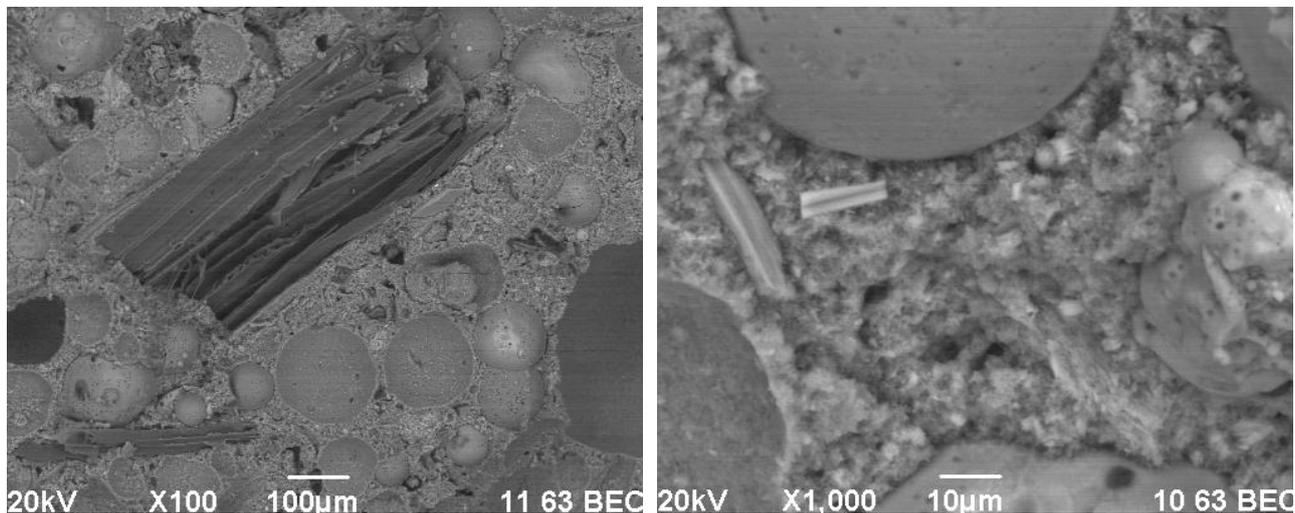


Рисунок 6 – Микроструктура сульфомагнезиальной композиции волокнисто-комбинированного строения

Формовочные массы, содержащие не более 50% заполнителя с преобладанием в нем зольной микросферы, предпочтительны для получения композиций с наибольшей прочностью.

Опробовано семь вариантов приготовления сульфомагнезиальных формовочных масс, отличающихся последовательностью смешения составляющих вяжущего и порядком введения заполнителей различного строения. Выявлена предпочтительность способа, предусматривающего первоначальное приготовление суспензии из сульфомагнезиального вяжущего и солевого затворителя, последующее добавление микросферы; затем введение древесных опилок фракции 0,14 – 0,315 мм.

В результате формируется компактная структура с повышенной прочностью сцепления компонентов (рисунок 6). Способ обеспечивает первичное взаимодействие активных компонентов вяжущего, в суспензии которого поэтапно распределяются частицы наполнителя по мере роста их размера.

Выводы

Многокомпонентный состав сульфомагнезиальных композиций расширяет возможности воздействия на процессы структурообразования за счет изменения рецептуры и реализации различных методов приготовления формовочных масс.

Эффективность сульфомагнезиальных материалов определяется возможностью замены значительной части дефицитного каустического

магнезита строительным гипсом при сохранении характеристик материала.

Установлено активизирующее влияние сульфомагнезиальной композиции на твердение техногенных материалов. Предложены составы комбинированного трехкомпонентного магнезиального вяжущего.

Выявлена повышенная стойкость сульфомагнезиального вяжущего к действию влажных сред, которая обусловлена увеличением доли гидратов, склонных к расширению и обеспечивших уплотнение твердеющей структуры.

Разработанные сульфомагнезиальные композиции могут быть использованы для получения изделий плотной и ячеистой структуры. Эффективны строительные композиции на основе интегрального заполнителя, содержащего пористые частицы различного происхождения и формы.

Список литературы

1 Верещагин В.И., Смирнская В.Н., Эрдман С.В. Водостойкие смешанные магнезиальные вяжущие // Стекло и керамика. 1997. № 11. С. 33 – 37.

2 Xia S., Xing P. and Gao S. Studies on the basic compounds of magnesia cement: the thermal behaviour of magnesium oxychlorides // Thermochemica Acta. 1991. №183. P. 349 – 363.

3 Зырянова В.Н., Бердов Г.И., Верещагин В.И. Физико-химические процессы и технология получения композиционных магнезиальных вяжущих материалов с использованием магнезий-силикатных наполнителей // Техника и технология силикатов. 2010. № 1. С. 15 – 23.

4 Sako E.Y., Braulio M.A.L., Pandolfelli V. C. Microstructural evolution of magnesia-based castables containing microsilica // Ceramics International. 2012. № 38. P 6027 – 6033.

5 Hu C., Xu B., Ma H., Chen B., Li Z. Micromechanical investigation of magnesium oxychloride cement paste // Construction and Building Materials. 2016. № 105. P. 496 – 502.

6 Gu K., Jin F., A.-Tabbaa A., Shi B. Activation of ground granulated blast furnace slag by using calcined dolomite // Construction and Building Materials. 2014. № 68. P. 252 – 258.

7 Miryuk O.A. Properties of magnesium composite materials based on technogenic raw materials // Journal of Engineering and Applied Sciences .2018. Vol. 13. №. 2. P. 545 – 558.

8 Горбачева М.И., Игнатов В.И., Рябов Г.Г., Бородкин Н.Н. Композиционное водостойкое вяжущее на основе полуводного гипса // Строительные материалы. 1987. № 5. С. 26 – 27.

9 Плеханова Т. А., Яковлев Г. И. Магнезиального вяжущее, модифицированное сульфатными добавками // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2006. № 3 – 4. С. 34 – 35.

10 Мирюк О.А. Смешанные магнезиальные вяжущие. LAPLAMBERT Academic Publishing. 2014. 128 с

**ТОПИНАМБУР И ПРОДУКТЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ В
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЯСНЫХ ПРОДУКТАХ**

**JERUSALEM ARTICHOKE AND PRODUCTS THEREOF IN FUNCTIONAL
MEAT PRODUCTS**

Кадирова А.М.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

[*kadirova_asem@mail.ru*](mailto:kadirova_asem@mail.ru)

Kadirova A.M.

RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: В настоящее время рынок обогащенных продуктов, в том числе и мясных, расширяется чаще за счет использования зарубежных пищевых добавок, в т.ч. синтетического происхождения. Вместе с тем, топинамбур, как экологически чистая растительная культура, может стать достойной заменой импортным пищевым добавкам. Многочисленными исследованиями ученых показано, что использование в качестве инулиносодержащего сырья топинамбура обосновано его медико-биологическими свойствами.

Ключевые слова: топинамбур, питание, функциональные продукты, мясные продукты

Abstract: Currently, the market of enriched products, including meat, is expanding more often due to the use of foreign food additives, including synthetic origin. However, Jerusalem artichoke, as an environmentally friendly plant culture, can be a worthy replacement for imported food additives. Numerous studies of domestic scientists have shown that the use of Jerusalem artichoke as an inulin-containing raw material is justified by its medical and biological properties.

Key words: jerusalem artichoke, food, functional products, meat products

В «Концепции обеспечения продовольственной безопасности РК до 2030 года» поставлена задача формирования здорового питания. Для этого необходимо осуществление научных исследований по медико-биологической оценке безопасности новых источников пищи и ингредиентов, внедрение инновационных технологий и увеличение производства обогащенных, диетических и функциональных пищевых продуктов.

В настоящее время довольно актуально изучение возможности использования нетрадиционных растительных компонентов с высокой пищевой и биологической ценностью, в частности топинамбура, которые придают мясным продуктам диетические и функциональные свойства.

В топинамбуре достаточно много сухих веществ (до 20 %), среди них до 80 % – инулина. От других овощей он отличается уникальным углеводным комплексом на основе фруктозы и ее полимеров: фруктоолигосахаридами и инулином.

В топинамбуре содержится клетчатка и большое количество минеральных элементов, в том числе (мг % на сухое вещество): железа – 10,1, марганца – 44,0, кальция – 20, магния – 12, калия – 200, натрия – 3 (таблица 1). В этом овощном растении активно аккумулируется кремний из почвы (в клубнях его содержится до 8 % в расчете на сухое вещество). По количеству железа, кремния и цинка, а также витаминов В₁, В₂ и С этот овощ превосходит картофель, морковь и свеклу.

В состав клубней топинамбура входят также белки, пектин, аминокислоты, органические и жирные кислоты. В них содержится до 11 % пектиновых веществ от массы сухого вещества.

Существенное отличие топинамбура от других овощей – большое количество в его клубнях белка (до 3,2 % на сухое вещество), представление его 8 незаменимыми аминокислотами: аргинином, валином, гистидином, изолейцином, лейцином, лизином, метионином, триптофаном и фенилаланином.

Топинамбур рекомендуют употреблять в пищу при атеросклерозе, гипертонии, ишемической болезни, тахикардии, подагре, мочекаменной болезни, цистите, туберкулезе, лейкозе, анемии, панкреатите. При систематическом его применении снижается уровень сахара в крови и улучшается зрение [1, 2].

Инулин – единственный природный полисахарид, состоящий на 95 % из фруктозы. В желудке инулин не усваивается, часть его в кислой среде желудочного сока распадается на короткие фруктозные цепочки и отдельные молекулы, которые проникают в кровь. Его оставшаяся часть быстро выводится, связывая вредные для организма вещества: тяжелые металлы, радионуклиды, кристаллы холестерина, жирные кислоты.

Кроме того, инулин стимулирует сокращение стенок кишечника, что заметно ускоряет очищение организма от шлаков, непереваренной пищи и вредных веществ. Он является хорошим средством при дисбактериозах кишечника различного происхождения. Использование инулина как пищевой добавки стимулирует синтез витаминов и активизирует иммунные механизмы защиты. В экспериментах на животных установлен его противоопухолевый эффект [3].

Следует заметить, что топинамбур дает большой урожай зеленой массы, используемой на корм животным, а также клубней, применяемых для получения продуктов здорового питания, биоэнергетических и фармацевтических целей [4].

При разработке специализированных мясных и мясорастительных продуктов мы использовали свежие клубни топинамбура, сухой порошок и инулин импортного производства. Трудности в работе с клубнями топинамбура связаны с их сложной конфигурацией и предварительной обработкой, а также необычным вкусом. Сухой порошок имеет более выраженный специфический привкус, что ограничивает его введение в рецептуру (не более 3-4 %).

Таблица 1 – Физико-химический состав топинамбура

Нутриенты	Количество	Норма	% от нормы в 100 г	% от нормы в 100 ккал	100% нормы
Калорийность	61 кКал	1684 кКал	3.6%	5.9%	2761 г
Белки	2.1 г	76 г	2.8%	4.6%	3619 г
Жиры	0.1 г	56 г	0.2%	0.3%	56000 г
Углеводы	12.8 г	219 г	5.8%	9.5%	1711 г
Витамины					
Витамин А, РЭ	2 мкг	900 мкг	0.2%	0.3%	45000 г
Бета Каротин	0.012 мг	5 мг	0.2%	0.3%	41667 г
Витамин В1, тиамин	0.07 мг	1.5 мг	4.7%	7.7%	2143 г
Витамин В2, рибофлавин	0.06 мг	1.8 мг	3.3%	5.4%	3000 г
Витамин В4, холин	30 мг	500 мг	6%	9.8%	1667 г
Витамин В5, пантотеновая	0.397 мг	5 мг	7.9%	13%	1259 г
Витамин С, аскорбиновая	6 мг	90 мг	6.7%	11%	1500 г
Витамин Е, альфа токоферол, ТЭ	0.2 мг	15 мг	1.3%	2.1%	7500 г
Макроэлементы					
Калий, К	200 мг	2500 мг	8%	13.1%	1250 г
Кальций, Са	20 мг	1000 мг	2%	3.3%	5000 г
Кремний, Si	8 мг	30 мг	26.7%	43.8%	375 г
Магний, Mg	12 мг	400 мг	3%	4.9%	3333 г
Натрий, Na	3 мг	1300 мг	0.2%	0.3%	43333 г
Фосфор, Ph	78 мг	800 мг	9.8%	16.1%	1026 г

Инулин, который получают из топинамбура, – белый, сладковатый порошок. Его применяют в мясных продуктах, он не оказывает заметного влияния на органолептические и реологические показатели. За рубежом в низкокалорийных колбасных и других мясных изделиях при низком уровне содержания жира используют 5-7 % инулина.

Сдерживающим фактором его широкого применения в нашей стране является отсутствие отечественной продукции. Импортный инулин, который поступает на наш рынок и в основном используется в молочных продуктах детского и функционального питания, получают из цикория, и он дорого стоит.

Специалисты лаборатории технологии детских, лечебно-профилактических и специализированных продуктов обосновали состав различных композиций смесей нутрицевтиков с инулином для применения их в продуктах на мясной основе.

При разработке композиций, обладающих очищающим эффектом [5], авторы установили, что в условиях хронической интоксикации тяжелыми металлами нерастворимые пищевые волокна, такие как пшеничная, соевая клетчатка, свекловичное волокно, микроцеллюлоза (МКЦ), в составе мясного

сырья хорошо выводят соли свинца и кадмия из всех тканей и органов лабораторных животных. Однако при этом из костей выводится кальций, снижается содержание гемоглобина в крови, что свидетельствует об удалении из организма солей железа, а это крайне нежелательно для нормального функционирования организма.

Включение в состав композиции инулина или животного белка коллагена в виде препарата ТИПРО позволило не только исключить потери кальция и железа, но и повысить уровень выведения тяжелых металлов с одновременным обогащением продукта.

Учеными НИИ было сформировано 8 опытных групп животных (по 10 крыс в каждой группе). Контрольным группам скармливали обычный рацион (15 г каши, 10 г комбикорма в сутки). Каждой крысе опытной группы давали 5 г испытуемого образца в день, перемешивая его с 10 г каши.

Группа 1.1 получала смесь мясного фарша и пищевых волокон (пшеничная клетчатка и коллагеновый белок ТИПРО); группа 1.2 – смесь мясного фарша и пищевых волокон (пшеничная клетчатка и инулин); группа 1.3 (контроль 1) – обычный рацион.

Группе 1.4 скармливали смесь мясного фарша, пищевых волокон (пшеничная клетчатка и ТИПРО) и витаминно-минеральный комплекс (БАД). Он включал в себя следующие ингредиенты: минеральный обогатитель из скорлупы куриных яиц, витамины (В₁, В₂, РР, С), красное пальмовое масло Carotino как природный источник каротиноидов, токоферолов, селенсодержащий препарат Селен-актив.

Группа 1.5 получала смесь мясного фарша, пшеничной клетчатки (Витацель) и БАД; группа 1.6 – смесь мясного фарша, пищевых волокон (Витацель, инулин) и БАД; группа 1.7 – мясной фарш; группа 1.8 (контроль 2) – обычный рацион.

В корм всем группам добавляли растворы солей тяжелых металлов (сульфат кадмия, цитрат свинца) из расчета 1/100 LD 50 для крыс: сульфат кадмия – 0,6 мг/кг, цитрат свинца – 1,17 мг/кг.

Результаты исследования крови лабораторных животных, свидетельствуют о том, что для первой серии опыта самый высокий уровень гемоглобина был в группе 1.2, в группе 1.1 – на уровне контроля. Высокий уровень гемоглобина в крови подтверждается и повышенным содержанием железа в мышечной ткани животных, получавших инулин.

Самый низкий гемоглобин отмечен в группе 1.4. Как и в первой серии опытов, уровень гемоглобина в образце с инулином был выше, чем с животным белком.

Обогащение мясного продукта пищевыми волокнами значительно повышает уровень выведения тяжелых металлов из организма животных, причем эффективность инулина выше животного белка, и оба они превосходят нерастворимые пищевые волокна.

Дополнительное введение витаминно-минерального комплекса позволяет усилить очищающие свойства пищевых волокон. В мышечной ткани животных всех опытных групп свинец практически отсутствовал. В печени уровень

свинца в сравнении с контролем снижался в группе 1.1 на 27 %, 1.2 – на 54 %, а уровень кадмия – соответственно на 81 % / 93 %.

При обогащении смеси мясного фарша и пищевых волокон аналогичного состава витаминно-минеральным комплексом (группы 1.4 и 1.6) свинца становилось меньше соответственно на 62 % и 9; кадмия – на 75 % и 97 % в сравнении с контролем.

Самый высокий уровень накопления тяжелых металлов был в группе 1.7. Это свидетельствует о низкой сорбционной способности мяса и необходимости его дополнительного обогащения пищевыми волокнами и витаминно-минеральным комплексом для усиления очищающих свойств продукта.

Количество кальция в кости в группе 1.2, получавшей фарш с пшеничной клетчаткой Витацель и инулином, выше, чем в контроле, на 22 %, а для группы 1.1, которой скармливали фарш с Витацелью и животным белком ТИПРО – всего на 5,0 %.

Кроме того, 10 % инулина входит в состав «Белково-минерального обогатителя БМО (ТУ 8213-007-00419779-10), используемого в продуктах для пожилых людей, предрасположенных к заболеваниям опорно-двигательного аппарата.

Для использования комплексных добавок разработана техническая документация при выработке консервов, полуфабрикатов, колбасных изделий. Инулин входит также в состав рецептур «Блюда обеденные вторые с мясом страуса быстрозамороженные для детского питания» (ТУ 9165-970-00419779-08). В технической документации на «Консервы мясорастительные из мяса кролика и птицы с овощами для питания детей» (ТУ 9217-934-00419779-07) предусмотрено применение свежего топинамбура (6-8 %) и сухого (2-3 %). Введение сухого топинамбура рекомендуется в консервы для беременных и кормящих женщин (ТУ 9217-357-00008064-2001), рубленые мясные полуфабрикаты – котлеты и биточки низкокалорийные детские (ТУ 9214- 786-00419779-2003), консервы на мясной основе для энтерального питания детей (ТУ 9217-868-00419779).

Промышленный выпуск высококачественного топинамбура и продукта его переработки – инулина – будет способствовать решению задач по увеличению объемов производства продуктов детского, диетического и функционального назначения, поставленных в «Концепции обеспечения продовольственной безопасности РК до 2030 года».

Список литературы

1 Пасько Н.М Топинамбур – биотехнологический потенциал для пищевых, лечебных, технических, кормовых и экологических целей. // Спецвыпуск «ЮГАГРО-2011».

2 Рсшетняк Л.А. Топинамбур в оздоровительном и лечебном питании. / Материалы Международной научно-практической конференции «Топинамбур – многофункциональная биотехнологическая культура XXI века», М. – 2011.

3 Шендер Б.А. Современное состояние и перспективы развития концепции Функциональное питание // Пищевая промышленность, 2003. № 5.

4 Кочнев Н.К. Биопотенциал культуры топинамбур. / Материалы Международной научно-практической конференции «Топинамбур — многофункциональная биотехнологическая культура XXI века», М. – 2011.

5 Устинова А.В., Белякина Н.Е, Хвыля С.И., Сурнина А.И., Мотылина Н.С., Бокова Е.М. Медико-биологическая оценка диетических свойств пищевых волокон. // Мясная индустрия, 2008.

УДК 622.2:533.3

3D-QUARRY: IMPROVING THE EFFICIENCY OF MINING-METALLURGICAL COMPLEXES BASED ON DIGITAL PROCESSING OF SEMI-STRUCTURED DATA MODEL

3D-КАРЬЕР: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ

Zarubin M., Ybytayeva G.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

zarubin_mu@mail.ru

Зарубин М., Ыбытаева Г.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

Abstract: The article deals with the problems of building a digital geological model of fourth-generation mineral systems. The places and causes of errors in the digital model of the deposit, and methods of their minimization are considered. The problems of transformation of information on the deposit into structured data models are revealed. The data structure based on the presentation of semi-structured data is developed. The structure is adapted for a relational DBMS and oriented for use in a Web application.

Key words: digital models, quarry, database, semi-structured data, information systems, deposit.

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы цифровых геологических моделей геоинформационных систем 4 поколения для горно-металлургического комплекса. Приведены причины и места возникновения погрешностей при преобразовании информации при цифровом моделировании месторождений. Показаны проблемы хранения информации в структурированном виде в геоинформационных системах проектирования месторождений полезных ископаемых. Разработана структура данных основанная на использовании слабоструктурированных моделей данных. Предложенная структура адаптирована для использования в реляционной СУБД, ориентированной для Web-приложений.

Ключевые слова: цифровая модель, карьер, база данных, слабоструктурированные данные, информационные системы, месторождения.

Introduction

The beginning of the 21st century was marked by explosive development of information technologies and active digitalization of all aspects of human activity. Mining is no exception. The level and complexity of digital control systems for mining over the past decade has changed dramatically. The introduction of digital solutions has led to a change in the activities of mining companies, and to a natural increase in their productivity. Modern programs for open-pit mining belong to the third generation and are characterized by the developed tools of 3D geometric modeling and visualization, the programs combine the functions of optimizing the main processes.

However, at present, productivity growth in the mining industry has slowed significantly, as mining companies use information technology to improve individual processes, and not the whole production. Enterprises continue to spend efforts to automate old methods instead of upgrading and improving them. A new, fourth generation of information technologies, which is now being formed, should provide a dynamic improvement in productivity.

But for the total optimization of processes it is necessary to have comprehensive and reliable information, both about the processes themselves, and about the developed field, its structure. The understanding of such processes is based on the concept of "geological model". It should be noted that the concept of the geological model has not yet been formalized.

In the most commonly used understanding, a geological model is a volume imitation of a field stored in a computer memory as a multidimensional object, allowing to investigate and predict the processes occurring during the development in the volume of the field, continuously refined based on new data throughout its operation.

The founders of the theory of geological models in the subsoil were: D. Krige, H. Davis, J. Serra, M. David [1], I. Clark [2], G. S. Koch, Jr., Richard F. Link [3], P. Goovaerts [4], I. B. Tabakman.

In the Russian-language scientific environment the most famous works of Yu. E. Kaputin, M.V. Lesonen, M. S. Sen [5]. The principles of optimization are given in the works of O. V. Stagurova [6]. In the works of A. A. Tverdova, A. V. Zhur [7] carried out an analysis to identify the advantages of the career optimization method based on block models relative to traditional methods used in the Russian Federation.

In Kazakhstan, the issues of digital modeling of deposits were consecrated in the scientific works of K. Kh. Rakishev, A.I. Ivlev, A.F. Tsekhov, D.G. Bukeikhanov and many others.

However, recent studies have established a rapidly growing discrepancy between the true heightened level of complexity of the geological structure of the fields being developed and the simplified concepts of traditional geological exploration, oriented to large deposits with simple averaged parameters.

Methods

In work classical theoretical, mathematical and experimental methods of scientific research has been used. From classical methods used: analysis of the state of design methods for mining, analysis of modern digital systems and algorithms used, analysis of control systems based on artificial neural-like networks and analysis of semi-structured data.

In the development of digital models of deposits, the mathematical and logical apparatus of the theory of artificial neural networks, probability theory-the semi-structured data, methods of discrete mathematics and integer programming used. It also assumes the use of modern programming environments using web- languages.

At the stage of assessing the adequacy of the developed models and systems, the use of methods for planning and setting up experiments, as well as statistical processing of the experimental data, is assumed.

To determine the error of the input data at the inputs and outputs of models, the correlation regression analysis method applied.

Results and discussion

These discrepancies began to accumulate due to the depletion of rich surface deposits and the need to develop deep deposits with a complex spatial morphology of the boundaries of mineral deposits.

The degree of "adequacy" of geological models is determined primarily by the volume and accuracy of empirical data, the completeness of the use of a priori information, as well as algorithms and methods used in the construction of models.

The causes of inaccuracies in modern geological models can be:

- mismatch of initial data volumes with the size of the Deposit and the complexity of its geological structure;
- low accuracy of initial data;
- inconsistency of modeling algorithms with the volume and accuracy of empirical data;
- a false conceptual model.

At the same time, we should not forget about the use of different units at different stages of field research. When evaluating the field, we use tens, and often even hundreds of meters: when evaluating the location of wells – meters, when evaluating cores – centimeters, microsection – millimeters. Naturally, it also generates systematic errors and loss of accuracy. Although modern automatic measuring systems and positioning systems "try" to reduce these errors to a minimum.

To improve the accuracy in the area of occurrence of mineral resources, firstly, use the methods of hole mesh compaction.

Secondly, in the majority of modern information systems a method of spatial modeling is implemented according to the testing of exploratory boreholes with the possibility of specifying the parameters of ore body placement according to geophysical studies or vice versa [8].

In modern conditions of the state of computing systems, it is possible to refine models based on the results of deposit development, for example, on mining of sides. Although this requires either recalculation of the entire previously created model or

the use of “flexible” modeling mechanisms. So now, for example, in most oil and gas companies they are already actively applying the principles of support and updating geological models at all stages of field development. There is a legitimate question why this is not applicable for other types of deposits.

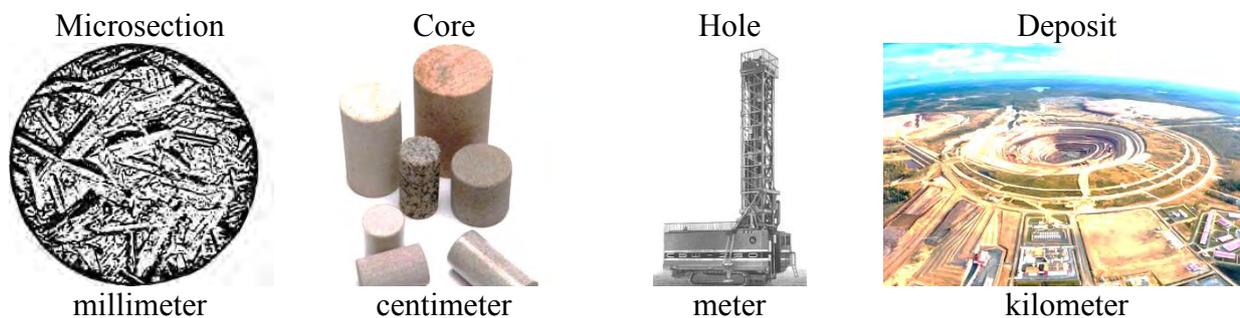


Figure 1 – Units of measure for the elements of the formation of the model of the deposit

The fourth way to improve the adequacy and accuracy of the field model are the methods of paleogeographic reconstruction of the deposit. However, the methodology of paleogeography as a geographical science is under development. There are no monographic studies in this scientific field. Separate articles in Russian-language literature devoted to theoretical and methodological issues in different years were published by M.F. Beklich, A.A. Velichko, K.K. Markov, A.A.Svitoch, Yu.G. Simonov, N.G. Sudakova and etc.

However, neither EurAsEC nor abroad found published generalizing theoretical works that would consider the methodology of paleogeography from a geographical position [9].

Currently, in digital systems to solve the problems of paleographic reconstruction using, as a rule, neural network methods or "closed" algorithms built on the basis of sequestration-stratigraphy and tectonic models

Naturally, the interpolation of exploration data, taking into account geophysical methods, reconstruction and refinement in the process of mining, can significantly improve the accuracy and adequacy of the model.

However, the construction of such a model of the field is associated with a number of problems of new problems. So the explosive development of information technologies forces the enterprises to constantly introduce more and more new methods and approaches to optimize production and enrichment. At the same time, given the diversity and heterogeneity of the tasks being solved by a modern industrial facility, the formation of optimization indicators has to be approached on the basis of a multi-criteria analysis with maximum consideration for the specifics of the production in question.

A characteristic feature of recent decades in the development of digital systems of mineral of the 21st century has been the emergence of new methods and data processing algorithms.

This gives rise to the constant emergence of new, previously unforeseen by the

developers of the software data, parameters and values of the simulation objects. Naturally, this also generates a permanent change in the structures of the software databases.

The problems of constant modification of data structures can be reduced to the problems of presenting semi-structured data. Currently, data that is poorly structured is for which the exact structure is not known in advance or may change during use. Naturally, their analysis requires the use of both their own presentation models and processing algorithms, which is in bad agreement with the most common relational DBMS.

According to [10], there are four most significant systems of initial data representation: a tabular method, a method of representing data by multisets, a phase trajectory method, and a procedural representation.

Due to the fact that the implementation of the system still has to rely on the available DBMS, it was decided to partially structure the data and implement the data warehouse based on the tabular method.

For the formation of an adequate geological model, as a minimum, geodata is required, which were preliminarily recorded in essence:

- deposit;
- hole;
- core.

Thus, the structure of the data model for the exploration geological data for the field can be represented by the structure as in Figure 2.

For ease of presentation, the field model does not display domains by date/time of data modification/entry, data owner, and who entered them.

To be able to refine the model based on geophysical research methods or to substantiate the well grid, a structure for storing and analyzing the results of these studies is necessary. Research results are usually presented in the form of 2D or 3D maps (sections).

The problem is that currently using various methods of geophysical research: magnetic, gravitational, electrical, seismic, radioactive and geophysical research methods in holes. And each of these methods gives a different accuracy of the study. For example, seismic research methods and magnetic exploration work with clusters of a minimum size of ± 5 meters [11], and radiometric can be produced in increments of up to 10-20 centimeters [12].

All geophysical methods of exploration are based on the fact that ore bodies and the surrounding rocks, having different physical properties, either create around themselves in space physical fields that differ from the environment, or react differently to different, artificially created physical phenomena. Accordingly, the analysis can be reduced to the allocation in the space of a deposit of clusters with the same properties and putting them in accordance with various minerals.

Since for most studies the results are obtained in the form of analog values, an important criterion for the selection of clusters is the choice of the sampling step. Since algorithms for finding an optimal step is not detected, it is decided about the manual step

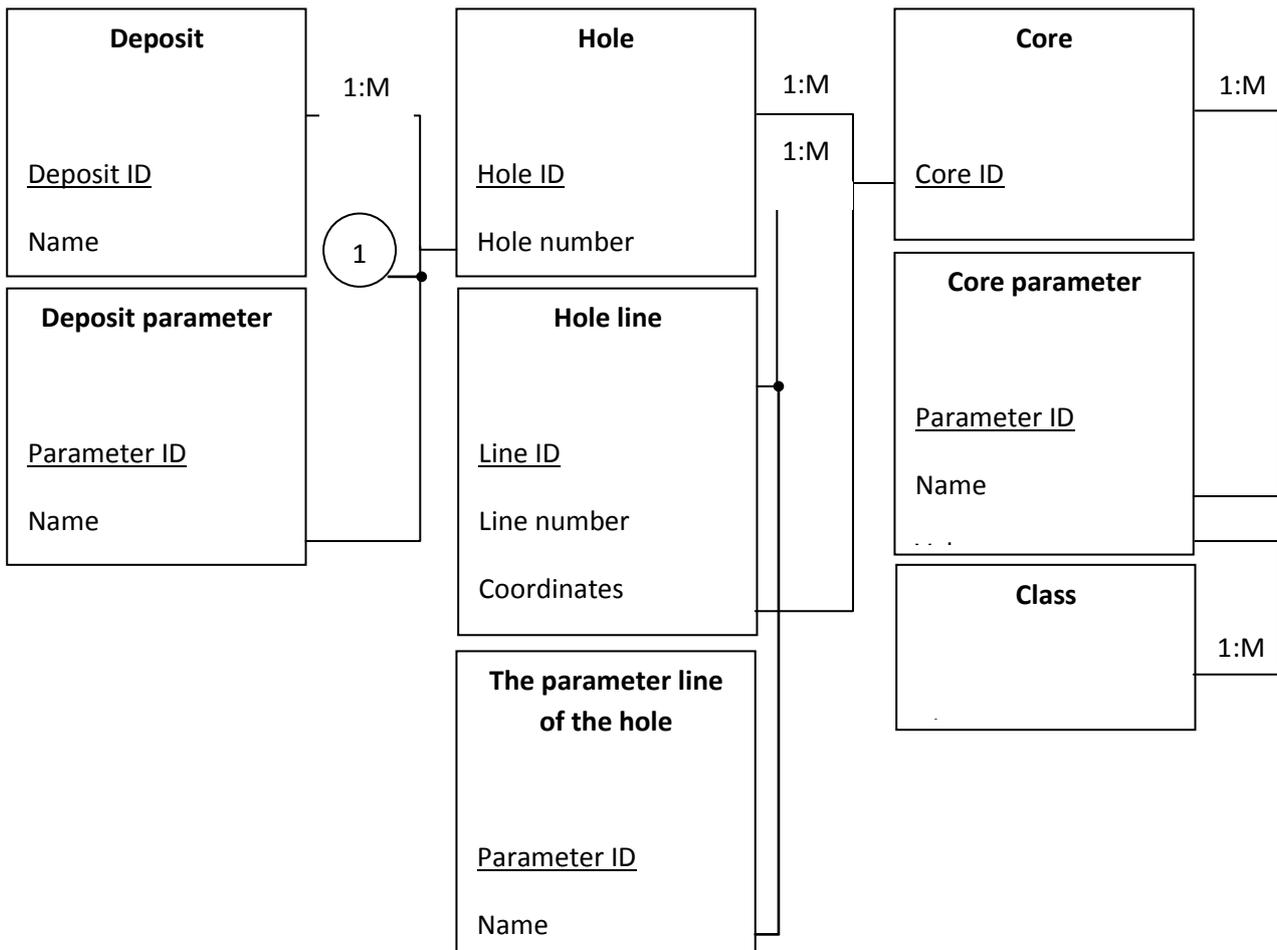


Figure 2 – Fragment of the datalogical model based on the geological data of the deposit

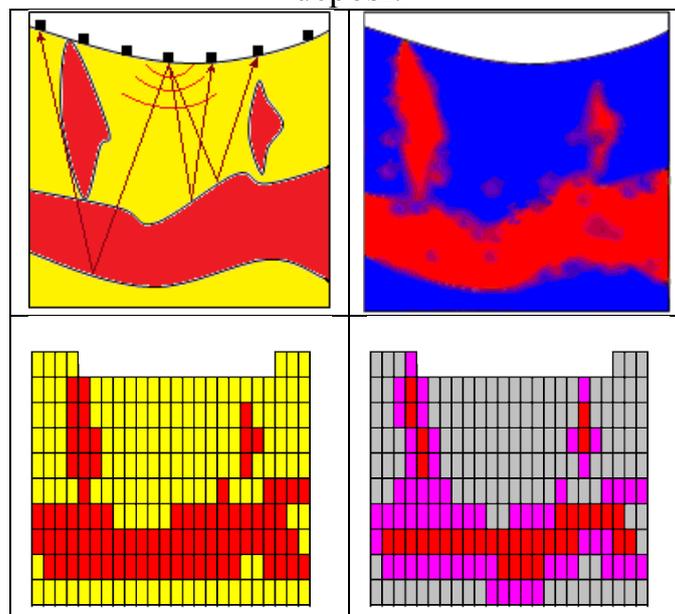


Figure 3 – Representation of geophysical research methods (seismic and magnetic) and their digitization for geological model

For simplicity of presentation the structure of a decision on the presentation of the results in the form of parallelepipeds with dimensions specified by X_b , Y_b , Z_b .

Thus, a fragment of the datalogical model for the results of geophysical studies can be represented as a 3D model (Figure 4).

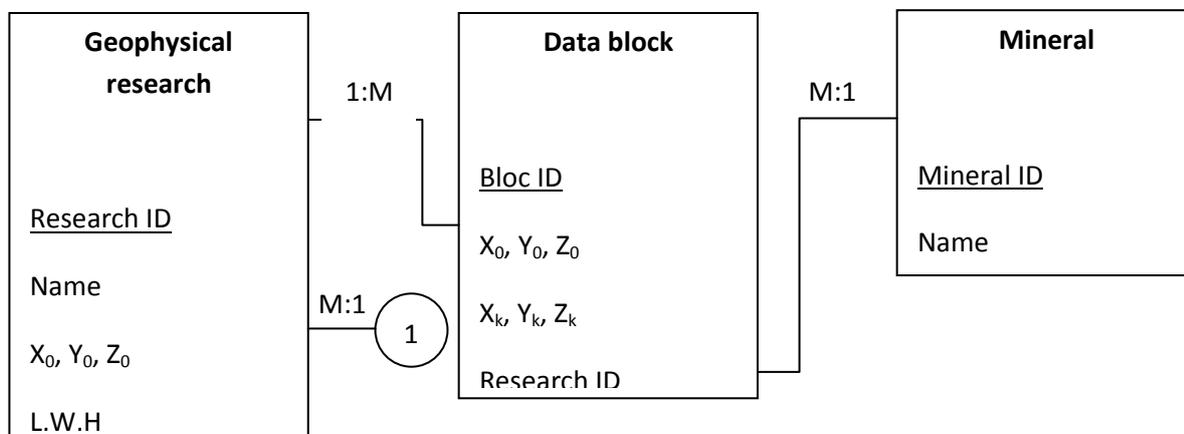


Figure 4 – Fragment of the datalogical data model for geophysical research of the deposit

In the presented fragment of the datalogical model, for ease of presentation, the structure for storing research documents is not presented.

To implement the mechanisms of paleogeographic reconstruction, a data structure based on data from sequestrant stratigraphy and a tectonic deformation model of the field is required.

Taking into account the above requirements, it is still more rational to use a geological model built on the basis of a unified block model. To present the following restrictions to it:

- use a fixed and uniform for the whole model size and shape of the blocks;
- use the effect of subunits only when necessary for individual mining sites (through the use of additional models of sites);
- to lay the possibility of expanding the number of simulated parameters (strength, fracturing, the content of several useful components, their enrichment for a specific consumer, the content of several components of harmful impurities, etc.).

In this case, the model can be represented by a number of interrelated entities:

- model (the model name, the initial coordinates of the model, the final coordinates of the model, the dimension of the blocks of the model);
- design parameters of the model (the parameter name, the value, the unit of measurement);
- data block (the initial coordinates of the block, the final coordinates of the block);
- block parameter (the parameter name, the parameter value, the parameter class).

For the convenience of describing the components of the block, it is advisable to select a table with a description of the classes of the components of the block (mineral, harmful impurity, etc.).

Due to the fact that more than 90% of the DBMS are relational, the development of datalogical and physical models is currently still more efficient to perform in this form, although you can use nonrelation DBMS. The datalohic model can then be represented by a diagram as in Figure 5.

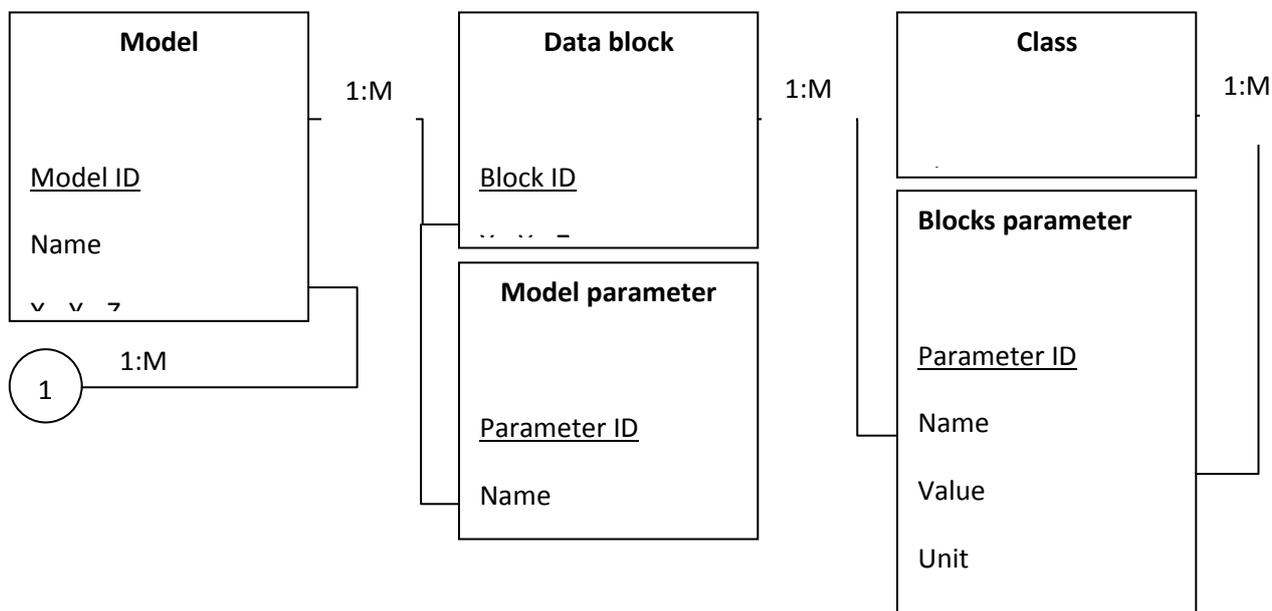


Figure 5 – Datalogical model

In the framework of the project [13], for the implementation of a data warehouse, an analysis of freely distributed web-based DBMS was carried out. It was decided to reject the use of proprietary DBMS immediately for commercial reasons. The analysis of the compliance of the capabilities of the DBMS made it possible to identify and select the relational DBMS MySQL as one of the most common for web projects.

In connection with the preparation of security documents for the developed system, the full physical structure of the database implemented in the MySQL DBMS is not disclosed in this article.

Scientific results can be applied by domestic and foreign mining-metallurgical enterprises engaged in extraction of minerals by the open method, which have a need for operational forecasting of the results of the implementation of mining projects and their adjustment taking into account the volatile market situation in real time.

References

- 1 David M. Geostatistical ore reserve estimation. – The 1st edition. – New York: Elsevier Science, 1982. – 384 p.
- 2 Clark I. Harper W.V. Practical Geostatistics. – Maimi: Ecosse North America Llc, 2000. – 442 p.
- 3 Koch G.S. Jr., Link R.F. Statistical analysis of geological data. – Mineolla: Dover Publications, 2002. – 832 p.
- 4 Goovaerts P. Geostatistics for natural resources evaluation. – Oxford: Oxford University Press, 1997. – 483 p.

5 Lesonen M.V., Sen' M.S. // Ispol'zovaniye blochnoy modeli dly atekhniko-ekonomicheskoy otsenki mestorozhdeniy TPI (naprimer eotkrytogo sposoba obrabotki). – Nedropol' zovaniye XXI vek. – 2010. – № 3. – PP. 42–45.

6 Stagurova O.V. // Algoritm Lercha-Grossmana v zadacheopredeleniya granitskar'yera v yego predel' nompolozhenii. – Nedropol'zovaniye XXI vek.- 2010. – № 6. PP. 38–42.

7 Tverdov A.A., Zhura A.V., Nikishichev S.B. // Sovremennyye metod icheskiye podkhody k opredeleniy u granit sotkrytykh gornyykh rabot. – Ugol'. – 2009. – № 2. – PP. 21-23.

8 Basargin A.A. Sozdaniye tsifrovyykh modeley mestorozhdeniya poleznykh iskopayemykh s primeneniyyem sovremennykh tekhnologiy.- Interekspo Geo-Sibir'. – 2015.- № 1. – PP. 15-20.

9 Kopytin A.S. Rol' stratigrafii v izuchenii veshchestvenno-strukturnykh neodnorodno steyslozhnodislotsirovannykh metamorficheskikh kompleksov.- Gidrotekh nicheskoy estroitel'stvo. – 2006. – № 3. – PP. 13-19.

10 Khachumov M.V. Modeli redstavleniyai klasterizatsi islabo strukturirovannoy informatsii. – Iskusstvennyy intellect i prinyatiy eresheniy. – №4. – 2013. – PP. 62-71

11 Khasanov D.I. Magnitorazvedka: posobiye dly asamostoyatel' nogoizucheniya dlya slushateley kursov povysheniya kvalifikatsii spetsial'nosti «Geofizika». – Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy yuniversity, 2009. – 75 p.

12 Yugin V.V., Agachev V.A., Shagidullin R.R., Myasnikov I.F. Trekhmernoye issledovaniy estrukturny geotermiches kogopolya metodom kosmicheskoy distantsionnoy termorazvedki. – Geologiya i okhrananedr. – 2016. – № 1 (58). – PP. 58-67.

13 Zarubin M., Zarubina V., Fionin E., Salykov B., Salykova O. Digital system of quarry management as a SaaS solution: mineral deposit module. – Mining . – of Mineral Deposits. 2019. – 13. – PP. 91-102.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ**

**RESEARCH OF REFRACTORY MATERIALS BASED ON ALUMINUM
AND SILICON OXIDES**

*Алипбаев А.Н.¹, Сулейменова М.Ш.¹, Молдагазыева Ж.Ы.¹, Азимова С.Т.¹,
Алтынбаева Г.К.²*

¹*Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,*

²*Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,*

alтынбаева_g@mail.ru

*Alipbaev A.N.¹, Suleimenova M.Sh.¹, Moldagazyeva Zh.Y.¹, Azimova S.T.¹,
Altynbayeva G.K.²*

¹*Almaty technological University, Almaty, Kazakhstan,*

²*Rudny industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,*

Аннотация: В работе приведены результаты исследований огнеупорных материалов на основе оксидов алюминия и кремния в реакторе высокого давления. Для получения композитов с высокими техническими характеристиками и увеличения реакционной способности исследуемых систем использовали самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) в широком диапазоне соотношения компонентов и давлении азота от 5 до 20 атмосфер. Установлены закономерности влияния давления азота на температуру горения, прочность и изменение массы синтезируемого композита.

Ключевые слова: огнеупорные материалы, оксиды алюминия, оксиды кремния, синтез.

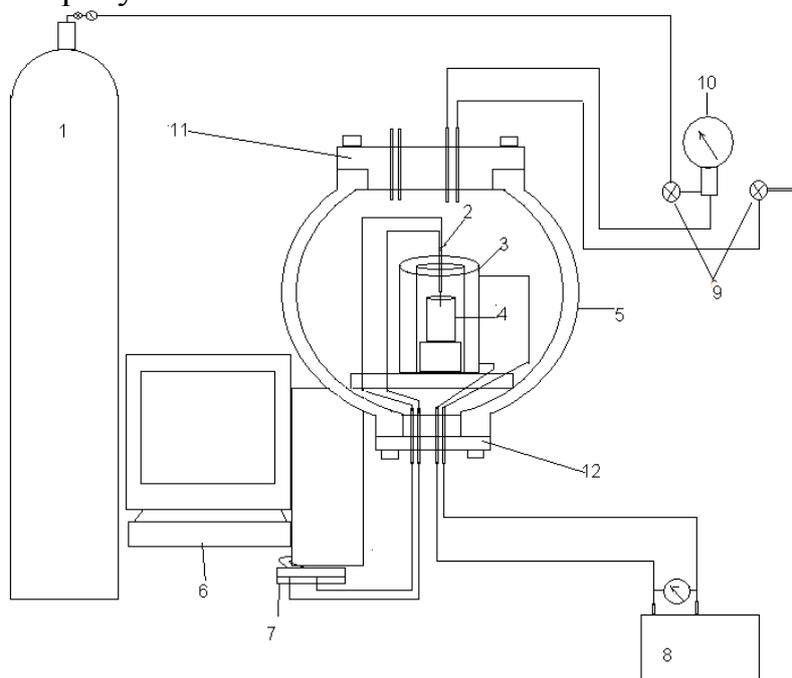
Abstract: The paper presents the results of studies of refractory materials based on aluminum and silicon oxides in a high pressure reactor. To obtain composites with high technical characteristics and increase the reactivity of the studied systems, self-propagating high-temperature synthesis (SHS) was used in a wide range of the ratio of components and nitrogen pressure from 5 to 20 atmospheres. The regularities of the effect of nitrogen pressure on the combustion temperature, strength and mass change of the synthesized composite are established.

Key words: refractory materials, aluminum oxides, silicon oxides, synthesis.

В науке и технике широко применяются керамические и композиционные материалы на основе оксидных, нитридных и карбидных соединений алюминия, титана, кремния. Это обусловлено распространенностью этих элементов в природе и образованием большого числа термодинамически устойчивых соединений с ковалентным типом химической связи [1-3]. Однако, синтез тугоплавких соединений и изделий из них сопряжен со значительными материальными затратами. В то же время, процессы СВС протекают достаточно быстро и требуют значительно меньших затрат энергии (особенно

для высококалорийных систем при локальном инициировании), отличаются безотходностью производства. В связи с этим использование СВС делают технологии ресурсосберегающими и экологически безопасными [4-6]. В основе традиционных технологий получения огнеупоров лежат медленно протекающие химические процессы при высоких температурах. В связи с этим все исследования, направленные на ускорение производства огнеупоров актуально и востребовано. Одним из перспективных способов является применение этилсиликата как связующего, который при взаимодействии с водой, образует коллоидный раствор тончайшей взвеси твердого материала в жидкости для смешивания с пылевидным кварцем.

Для проведения СВ-синтеза в условиях высокого давления азота была изготовлена исследовательская установка РВД (реактор высокого давления) представленная на рисунке 1.



- 1 – баллон с азотом, 2 – термопара, 3 – трубчатая нагревательная печь, 4 – образец, 5 – корпус реактора, 6 – компьютер, 7 – системы сбора данных LTR-U-1, 8 – трансформатор, 9 – впускной и выпускной вентили, 10 – манометр, 11 – верхняя крышка реактора, 12 – нижняя крышка реактора

Рисунок 1 – СВС-реактор высокого давления

Установка состоит из металлического корпуса реактора толщиной 80 мм и емкостью 45 литров, имеющего верхнюю и нижнюю крышки, которые крепятся болтами. Для термопарных выводов и подачи электроэнергии в крышках установлены токоподводные штуцеры. Подача и выпуск газа осуществляется через быстроразъемные соединения, установленные на верхней крышке. Для увеличения концентрационных пределов проведения СВ-синтеза внутри реактора размещена трубчатая нагревательная печь, позволяющая предварительно нагреть исследуемый образец до 1000⁰С. Скорости горения в данном случае не измерялись.

Для определения теплофизических и прочностных характеристик готовились образцы в виде цилиндров с диаметром 20 мм, и высотой 40 мм, цилиндры изготавливались прессованием в пресс-форме при давлении около 70 МПа. После формования образца оставляли на естественной сушке при комнатной температуре в течение 20-24 ч, затем выдерживались в сушильном шкафу при температуре 70-80⁰С в течение 5 часов.

При обжиге глин при высокой температуре одновременно с физико-химическими превращениями происходит так называемая огневая усадка. В сумме воздушная огневая усадка характеризует величину полной усадки глины при данной температуре. Максимум полной усадки соответствует спеканию, то есть такому состоянию глины, при котором происходит наибольшее уплотнение материала в результате совершившихся реакций в твердом состоянии. Характеристики образцов после спекания приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики огнеупорных материалов

Материал	Температура обжига, ⁰ С	Усадка, %		Водопоглощение, %
		огневая	общая	
Глинозем	400	---	0,4	8,1
	700	0,2	0,7	7,5
	1000	0,5	0,8	4,9
	1300	1,2	1,7	3,2
Кварцит	400	---	0,5	6,1
	700	0,3	0,9	3,7
	1000	0,8	1,2	2,8
	1300	1,4	1,9	2,1
Огнеупорная глина	400	---	4,8	17,8
	700	0,8	8,9	14,5
	1000	1,9	10,2	7,1
	1300	2,7	11,4	3,8

Результаты исследования показали, что глинозем и кварцит при обжиге практически не подвержены усадке (изменению геометрических размеров), при 1300⁰С значение усадки не превышает 2,0%. Значительная усадка при обжиге происходит с огнеупорной глиной и достигает 12%. Водопоглощение обожженной при 1300⁰С составляет около 4%.

Чистые оксиды даже при высоких температурах обжига обладают невысокой прочностью на сжатие, не превышающую 35 МПа для глинозема и 25 МПа для кварцита (рисунок 2).

Более высокие значения прочности показали образцы из огнеупорной глины. Даже при обжиге при достаточно низких температурах 700-1000⁰С прочность на сжатие составляет 50-70 МПа, а при обжиге 1300⁰С достигает 90 МПа. Характер кривых зависимости (а, б, в) практически идентичен, и имеет большое сходство (рисунки 2, 3).

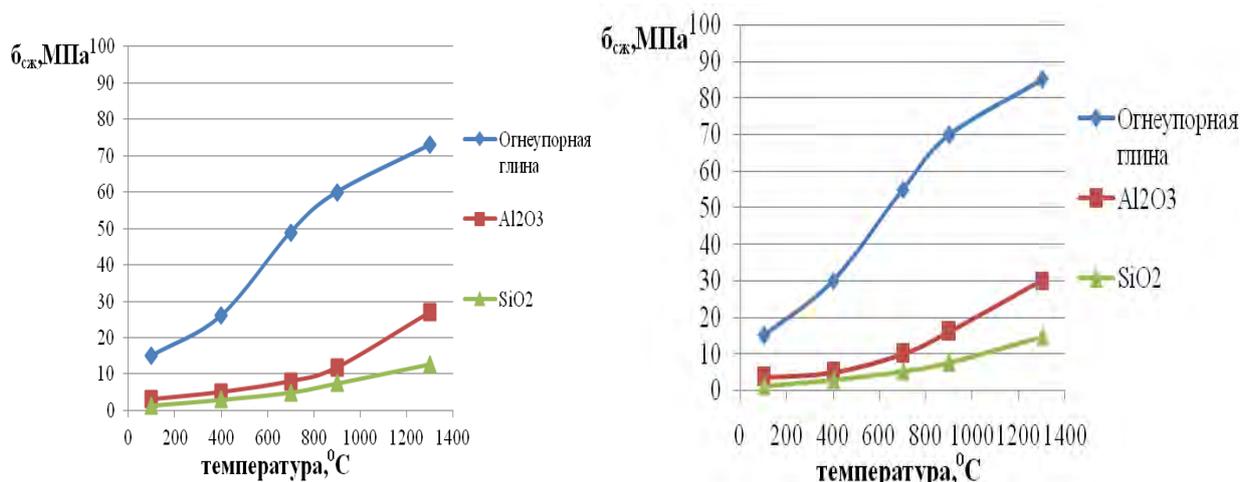
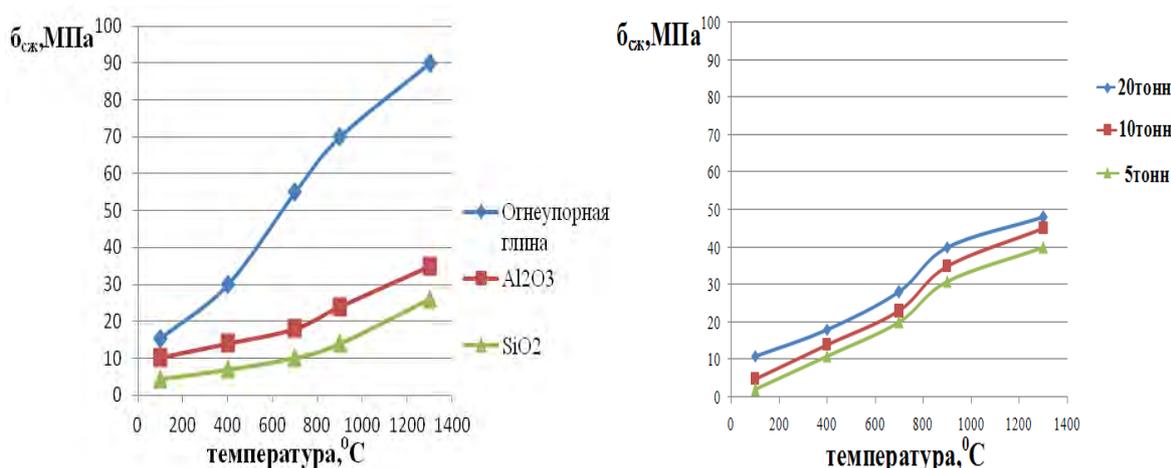


Рисунок 2 – Зависимость прочности на сжатие модельных образцов огнеупорных материалов от начального прессования и температуры обжига



(а – усилие прессования 5 т, б – усилие прессования 10 т, в – усилие прессования 20 т)

Рисунок 3 – Зависимость прочности на сжатие образцов огнеупорных материалов из шлама от начального прессования и температуры обжига

Различие только в абсолютных значениях величин прочности на сжатие в зависимости от давления прессования.

Образцы из шлама показали промежуточные значения прочности. Температура обжига увеличивает прочность образцов, и при температуре $1300^{\circ}C$ составляет 40-50 МПа, что значительно меньше прочности обожженной огнеупорной глины, но больше, чем у чистых оксидов. Кроме того, большое содержание оксида железа в шламе переводит его в категорию малоперспективных источников сырья для огнеупорного производства.

Возможно использование шламов глиноземного производства при изготовлении тяжелых основных огнеупоров для неотчетственных участков.

Таким образом, исследованы физико-механические характеристики огнеупорных материалов – предел прочности на сжатие от температуры обжига и концентрации связующих растворов. Прочность исследованных образцов после обжига остается высокой. Возможно, это связано с образованием в образцах наночастиц, которые, проявляя высокие связующие свойства, повышают их прочность. Наиболее высокие показатели обнаружены у огнеупорных материалов с хлорсодержащими связующими.

Список литературы

1 Акишев А.Х., Абишева А.К., Жунусов С.М., Фоменко С.М. Изучение химического взаимодействия водных растворов кислот и различных солей с Cr_2O_3 и MgO для получения наносвязующих материалов // Материалы VIII Международного симпозиума «Горение и плазмохимия» и научно-технической конференции «Энергоэффективность-2015». – Алматы, 2015. - С. 231-234

2 JandosUkibayev, YessenDilmukhambetov, Sergey Fomenko Heterocoagulation of silica sols on the surface of aluminum oxide, silicon oxide and aluminum silicate // The 5th Asian Symposium on Advanced Materials: Chemistry, Physics & Biomedicine of Functional and Novel Materials (ASAM-5), 2015, Busan, Korea, 1-4 november.

3 Фоменко С.М., Дильмухамбетов Е.Е., Мансуров З.А. Алипбаев А.Н. СВС-технология огнеупоров – достижения и перспективы. // Коллективная монография под ред. З.А.Мансурова. – Алматы. – 2015. – С.290-338.

4 Фоменко С.М., Мансуров З.А., Коркембай Ж., Бекджанова М.Т. Алюмотермическое горение оксидных систем в условиях высокого давления азота // Труды VII Международного симпозиума «Горение и плазмохимия». – Алматы, 2013. – С.51-55.

5 Zhenhua Xu; Limin He; Xinghua Zhong; Rende Mu; Shimei He; Xueqiang Cao. Thermal Barrier Coating of Lanthanum-Zirconium-Cerium Composite Oxide Made by Electron Beam-Physical Vapor Deposition. // Journal of Alloys and Compounds. – 2009. – 478, (1-2). – P.168-172.

6 Mansurov Z.A., Dilmukhambetov E.E., Ismailov M.B., Fomenko S.M. and Vongai I.M. New Refractory Materials on the SHS Technology // La Chimica e l'Industria. – 2001. – V. 83. – P.1-6.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ШИН
В РАМКАХ АО «ССГПО»**

**AUTOMATION OF THE TIRE RECYCLING PROCESS IN THE
FRAMEWORK OF THE JSC «SSGPO»**

Обухова О.Н.¹, Обухов С.А.², Штыкова И.В.³, Брановец Н.Е.³

¹АО «Соколовско-Сарбайское горно-производственное объединение», Рудный, Казахстан, ²Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, ³Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,
olga.obukhova@erg.kz

Obukhova O.N.¹, Obukhov S.A.², Shtykova I.V.³, Branovets N.E.³

¹Sokolovsk-Sarbaisky Mining and Production Association, Rudny, Kazakhstan, ²St. Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great, St. Petersburg, Russia, ³Rudnensky Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследования, в рамках которого предложен способ внедрения системы переработки автошин на базе единого централизованного участка по ремонту и переработке, описаны технические характеристики линии SagamaPneumatico 500 с привязкой к реальному производству в условиях АО «ССГПО».

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, геосистема, переработка автошин, способы измельчения, технологическая линия, утилизация.

Abstract: The article discusses the results of the study, which proposed a method for implementing a tire recycling system on the basis of a single centralized site for repair and processing, describes the technical characteristics of the SagamaPneumatico 500 line with reference to real production in the conditions of JSC «SSGPO».

Key words: automatic control system, geosystem, tire recycling, grinding methods, production line, recycling.

Горнодобывающие предприятия с точки зрения проектирования и управления относятся к геосистемам высшей категории сложности. Они представляют собой многопараметрические и многофакторные природно-технологические объекты, и характеризуются большими объемами различного вида информации: геологической, геометрической, технологической и технической, экологической и экономической.

АО «Соколовско-Сарбайское горно-производственное объединение» (АО «ССГПО») – гигант горнорудной и металлургической промышленности, крупнейшее казахстанское предприятие по добыче, обогащению железных руд и выплавки стали, входящее в группу EurasianResourcesGroup (ERG) –

международной группы компаний, одной из ведущих в мире в сфере добычи и переработки минеральных ресурсов с интегрированными, добывающими, перерабатывающими, энергетическими и логистическими предприятиями.

Как и в любой отрасли, производство АО «ССГПО» делится на основное и вспомогательное. Одним из ключевых вспомогательных видов производственной деятельности является организация перевозок, как в рамках предприятия, так и за его пределами.

Проанализировав масштабы предприятия, нетрудно сделать вывод о достаточно большом парке автотранспорта, который можно разделить на:

1 технологический автотранспорт (добыча железной руды, транспортировка металлопрокатной продукции);

2 хозяйственный (обслуживание технологической техники, дорожные работы, обслуживание подразделений объединения);

3 транспорт общего назначения (обеспечивает вспомогательные нужды подразделений: перевозку агрегатов, грузов и сотрудников).

Доля затрат на его ремонт и обслуживание, по оценкам специалистов, достигает 70% себестоимости добычи по мере роста глубины карьера [1].

Новый подход к техническому обслуживанию автопарка предприятия, внедренный на предприятии в 2017 году и нацеленный на повышение коэффициента технической готовности автотранспорта, лишь первый этап в повышении эффективности обслуживания машин и оборудования. В дальнейшем необходимо искать пути повышения эффективности использования транспорта, пути снижения затрат с целью улучшения производства.

По результатам проведенного исследования было выявлено, что автотранспортные шины занимают второе место (после топлива) в затратах на эксплуатацию автомобилей, а крупногабаритные шины (КГШ) составляют около 20% стоимости карьерного самосвала, например БелАЗ 7540. Известно так же что в современных покрышках содержится не менее 60% резины, 20% текстиля и 20% металла, а наиболее полно первоначальная структура каучука и других полимеров, содержащихся в отходах, сохраняется при механической переработке.

Важным залогом обеспечения устойчивого функционирования и развития горно-металлургического предприятия служит стабильная и эффективная система транспортировки руды, продукции металлопрокатного завода АО ССГПО (металлические стержни, стальные мелющие тела ит.п.). Для перевозки металла нормального по весу и габаритам, применяют **бортовые автомобили** (автопоезда), для перевозки длинномерных металлических изделий – **металловозы**, тягачи с полуприцепами и прицепами-ропусками, для транспортировки тяжеловесных листов – тягачи с **прицепами-тяжеловозами**.

На сегодняшний день транспортное хозяйство горно-металлургического предприятия выполняет основную роль по доставке своей продукции на рынки Казахстана, ближнего и дальнего зарубежья.

С учетом больших потребностей предприятия в шинах на горно-технологический автотранспорт, и установленной нормы их пробега 72.000 км,

перед предприятием встает острая проблема складирования и дальнейшей утилизации использованных шин. Потребность предприятия в КГШ на основной вид карьерного транспорта на 2018 г. представлена в таблице 1.

Следует отметить, что проблема переработки изношенных автомобильных шин является общей для всех промышленно развитых стран мира и имеет большое экологическое и экономическое значение. Кроме того, современные экономические реалии диктуют необходимость использования вторичных ресурсов с максимальной эффективностью.

По данным ООН ежегодно в мире образуется более 24 млн. тонн отходов в виде изношенных автопокрышек, из которых около 15 млн. тонн, т.е. более 60%, выбрасывается на свалки.

По сведениям ETRA (Европейская ассоциация переработчиков шин) Европейский Союз законодательно запретил сжигать и закапывать в землю использованные автопокрышки (целые шины) с 2003 года, а с 2006 года принято решение о запрете захоронения шин, разрезанных на куски[2].

В связи с этим многие страны начали активный поиск альтернативных способов их утилизации. Оборудование для переработки шин стоит недешево, но оно окупается в течение от года до трех лет и затем приносит чистую прибыль.

Таблица 1 – Потребность в КГШ на основной вид транспорта на 2018 г

	Типоразмер	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	2018 г.
САТ-16МЗ	23,5R25	14				2			8	8			4	36
БЕЛАЗ-75xx	26,5R25													0
САТ 824 Н	29,5R25	4	4		2		6	2	6		4	2		30
САТ-993К	50/65R51										2		2	4
БЕЛАЗ-75xx	24.00R35	4	2	26	30	22	24	14	20	10	0	6	26	184
НІТАСНІ 1700, САТ 777F	27.00R49	20	16	32	16	16	14	28	34	30	16	20	16	258
Б-75145	33.00R51	8	2	12	36	6	8	8	6	10	8	8	10	122
НІТАСНІ 3500	40.00R57	10	16	30	8	12	12	6	4	6	8	14	10	136
Общее кол-во шин, шт.														770
Общее кол-во шин с учетом условий эксплуатации, шт.														1155

В настоящее время наметились два принципиально различных пути переработки покрышек[3,4]:

1 **Электромеханическое измельчение** с использованием режущего инструмента (с охлаждением или в эластичном состоянии) с последующей переработкой резиновой крошки в резинотехнические изделия и регенерат.

2 Переработка с изменением химической структуры резины методом **термодеструкции** или **пиролизом** резины с получением жидких продуктов разложения сходных с нефтепродуктами, пригодными для получения горюче-смазочных материалов, антикоррозионных мастик и т.д.

Кроме выше указанных способов переработки изношенных покрышек имеются другие способы, не нашедшие широкого применения такие как:

1 Измельчение покрышек **с применением «озонного ножа»**, в котором изношенную покрышку помещают в камеру, подвергают действию озона и затем с использованием инструмента механически измельчают.

Получаемый в этом случае продукт не сохраняет свойства исходной резины и не находит широкого применения. Кроме того, данный способ не является экологически чистым, так как связан с использованием высоких концентраций озона, являющегося сильным канцерогеном.

2 **Бародеструкционный способ** измельчения изношенных покрышек, по которому покрышки разрезаются на сравнительно крупные фрагменты, затем фрагменты сдавливаются в матрице пуансоном с доведением резины до текучего состояния и отделением резины от металлического корда.

Конечный продукт не сохраняет исходных свойств резины и не находит широкого применения. При этом способ требует больших энергозатрат.

3 Измельчение покрышек **с применением роторного диспергатора**, по которому фрагменты размером порядка 15-20 мм предварительно измельченной покрышки сдавливают в гильзе с помощью шнека и выпускают через зазор размером 1,0-1,5 мм и получают резиновую крошку с высокой степенью развития поверхности полученных фракций.

Способ требует больших энергозатрат и предварительного измельчения покрышек. Дорогостоящие гильзы роторного диспергатора, являющиеся основным его элементом, быстро изнашиваются, что приводит к фактическому выходу диспергатора из строя и к высокой себестоимости продукта.

По мнению экспертов, лучшими параметрами обладают линии переработка шин в крошку.

Переработка использованных шин в крошку может осуществляться при положительных и отрицательных температурах с использованием различных способов измельчения – взрыв, истирание, сжатие, резание рисунок 1.

В результате, можно сделать вывод, что побочные материалы производства могут перерабатываться, а при правильном выборе технологии переработки возможно снизить издержки, себестоимость основного продукта, а также улучшить экологическую обстановку в регионе за счет снижения его загрязнения неулавливаемыми и непереработанными отходами.

По результатам проведенного анализа различных вариантов предлагается взять холодную технологию переработки автошин, заключающуюся в поэтапном измельчении механическим способом при температуре окружающей среды, что является экологически чистым процессом и не влечет дополнительные экологические эмиссии.



Рисунок 1 – Способы измельчения шин

При выборе оборудования по переработке шин большое значение имеют следующие параметры [6]:

- скорость переработки (производительность линии);
- энергопотребление, ресурсозатратность (экономичность линии);
- качество финального продукта;
- экологические характеристики оборудования.

При сравнении потенциальных поставщиков оборудования было выявлено следующее: у всех одинаковая принципиальная схема, за исключением некоторых конструктивных отличий; при одинаковой производственной мощности у линий имеются отличия по уровню электропотребления; требование к занимаемой площади являются практически аналогичными; имеются отличия в защищенности линий и вероятности травмобезопасности.

В результате выбор был сделан в пользу системы оборудования SagamaPneumatico 500.

Сырьем при производстве резиновой крошки являются изношенные автомобильные шины с металлическим и текстильным кордом, покрышки диаметром до 1,2 м, отходы резинотехнических изделий. Для переработки КГШ линия дополнительно укомплектовывается станком по удалению металлического корда из крупногабаритных шин «Дантист ДС КГШ – 2000». Предлагаемая линия позволяет перерабатывать до 3000 т автопокрышек в год, получая при этом до 1800 т резиновой крошки.

Технические характеристики линии для переработки шин (производство резиновой крошки) «SagamaPneumatico 500» представлены в таблице 2.

Процесс переработки состоит из двух этапов [8]:

1 Подготовка шин к дроблению.

На этом этапе шины проходят визуальный осмотр на предмет посторонних включений (гвозди, осколки, камни, шипы и т.д.) Затем происходит удаление посадочного кольца (толстой бортовой проволоки) и

разделка грузовых шин на части. Далее подготовленные фрагменты шин по транспортеру подаются во второй блок. Из легковых колес удалять бортовую проволоку не нужно. Легковые шины подаются на конвейер целиком.

2 Дробление до конечных фракций и удаление посторонних примесей. На данном этапе происходит поэтапное измельчение чипсов в резиновую крошку, а так же удаление текстиля и металла, разделение крошки на фракции.

Таблица 2 – Технические характеристики линии SagamaPneumatico 500

Техническая характеристика	Значение
Установочная (общая) электрическая мощность	210 кВт/ч
Средний уровень электропотребления	150 кВт/ч
Производительность линии на входе	до 500 кг сырья/час
Производительность линии на выходе (средняя, зависит от фракции)	до 300 кг сырья/час фракция от 0 до 6 мм
Выход текстильного корда	до 60 кг/час
Выход металлического корда	до 140 кг/час
Годовая мощность переработки шин при загрузке 300 дней в году по 20 часов в сутки	до 2750 тонн
Максимальный диаметр шин	1200 мм
Количество персонала в смену	4 человека
Требование к помещению	
Занимает площадь (без учета складских площадей)	300 кв.м
Высота	4 м
Ширина	10 м
Длина	30 м
Рекомендуемый режим работы	2 смены по 8-10 часов, с учетом технического регламента
Температурный режим	от +5 до +40 С°

Состав технологической линии представлен в таблице 3.

Автоматизация линии реализована контурами контроля и регулирования по следующим параметрам:

- скорость конвейерной ленты;
- нагрузка шредера;
- загрузка приемных бункеров измельчителя;
- контроль сортировки конечного продукта по фракции.

Информация, поступающая с измерительных устройств и приборов и необходимая для регулирования параметров, обрабатывается контроллерами, которые на сегодняшний момент применяются в качестве современных средств автоматизации.

Экономичные и высокопроизводительные программируемые логические контроллеры (ПЛК) предназначены для использования в средствах автоматизации для измерения, контроля и управления технологическими процессами, как в автономном режиме, так и в составе распределенных систем. В составе АСУ ТП ПЛК поддерживают связь с другими элементами системы по

соответствующему протоколу, обеспечивают числовое позиционирование, высокоскоростное импульсное управление электроприводом с модуляцией сигнала.

Таблица 3 – Состав линии

	Наименование оборудования	Мощность кВт/ч	Количество единиц оборудования в линии
1	Контрольный пункт управления линией	-	1
2	Вырыватель	11	1
3	Гидравлические ножницы	7,5	1
4	Станок для резки шин	1,5	1
5	Ленточный конвейер	0,75	3
6	Шредер первичного измельчения	37	1
7	Шредер среднего измельчения	37	2
8	Роторный измельчитель	37	37
10	Магнитный сепаратор измельчителя	0,55	1
11	Система аспирации и пневмотранспорта	16	1
12	Шнековый транспортер	1,5	2
13	Магнитный сепаратор вибростолы МС	0,55	1
14	Вибростол №1	1,06	1
15	Вибростол №2	1,06	1
16	Вытяжные системы	4	2
17	Система пылеулавливания	-	1
18	Магнитный сепаратор	0,55	1
19	Трубопроводная арматура системы аспирации	-	1
20	Трубопроводная арматура системы	-	1
21	Металлоконструкции	-	1
22	Комплект видеонаблюдения	-	1

Использование панелей оператора в системах управления, позволяет создать удобный человеко-машинный интерфейс (HumanMachineInterface) – централизованное рабочее место человека-оператора, управляющего машиной.

Панели оператора – это программируемые графические терминалы, предназначенные для визуализации информации, поступающей от микропроцессорных устройств (промышленных контроллеров, преобразователей частоты, регуляторов температуры), и управления производственными и технологическими процессами.

Операторские панели производства Delta Electronics, применяемые в рамках автоматизации рассматриваемого в проекте технологического процесса, это посредники в обмене информацией между человеком и оборудованием. Они позволяют пользователю управлять оборудованием посредством работы с простым и интуитивным графическим интерфейсом. При этом элементы этого интерфейса – кнопки, переключатели, индикаторы, – не существуют физически, а нарисованы на экране, и могут воспринимать команды оператора простыми касаниями на их изображения. Это дает не только быстрый и удобный контроль

оборудования, но также снижает необходимость в традиционных органах управления, а значит – в электрических соединениях.

Панели позволяют отображать текстовую, в том числе на русском языке, и графическую информацию: текущие и аварийные сообщения, технологические параметры, графики и диаграммы. При помощи панелей оператора можно осуществлять управление технологическим процессом, а также изменять параметры настройки системы и сохранять данные. Управление процессом удобно организовать в виде системы меню[7].

В рамках организации данной системы так же реализован технический онлайн-мониторинг работы всех узлов оборудования через систему контроля нагрузок двигателей. В режиме реального времени осуществляется дистанционный диспетчерский контроль с использованием комплекса удаленного контроля посредством IP-видеонаблюдения.

Система предназначена для организации комплексного сбора и обработки данных в многопользовательском режиме с целью интеграции первичной информации и обеспечения рационального эффективного использования технических и человеческих ресурсов в рамках организации технологического процесса.

Вывод: резиновая крошка представляет собой востребованное сырье для многих отраслей (дорожные покрытия, плиточные изделия, в качестве наполнителя, регенератора новых изделий из каучука и т.п.), это открывает широкие перспективы не только для утилизации отработанных в рамках основного горно-металлургического производства АО ССГПО, но и для развития дополнительной прибыльной деятельности в рамках казахстанского рынка, испытывающего потребность в данном виде сырья [8].

Реализованная автоматизированная система на основе линии SagamaPneumatico 500 является началом формирования новой для нашего региона отрасли промышленности – коммерческая переработка отходов, а исключение негативного воздействия отходов и применяемой технологии на окружающую среду – экологически безопасным направлением.

Оборудование фирмы линии Sagama используют многие компании в сфере производства резиновых изделий и переработки шин, в частности крупнейший завод по производству резиновых покрытий в России –Sagama, что позволяет судить о высоком качестве оборудования и эффективности его работы [9]. По результатам расчета экономических показателей, срок окупаемости проекта составляет менее полутора лет, что также отражает его целесообразность.

Список литературы

- 1 Шудякова К. А. Утилизация изношенных автомобильных шин в России Молодой ученый. – 2016. –№26. С. 739-742.
- 2 Официальный портал Шиноэкология: <http://shinoecologhia.ru/>.

3 Вторичное использование и переработка изношенных шин. Обзор основных тенденций и проблем в переработке шин. – <http://www.recyclers.ru/modules/section/item.php?itemid=101>

4 Производство резиновой крошки из шин: технологии и методы. – <https://rcycle.net/rezina/kroshka/proizvodstvo-iz-shin>.

5 Valerie L. Shulman Tyre Recycling.–European Tyre Recycling Association (ETRA).

6 Alessandro Guglielmotti Production of rubber parts by tyre recycling without using virgin materials //Plastics Rubber and Composites 41(1). – February 2012 – P. 40-46.

7 Панели оператора ТР. Руководство по эксплуатации. – <https://www.delta.com.tw/industrialautomation>.

8 Официальный сайт Евразийской группы ERG: <https://www.erg.kz/ru>.

9 Официальный сайт компании Sagama: <http://sagamagroup.com/>.

УДК 661.733.3

ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ДИЭФИРОВ D-ВИННОЙ КИСЛОТЫ CHEMICAL SYNTHESIS OF D-TARTARIC ACID DIESTERS

*Жельдыбаева А.А.¹, Азимова С.Т.¹, Алтынбаева Г.К.², Кадникова О.Ю.²,
Айдарханов А.М.²*

¹Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,

²Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,

alтынbaeva_g@mail.ru

*Zheldybayeva A.A.¹, Azimova S.T.¹, Alтынbayeva G.K.², Kadnikova O.Y.²,
Aidarkhanov A.M.²*

¹Almaty technological University, Almaty, Kazakhstan,

²Rudny industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: В статье приведен синтез эфиров D-винной кислоты со спиртами и эпихлоргидрином по разработанной методике, основанной на применении хлористого тионила, в сравнении со стандартными методиками.

Ключевые слова: D-винная кислота, винный камень, сегнетова соль, сложные эфиры, диэтиловый эфир, ди (2-хлорэтиловый) эфир, диаллиловый эфир, дипропаргильевый эфир, ди (3-хлор-2-гидроксипропиловый) эфир, диглицидоловый эфир, непредельные спирты.

Abstract: The article presents the synthesis of D-tartaric acid esters with alcohols and epichlorohydrin according to the developed procedure based on the use of thionyl chloride in comparison with standard methods.

Key words: D-tartaric acid, potassium tartrate, rochelle salt, D-tartaric acid esters, diethylester, di(2-chlorethyl) ester, diallylester, dipropargylester, di(3-chlor-2-hydroxypropyl) ester and diglycidol ester, unsaturated alcohols.

Одной из актуальных проблем в настоящее время является утилизация отходов сельскохозяйственной перерабатывающей промышленности. К ним относятся винный камень (виннокалиевая соль), виннокислая известь, сегнетова соль, которые накапливаются в производстве вин в больших количествах и не находят широкого применения.

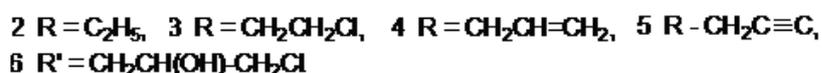
Винный камень является преобладающим производным D-винной кислоты в виноградном сусле и вине. Виннокислая известь – это полуфабрикат, выделяющийся из отходов виноделия, содержащих виннокислотные соли. Известен ряд способов получения винной кислоты из отходов виноделия [1-6].

Винная кислота относится к двухосновным дикарбоновым кислотам, образующимся в виноградной грозди в результате неполного окисления сахаров при дыхании растений. Она является перспективным исходным сырьем для синтеза различных биологически активных веществ.

В работе разработаны условия получения диэтилового (2), ди (2-хлорэтилового) (3), ди (3-хлор-2-гидроксипропилового) (4), диаллилового (5) и дипропаргилового (6) эфиров D-винной кислоты. Синтез перечисленных эфиров осуществляется взаимодействием D-винной кислоты с соответствующими спиртами и эпихлоргидрином по разработанной методике, которая заключается в применении хлористого тионила [7], в сравнении с результатами, полученным по известным методикам.

Среди синтезированных диэфиров (2-7) соединения 3, 4 и 6 являются новыми, состав которых подтвержден данными элементного микроанализа, а строение – спектральными данными [8].

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C (в зависимости от растворимости диэфиров (2-6)) записывались в дейтерированных хлороформе, этиловом спирте, воде, а также в пиридине и диметилформамиде.



Отнесение резонансных сигналов атомов углерода определяли по спектрам с неполным погашением СН взаимодействия.

Сделан вывод, что значения химических сдвигов атомов водорода и углерода зависят от строения эфирной части молекулы полученных эфиров (2-6). Резонансные сигналы протонов диэфиров D-винной кислоты в зависимости от наличия тех или иных функциональных групп имеют разные величины (таблица 1).

Например, протоны оксиметиленовых (O-CH₂) групп в диэтиловом эфире (2) дают сигналы при 4.22 м.д., а в дипропаргиловом эфире – 4.83 м.д.

Спектры ЯМР ^{13}C изучаемых эфиров (2-6) более информативны в установлении строения изучаемых производных D-винной кислоты.

Например, два карбоксильных углерода самой D-винной кислоты резонируют при 174.38 м.д. в $\text{C}_2\text{D}_5\text{OD}$ или 175.47 м.д. в D_2O , а в эфирах (2-6) они на 2-3 м.д. сдвинуты в сильные поля.

Углеродные атомы СНОН групп винной кислоты дают сигналы при 72.97 м.д. а в эфирах (2-6) они незначительно (до 1 м.д.) смещены в сильные поля. На значения резонансных сигналов углерода OCH_2 группы влияет наличие функциональных фрагментов в диэфирах винной кислоты [9].

Например, в диэтиловом эфире этот углерод дает сигнал при 62.45 м.д., а в дипропаргиловом эфире – при 53.66 м.д.

Таблица 1 – Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C диэфиров D-винной кислоты (2-6, м.д.)

	Соединения	ПМР ^1H , δ , м.д.				ЯМР ^{13}C , δ , м.д.			
		CHO	CH_2O	ОН	R	C=O	CHO	OCH_2	R
1	- H	4.65 ($\text{C}_2\text{D}_5\text{O}$ D) 4.61 (D_2O)		4.65 ($\text{C}_2\text{D}_5\text{OD}$) 4.61 (D_2O)		174.38 ($\text{C}_2\text{D}_5\text{OD}$) 175.47 (D_2O)	72.97 ($\text{C}_2\text{D}_5\text{OD}$) 72.80 (D_2O)		
2	- C_2H_5	4,54 д	4,28 м	4,22	CH_3 1,31 (м)	171,63 с	72,12д	62,45 т	CH_3 14,08 кв
3	- $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$	4,66 д	4,49 м	3,72	CH_2Cl 3,72 (м)	171,10 с	72,07д	65,57 т	CH_2Cl 41,19 т
4	- CH_2CH (ОН) CH_2 Cl	4,58 д (CH_2CH O 4.28)	4,04 м	3,60 3,92	CH_2Cl 3,84 (м)	172,40 с	72,62д (CH_2CHO 73.98)	63,90 т	CH_2Cl 47,82 д
5	- CH_2- $\text{CH}=\text{CH}_2$	4,62 д	4,71 м	4,71	$\text{CH}_2=\text{C}$ H 5,91 (кв) 5,31 (м)	171,28 с	71,25д	66,70 т	$\text{CH}=\text{CH}_2$ 131,25 д 119,10 т
6	- CH_2 $\text{C}\equiv\text{CH}$	4,65 д	4,23 м	4,03	$\text{C}\equiv\text{CH}$ 2,57(т)	170,64 с	71,97д	53,66 т	$\text{C}\equiv\text{CH}$ 79,01 с 76,02 д

Таким образом, по данным спектров ЯМР ^1H и ^{13}C можно заключить, что в зависимости от природы заместителей в молекулах диэфиров осуществляются различные внутримолекулярные взаимодействия, которые в свою очередь будут влиять на их реакционную способность.

Условия этерификации D-винной кислоты могут быть использованы в лабораторных условиях для получения разнообразных по строению диэфиров D-винной кислоты.

ЯМР ^1H и ^{13}C спектральные данные могут быть использованы при расшифровке спектров неизвестных соединений аналогичной структуры.

Список литературы

- 1 Бегунова Р.Д.. Химия вина. – М.: «Пищ. пром-сть», 1972. – 224 с.

2 Разуваев Н.И., Вулихман А.А.. Переработка вторичного сырья виноделия. - М.: Пищепромиздат., 1967. – 205 с.

3 Бывшев В.. Переработка отходов виноделия за рубежом. – М.: ЦНИИ ТЭИ пищевых, 1978. – 19с.

4 Ризаев Н.У., Рустамов Х.Р. Извлечение винной кислоты из отходов виноделия ионообменными смолами //Узбекский хим. журнал. – 1960. №5. – С. 28-30.

5 Вулихман А.А., Миркинд А.Л. Получение виннокислых соединений из отходов виноделия. – М.: Пищепромиздат., 1956. – 276 с.

6 Малышев Д.В., Малышев А.В., Ковалев В.А. Исследование возможности получения винной кислоты элетродиализной очисткой модельных растворов натрия виннокислого// Тезисы. докл. Всерос.студ. науч.конф. по пищ. пром. в 21 в. – Краснодар, 1998. – С. 128-130.

7 Құлажанов Қ.С., Желдібаева А.А., Ержанов Қ.Б. Шарап қышқылының кейбір эфирлерін синтездеу.«XXI ғасырдағы тамақ және жеңіл өнеркәсіптің даму проблемалары мен тенденциялары» 4-ші халықаралық ғыл.-прак. конференциясының материалдары. – Алматы, 2003. – 167-168 б.

8 Жельдыбаева А.А., Кулажанов К.С., Ержанов К.Б., Жылкыбаев О.Т. Синтез и строение некоторых диэфиров d-винной кислоты // Пищ. технология и сервис. – Алматы, 2004. №4/1. – С. 114-118.

9 Кулажанов К.С., Жельдыбаева А.А., Хожамуратова С.Ш., Ержанов К.Б., Халилова С.Ф. Спектры ЯМР ¹H и ¹³C некоторых диэфировd-винной кислоты // Материалы межд. науч.-прак. конф. "Стратегия развития пищевой и легкой промышленности" II-часть, – Алматы, АТУ, 2004. –С. 32-35.

УДК 621.315

РАСЧЕТ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОВОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ

DETERMINATION BY THE NUMERICAL METHOD OF THE ULTIMATE STRENGTH OF THE ELECTRIC TRANSMISSION AERIAL CABLE

Барулин А.И., Хабдуллина З.К.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан, BarulinAI@mail.ru

BarulinA.I., Habdullina Z.K.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,

Аннотация: Представлены результаты аналитических и практических исследований механической прочности тросов воздушных линий электропередач. Для оценки деформированного состояния провода использован метод конечных элементов. Приведены результаты расчетов для климатических условий северного Казахстана. Представлен механизм потери прочности электрическим проводом. Результаты деформирования провода, рассчитанные

численным методом, сопоставлены с идентичными данными, полученными методом гибкой нити.

Ключевые слова: линия электропередачи, провод, климатическое воздействие, метод конечных элементов, провес, упруго-пластическое решение.

Abstract:The results of analytical and practical studies of the mechanical strength of the cables of overhead power lines are presented. To assess the deformed state of the wire, the finite element method is used. The calculation results for the climatic conditions of northern Kazakhstan are presented. The mechanism of loss of strength by an electric wire is presented. The results of wire deformation calculated by the numerical method are compared with identical data obtained by the flexible filament method.

Keywords: power line, wire, climate impact, finite element method, sag, elastic-plastic solution.

Для нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи необходимо выполнение двух основных условий, предъявляемых к проводам электрической энергии:

1) площадь их поперечного сечения должна быть достаточной для передачи проектной электрической мощности;

2) провод электрической энергии должен обеспечивать механическую прочность, достаточную для поддержания его прямых функций в течение всего срока эксплуатации под воздействием заданных климатических факторов.

Особенностью этой задачи является то, что провод для выполнения своего основного назначения, эффективной передачи электрической энергии, может быть изготовлен из материала, который имеет высокую электрическую проводимость. Оптимальным вариантом такого материала является медь или алюминий. Однако медные и алюминиевые провода не обладают прочностью, достаточной для обеспечения их целостности, при подвесе к опорам, располагающимся на достаточно большом расстоянии друг от друга.

Для повышения механической прочности и уменьшения провеса проводников электрической энергии воздушных линий электропередач, их скручивают из нескольких проволок в тросы. Подобная конструкция проводов используется в гибких тяговых элементах грузоподъемных устройств и механизмов, но в линиях электропередач применяются не стальные проволоки, а проволоки из цветных металлов. Проволоки из цветных металлов существенно уступают по прочности стальным проволокам, поэтому обеспечить надежную долговременную работу в качестве тросов линий электропередач они не могут.

Эта проблема усугубляется воздействием на электропроводные проволоки воздушных линий электропередачи негативных атмосферных явлений, таких как обледенение, ветровая нагрузка, дождевые осадки и изменения температур. Если два последних фактора проявляются в длительной перспективе в виде потери прочности за счет поверхностного окисления медных и алюминиевых проводников, то обледенение и ветровая нагрузка могут

вызвать одномоментный обрыв троса.

Чтобы обеспечить надлежащую механическую прочность электропроводного и уменьшить провисание провода в него при изготовлении вплетают стальные проволоки. Как проводник электрического тока сталь не может конкурировать ни с медью, ни с алюминием, но она существенно превосходит последние по прочности. Таким образом, трос воздушных линий электропередач, не теряя своего прямого назначения, приобретает и необходимые прочностные свойства.

Оценка несущей способности и деформированного состояния такого комплексного изделия представляет собой достаточно сложную задачу. На постсоветском пространстве с большим покрытием огромной территории воздушными линиями электропередач для такой оценки напряженного состояния электрических и грозозащитных тросов использовался метод допустимых напряжений [1]. Коэффициент запаса прочности принимается равным 2, а для однопроволочных проводов, алюминиевых проводов площадью поперечного сечения до 120 мм^2 и тросов до 25 мм^2 – 2.5.

За метод расчета прочности проводов воздушных линий электрических передач до сих пор применяется метод гибкой нити [2]. В значительной степени в используемом решении актуальной задачи сделано множество упрощений и допущений, многие из которых являются эмпирическими.

Настоящая статья направлена на оценку точности решения этой задачи современным методом конечных элементов. Этот компьютерный численный метод является строгим в механико-математическом отношении и позволяет добиться высокой точности решения при соответствии математической модели реальному объекту, при достаточно детальном ее разделении на конечные элементы и использовании физических свойств примененных на объекте материалов.

Метод конечных элементов используется в электроэнергетике достаточно давно для создания наиболее эффективных электромашинных аппаратов, посредством совершенствования способов преобразования электрической мощности одного потенциала в другой или электрической энергии в механическую энергию [3]. Однако он не приобрел ключевого значения в механических расчетах несущей способности оснований, опор и гибких проводных соединений, хотя соответствующие приложения созданы в наиболее известных программных продуктах ЛИРА и ANSYS. Все дело в том, что эти методы и программы не сертифицированы в бывших советских республиках и в отличие от украинской ЛИРЫ, американская программа ANSYS плохо адаптирована к электротехническим стандартам этого обширного пространства. Программный комплекс ЛИРА изначально специализирован на решение строительных задач, поэтому для расчета устойчивости оснований и опор он подходит, а для решения задач поведения гибких элементов воздушной линии электропередач – неприемлем. Обе программные среды не имеют четких критериев предельной несущей способности и запаса прочности.

В настоящем исследовании использовалась авторская программа оценки напряженно-деформированного состояния объектов SW, хорошо зарекомендовавшая себя на широком классе механических задач [4].

Математическая модель плоской задачи определения несущей способности методом конечных элементов, использованная в настоящем исследовании, достаточно простая и в ней рассмотрен только провод, закрепленный жестко или кулисно в неподвижных точках для одного пролета так, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Математическая конечно-элементная модель пролета воздушной ЛЭП

Разбивка конечно-элементной модели пролета производилась автоматически, добавленной в программу SW процедурой. Сталь алюминиевый провод АС отображался одним слоем плоских конечных элементов треугольной формы. Нумерация узлов конечных элементов выполнена программно вдоль толщины провода. При кулисном закреплении провода ограничивалась свобода перемещения только по одному верхнему узлу его начала и конца, а при жестком – обоих узлов начала и конца провода вдоль обеих осей декартовой системы координат.

Физико-механические свойства провода, необходимые для выполнения расчетов, были приняты по ГОСТ 839-80. Диаграмма испытания провода на прочность, необходимая для корректного конечно-элементного решения, приведена на рисунке 2.

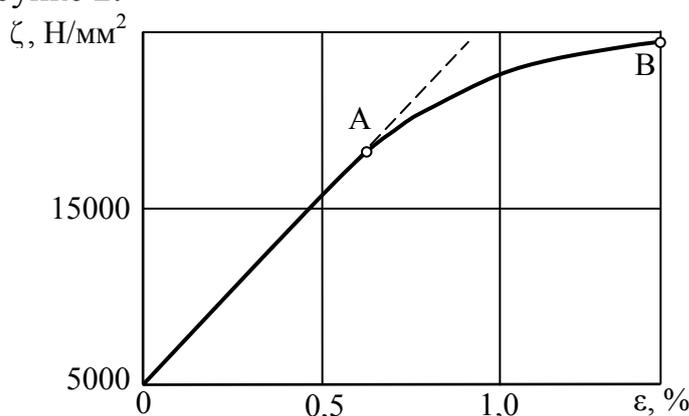


Рисунок 2 – Диаграмма деформирования провода воздушной ЛЭП

Критерием необратимой потери несущей способности троса линии электропередач считается переход кривой деформирования 0 – В любого

конечного элемента через точку А из области упругого (возвратного) в область пластического (необратимого) деформирования стальной основы троса.

При выполнении расчетов методами гибкой нити и конечных элементов сопоставляли только провес провода при фиксированном размере равнинного межопорного пролета. Задача решалась для нормальных условий среднегодовой температуры. Решения выполнялись для пяти типов проводов марки АС с разными соотношениями площади поперечного сечения стальных и алюминиевых проволок. Экранный скан одного из конечно-элементных решений для провода АС 1120/47,3 представлен на рисунке 3.

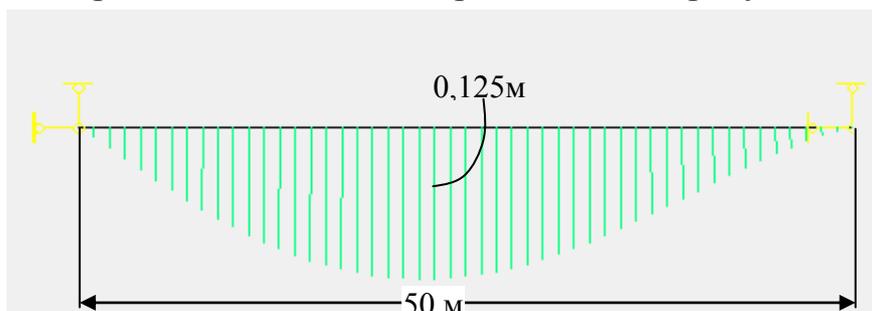


Рисунок 3 – Конечно-элементное решение задачи для провода АС 1120/47,3

Анализ результатов решения задачи методами конечных элементов показал, что полученные значения всегда меньше, чем рассчитанные методом гибкой нити. Результаты решения двумя методами сведены в таблице 1.

Расхождение тем больше, чем меньше диаметр провода. Такая существенная разница определяется запасом прочности, который присутствует в методе гибкой нити для обеспечения длительного срока (до 50 лет) эксплуатации проводов воздушных линий электропередачи в условиях неблагоприятного влияния атмосферы. По-видимому, имеет смысл оптимизации коэффициентов запаса по степени потери прочности проводами по истечении срока их службы для каждого из типов.

Таблица 1 – Данные расчета провеса провода ЛЭП при расстоянии между опорами 50 м

Тип провода	Провес провода, м	
	метод гибкой нити	метод конечных элементов
АС 95/141	0,079	0.026
АС 200/11,1	0,137	0.023
АС 400/93	0,114	0.054
АС 800/101,3	0,124	0.089
АС 1120/47,3	0,134	0.125

Метод гибкой нити был разработан тогда, когда компьютерная техника не позволяла рассчитывать сложные конструкции универсальными численными методами. В настоящее время назрела необходимость перехода от устаревших методов к современным, имеющим строгое механико-математическое обоснование.

К несомненным достоинствам метода конечных элементов можно отнести высокую степень автоматизации расчетов и возможность не только изолированной оценки несущей способности проводов, но и комплексной оценки всей воздушной линии электропередачи при решении объемной задачи метода конечных элементов с прямым, а не косвенным учетом влияния обледенения и ветровой нагрузки.

Список литературы

- 1 Бошнякович А.Д. Механический расчет проводов и тросов линий электропередач. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1962. - 254 с.
- 2 Короткевич М.А. Проектирование линий электропередачи. – Минск: Выш. шк., 2010. – 574 с.
- 3 Сильвестер П. Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков: Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 229 с.
- 4 Барулин А.И., Рахимов З.Р. Оценка устойчивости откосов слабых горных пород методом конечных элементов / Труды университета. – Караганда: КарГТУ, 2006. - № 4. С. 26–31.

УДК 544.723.2:553.611.5-032.25(574.21)

АНАЛИЗ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ГЛИН В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ МАРГАНЦА И ЖЕЛЕЗА

ANALYSIS OF THE ADSORPTION PROPERTIES OF NATURAL CLAYS IN THE PROCESS OF PURIFICATION OF WATER FROM MANGANESE AND IRON

*Султанбекова Г.И., Алтынбаева Г.К., Улжагулова Г.А., Елубек Н.Р.
Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан,
altynbaeva_g@mail.ru*

*Sultanbekova G.I., Altynbayeva G.K., Ulzhagulova G.A., Elubek N.R.
RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan*

Аннотация: В статье приведены результаты по исследованию адсорбционных свойств природных глин месторождений Костанайской области и применению их для очистки воды от ионов марганца и железа(III).

Ключевые слова: адсорбция, природные глины, фотометрический метод анализа.

Abstract: The article presents the results of a study of the adsorption properties of natural clays in the Kostanay region deposit and their use for water purification from manganese and iron ions (III).

Key words: adsorption, natural clays, photometric analysis method.

Существуют различные процессы очистки, которые используются для удаления железа и марганца из грунтовых вод для снабжения питьевой водой. Железо и марганец обычно находятся в подземных водах в растворенном состоянии, но при этом вода может казаться прозрачной и чистой.

По нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 содержание железа общего допускается не более 0,3 мг/л, а марганца – не более 0,1 мг/л [1].

Превышение марганца и железа в питьевой воде является актуальной задачей. Помимо пагубного воздействия на организм существует ряд негативных факторов от потребления воды с примесями.

Превышение ПДК марганца в питьевой воде приводит к анемии, нарушению функционального состояния центральной нервной системы, оказывает мутагенное влияние на организм человека. Особенно опасны отравления марганцем во время беременности: из 100 детей, матери которых во время беременности подверглись отравлению марганцем, 96-98 рождаются умственно неполноценными. Марганец, закупоривая каналы нервных клеток, снижает проводимость нервного импульса. Следствием этого является повышение утомляемости, сонливости, снижается быстрота реакции, работоспособность, появляются головокружение, депрессивные, подавленные состояния. Марганец почти невозможно вывести из организма; очень тяжело диагностировать отравление им – симптомы очень общие и присущи многим заболеваниям [2].

Длительное употребление человеком воды с повышенным содержанием железа может привести к заболеванию печени (гемосидерит), увеличивает риск инфарктов, негативно влияет на репродуктивную функцию организма. Такая вода неприятна на вкус, причиняет неудобства в быту.

Являясь одним из самых распространенных в природе элементов, железо попадает в подземные воды благодаря возможности осуществления для него окислительно-восстановительной реакции. Проходя через грунтовые породы, вода участвует в минерально-солевом обмене, то обогащаясь одними соединениями, то теряя их. Обогащенная углекислым газом вода способна восстанавливать некоторые элементы, переводя их из одних степеней окисления в другие.

Исследуя процесс очистки воды от ионов марганца и железа(III) глинами, были использованы пестроцветные глины Аркалыкского месторождения серо-зеленого и розового цвета и белая глина Узункольского месторождения Костанайской области (рисунок 1).

Степень очистки воды природными глинами определяли в результате адсорбции в воде по изменению концентрации ионов марганца и железа(III) фотометрическим методом анализа.

В применяемом фотометрическом методе определяемый компонент – марганец (II) – переводили в растворимое окрашенное соединение путем реакции окисления его персульфатом аммония до образования перманганат-иона малиново-фиолетового цвета в присутствии нитрата серебра как катализатора:

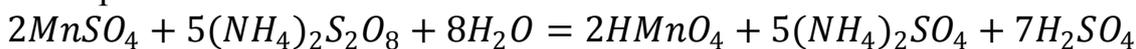
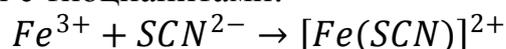




Рисунок 1 – Природные глины месторождений Костанайской области:

В колбы отмеряли по 200 мл воды с содержанием 0,06 г/л сульфата марганца и вносили по 25 г пестро-цветных глин. Изучение адсорбционного процесса проходило статическим методом. Для ускорения установления адсорбционного равновесия применяли перемешивание реакционной системы с помощью универсального аппарата для встряхивания жидкости АВУ6С в течение двух часов. За это время процесс адсорбции марганца на глинах заканчивался. Растворы отфильтровывали от глины. В мерную колбу вместимостью 50 мл наливали раствор после фильтрования, приливали 1 мл концентрированной серной кислоты, добавляли 0,5 мл ортофосфорной кислоты и 15 мл дистиллированной воды. Смесь тщательно перемешивали, после чего приливали 1 мл 0,05 н. раствора нитрата серебра и 1 г кристаллического персульфата аммония[3]. Нагревали содержимое колбы на водяной бане при 70-80⁰С, до появления устойчивой малиново-фиолетовой окраски растворов. Растворы охлаждали и измеряли их оптическую плотность на приборе КФК-3-01-3ОМЗ.

Для определения ионов железа (III) в колбы отмеряли по 200 мл воды с содержанием 0,02 г/л сульфата железа (III) и вносили по 25 г природных глин. Процесс адсорбции ионов железа(III) глинами изучался статическим методом. Для тщательного перемешивания приготовленной смеси использовали аппарат АВУ6С, продолжительность адсорбции составляла два часа[2]. После окончания адсорбционного процесса смесь подвергали фильтрованию для отделения жидкой фазы от твердой фазы. Полученный раствор исследовали на содержание ионов железа (III). Концентрацию ионов железа(III) в растворе определяли фотометрическим методом анализа[3]. Для этого соль железа(III), содержащуюся в воде, превращали в соединение кроваво-красного цвета путем реакции взаимодействия с тиоцианатами:



Оптическую плотность окрашенного раствора измеряли прибором КФК-3-01-3ОМЗ при длине волны равной 480,7 нм, при которой достигается наибольшая точность измерения. Концентрацию ионов железа (III) в исследуемых образцах воды определяли методом калибровочного графика.

Результаты исследований по содержанию ионов марганца и железа (III) до и после адсорбции природными глинами представлены на рисунках 2 и 3.

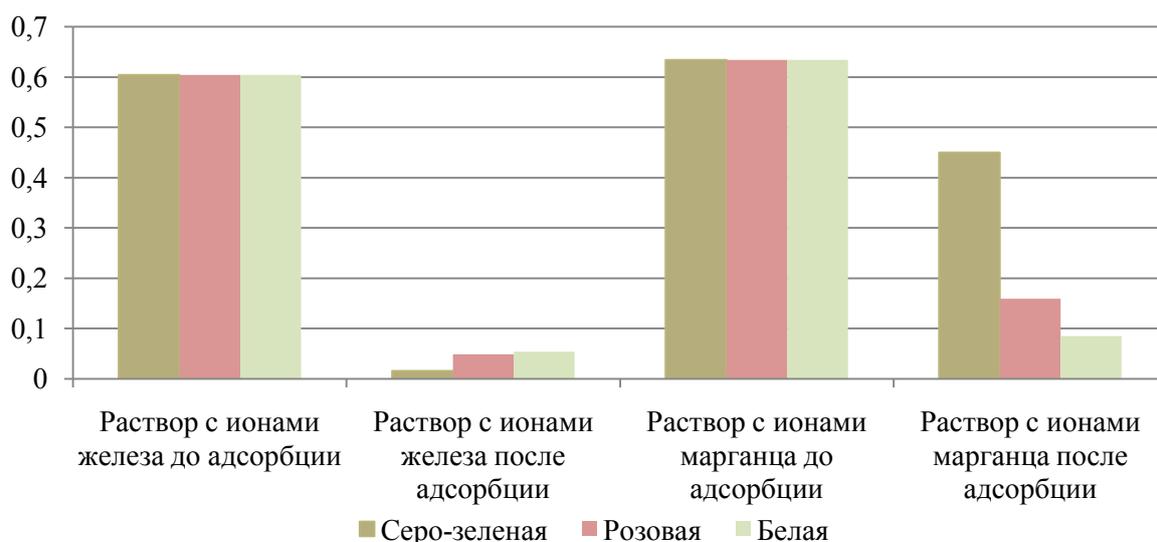


Рисунок 2 – Изменение оптической плотности растворов, содержащих ионы марганца и железа (III) в исследуемых образцах воды в результате адсорбции природными глинами

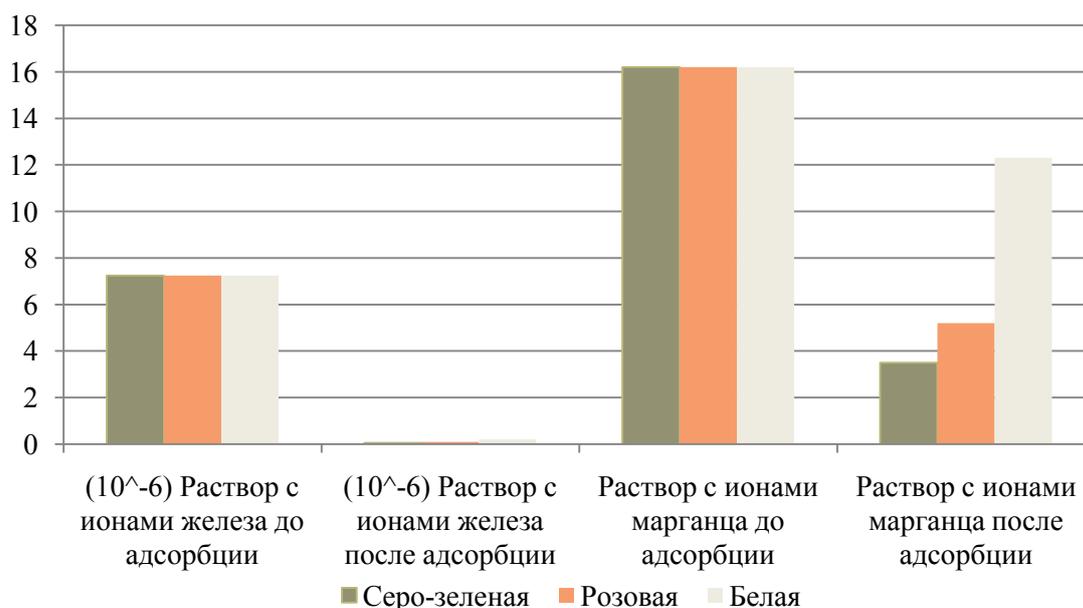


Рисунок 3 – Изменение концентрации ионов марганца и железа (III) в исследуемых образцах воды в результате адсорбции природными глинами

Из диаграмм следует, что в результате адсорбции ионов марганца и железа (III) глинами происходит уменьшение оптической плотности растворов, что свидетельствует о понижении содержания ионов марганца и железа (III) в образцах воды. Применение белой глины для коррекции качества воды уменьшает оптическую плотность раствора в 1,41 раза, розовой глины – в 3,99 раза, серой глины – в 7,46 раз.

Для определения концентрации марганца в анализируемых растворах использовали метод калибровочного графика. По серии стандартных

окрашенных растворов с известной концентрацией марганца строили калибровочный график «оптическая плотность – концентрация марганца» (рисунок 4). Оптические плотности анализируемых растворов измерялись при λ_{\max} . Как видно из рисунка, длина волны, соответствующая максимуму поглощения составляет 530,9 нм.

В интервале длин волн от 340,7 нм до 610,5 нм определена область максимального светопоглощения исследуемого окрашенным раствором. На рисунке 5 представлена спектрофотометрическая кривая раствора перманганата калия.

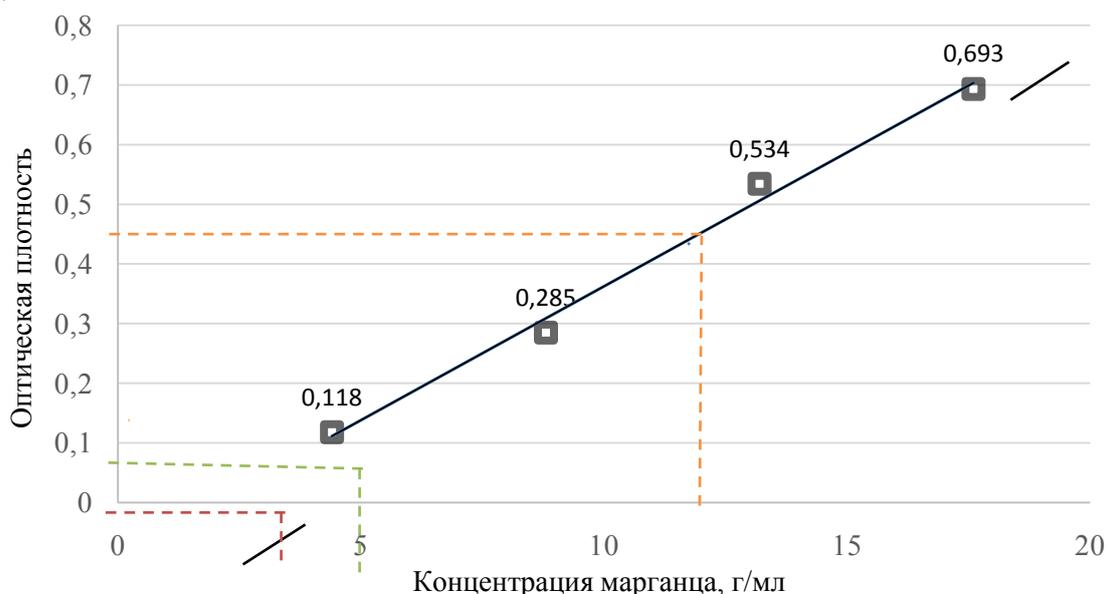


Рисунок 4 – Калибровочный график для фотометрического определения марганца в растворах

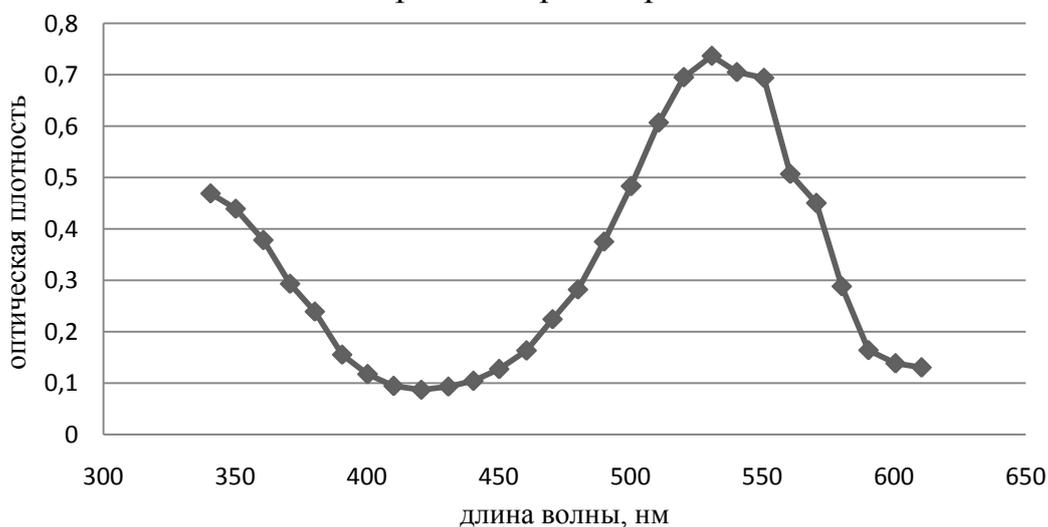


Рисунок 5 – Спектрофотометрическая кривая 0,002н раствора перманганата калия

Исследуя адсорбционные свойства пестро-цветных глин по отношению к ионам железа (III) установлено, что природные глины являются хорошими адсорбентами для ионов железа(III). Адсорбционная способность пестро-

цветных глин меняется в пределах 96,83% для белой глины, 98,28 – для розовой глины, 99,17% – для серо-зеленой.

Адсорбционные свойства пестро-цветных глин по отношению к ионам марганца также характеризуются хорошими показателями: серо-зеленая глина превышает по показателю адсорбционной способности белой глины в 3,3 раза и розовую глину – в 1,18 раза.

Таким образом, изученный процесс адсорбции ионов марганца и железа (III) в присутствии пестро-цветных глин месторождений Костанайской области позволил определить их адсорбционную способность. Путем измерения концентрации ионов марганца и железа (III) фотометрическим методом установлено, что исследуемые глины, адсорбируя марганец и железо (III), уменьшают его содержание в питьевой воде. По адсорбционной способности глины можно расположить в ряд: серо-зеленая глина > розовая глина > белая.

Исследуемые природные глины могут быть использованы как дешевые адсорбенты с высокой адсорбционной способностью для очистки воды от ионов марганца и железа (III), что является экономически эффективным в процессе очистки воды для северного региона.

Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1074-01 Вода питьевая. Контроль качества.
2. Фомин Г.С. Вода. – М.: Протектор. – 2010. – С. 314-319.
3. Цитович И.К. Курс аналитической химии. – М.: Высш. школа. – 2011. – С. 352-353.

УДК 622.23.05

MATHEMATICAL MODEL OF HYDRAULIC MANIPULATORS OF IMPULSE-FORMING MACHINES

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ ИМПУЛЬСНО-ФОРМИРУЮЩИХ МАШИН

Smirnov Yu.M.¹, Uraimov M.², Smakova N.S.¹

¹*Karaganda state technical university, Karaganda, Kazakhstan*

²*Institute of National Academy of Sciences, Kyrgyzstan*

Смирнов Ю.М.¹, Ураимов М.², Смакова Н.С.¹

¹Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан, ²Институт Национальной Академии Наук, Кыргызстан

Summary: In work the analysis of construction schemes of hydraulic manipulators is carried out, elements of their classification by power and kinematic indicators are defined. The design scheme of the heavy duty hydraulic manipulator is proposed. The mathematical model of proposed hydraulic manipulator, which can be used as basic data for calculation technical and operational characteristics of

earthmoving machines, is obtained. The mathematical model hydraulic control system is described in detail.

Key words: hydraulic manipulator, impulse machine, earthmoving machines, impulse systems, mathematical model, calculation method.

Аннотация: В работе проведен анализ строительных схем гидроманипуляторов, определены элементы их классификации по силовым и кинематическим показателям. Предложена конструктивная схема тяжелого гидроманипулятора. Получена математическая модель предлагаемого гидроманипулятора, которая может быть использована в качестве исходных данных для расчета технических и эксплуатационных характеристик землеройных машин. Математическая модель гидравлической системы управления описана подробно.

Ключевые слова: гидроманипулятор, импульсная машина, землеройные машины, импульсные системы, математическая модель, метод расчета.

Introduction

Hydraulic manipulators are now widely used in various industries and scientific research. Transport-technological mobile machines equipped with hydraulic crane-manipulators, and industrial robots based on hydraulic manipulators are currently one of the most popular and widely used technical devices used in basic areas of the economy to perform basic and auxiliary technological operations, including lifting transport, handling and storage operations [1].

The manipulator is a controlled device or machine for performing motions functions similar to the functions of the human hand when moving objects in space, equipped with a working body. The manipulator consists of links connected by mobile kinematic pairs (rotational and translational) [2].

Designs of hydraulic manipulators and working processes occurring in them for various conditions were investigated and analyzed in the series of works [3-6]. However the parameters recommended in researches often not fully correspond to calculated values. It assumes creation of a technique of their research and consequently, development of mathematical model.

Analysis of the design schemes of hydraulic manipulators

As base points in this case the classification of hydraulic manipulators considering conditions of their application is supposed. It is possible to refer to them: application, degree of loading and degree of mobility (fig. 1)

In more careful analysis other types and groups can be also revealed, however more detailed division doesn't influence the main basic and design features of manipulators. Let's stop in more detail on the main distinctive features of each allocated group.

By application manipulators can be divided into three groups: kinematic, power and combined. We will refer to kinematic manipulators at the head of which are the requirements to accuracy and stability of kinematic indicators. In other words, these are the manipulators which provide the accuracy of a trajectory of the

movement at rather small sizes of forces operating on executive organ. It is necessary to refer to these group manipulators of technological lines in mechanical engineering.

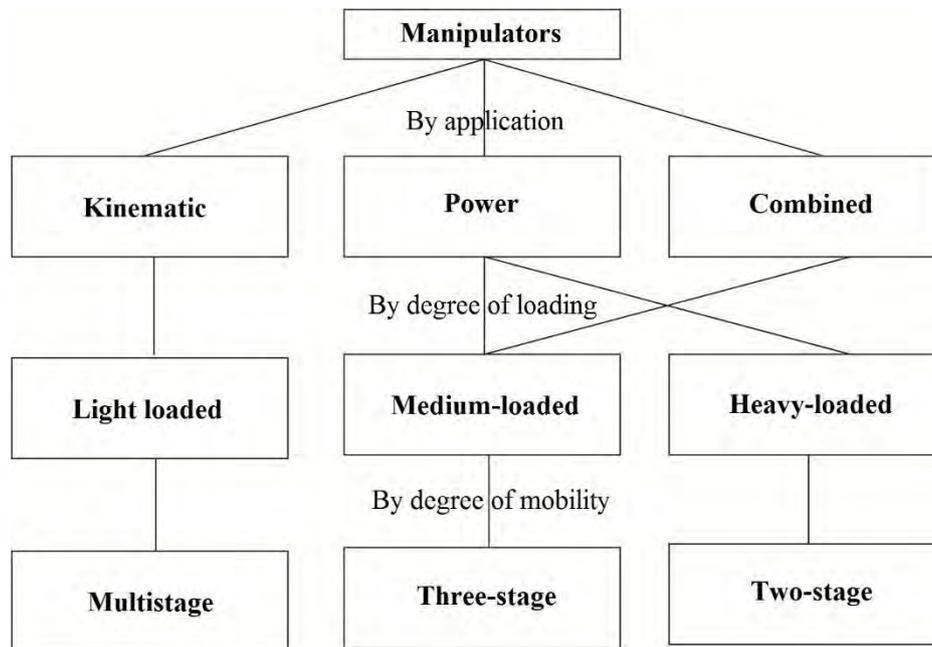


Figure 1 - Basic elements of classification of manipulators

Power manipulators make group to which special requirements to durability of elements to the detriment of the accuracy of kinematic indicators observance are imposed. It is obvious that these are mechanisms which executive organ is affected by significant forces. Representatives of this group are manipulators of army road and digging machines with hydraulic percussion executive organ.

The combined manipulators combine requirements to observance of accuracy of kinematics and durability of elements, i.e. with sufficient accuracy of aiming of executive organ they have to provide rather great efforts. Manipulators of drilling machines can be referred to this group.

Thus, division of manipulators by application indirectly defines their division according to degree of loading as it is concerned sizes of load on executive organ.

By this exponent of loading manipulators are divided on light loaded, medium-loaded and heavy-loaded. At the same time it is necessary to notice that there are no visible borders which divide these groups. Depending on subjective opinions of designers and researchers the same manipulator can be referred to various groups. For an exclusion of it, i.e. for more accurate differentiation of groups we have introduced the coefficient of loading of K_L representing force relation on executive organ of S to manipulator G weight:

$$K_L = S/G. \quad (1)$$

Let's establish borders of coefficient change for each of groups:

$K_L < 0,5$ – light loaded;

$0,5 < K_L < 1,0$ - medium-loaded;

$K_L > 1,0$ - heavy-loaded.

Comparison of the groups subdivided by application and degree of loading, shows that kinematic manipulators are easily loaded. Power can be medium - and heavy- loaded, combined - medium-loaded.

Division of manipulators according to degree of mobility allows also to allocate three groups: multistage, three-stage and two-stage. Group of multistage manipulators make the light loaded manipulators, medium-loaded have the number of degrees of freedom equal to three, and heavy- loaded are two-stage. It shows that power and energy indicators of executive organ define degree of mobility of the manipulator: the more the loading, the less the number of degrees of freedom. At number of degrees of freedom less than two the term "manipulator" is unacceptable.

Taking into account the introduced loading coefficient, it is possible to conclude that manipulators of hydraulic impulse forming machines are either medium or heavy-loaded.

Let's consider design features of manipulators of hydraulic impulse forming machines. We will show that the given classification allows to choose manipulator type for certain conditions of its work. If to mean by operating conditions of impulse forming machines requirements to the accuracy of a point of shock loading and to the size of necessary efforts developed by shock executive organs, then the manipulator can be power or combined, medium or heavy-loaded, three - or two-stage. If to consider at the same time that the coefficient of loading has the size more than 1.0, then the manipulator as heavy-loaded, it has to have two degrees of freedom. If the size of coefficient of loading corresponds medium-loaded, then the number of degrees of freedom has to be equal to three.

It is known that the number of degrees of freedom in total with basic elements of the machine defines its functional properties and the constructive scheme. Having in view that basic elements of the manipulator are the executive organ and a spit, and connection between them can be carried out by hydraulic cylinders, we can establish the constructive scheme of the manipulator taking into account the above-stated classification characteristics.

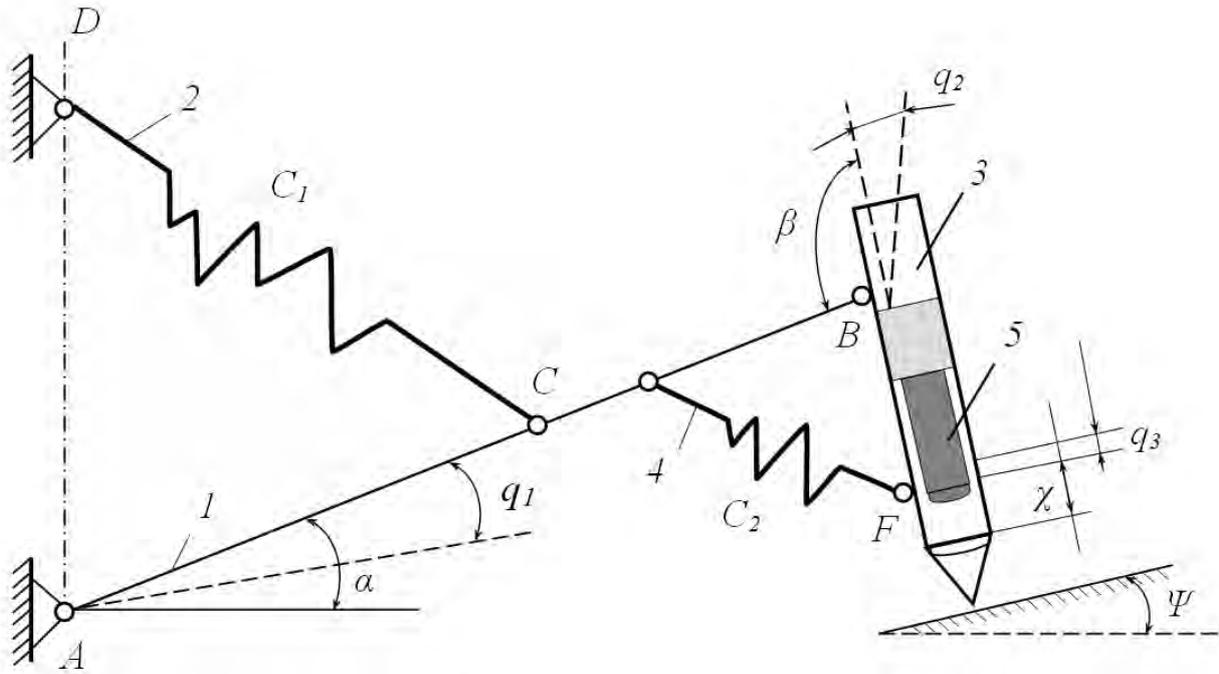
Mathematical calculation of the hydraulic manipulator scheme

The hydraulic manipulator scheme that is most appropriate for the operating conditions of the hydraulic impulse machines is proposed (Figure 2).

The scheme possesses necessary degree of mobility and at the same time has small number of joint assemblies and thereof considerable rigidity of the manipulator in general.

The scheme contains the spit 1 fixed on basic machine with the help of the cylindrical hinge A and hydraulic cylinder 2, the frame of the impact device 3 having a possibility of rotation about the spit by means of a hydraulic cylinder 4, in the frame the shock mass (pane) 5 moves by means of liquid pressure in working cameras. Thus, the studied manipulator has three degrees of freedom in the figure plane.

When solving various problems related to the operation of manipulators, the method of calculating the kinematic and dynamic quantities that determine the mathematical model of the manipulator is used.



1 - a spit; 2 and 4 - hydraulic cylinders; 3 - frame; 5 - pane; q_1, q_2 and q_3 - generalized coordinates

Figure 2 – The design scheme of the manipulator

For research of mechanical systems with a large number of degrees of freedom Lagrange's equation of the II class is widely used in the form of:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_1} &= Q_1 \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} &= Q_i \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

where: T is kinetic energy of system; q_1, q_2, \dots, q_i are generalized coordinates; $\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_i$ are generalized speeds; Q_1, Q_2, \dots, Q_i are generalized force; i is number of degrees of freedom.

When determining the sizes which are entered into system (1) it is accepted that the turn of a spit in the horizontal plane is auxiliary operation of an operating cycle, and while investigating it is lowered. The generalized coordinates of the system are $q_1 = \alpha; q_2 = \beta; q_3 = X$

Let's define kinetic energy of the system

$$T = T_1 + T_2 + T_3. \quad (3)$$

Noting that the spit rotates about the axis passing through point A, the frame of the impact device rotates together with the spit, and the pane makes the difficult movement, we will receive:

$$T_1 = \frac{G_1}{2g} \rho_1^2 \cdot \dot{q}_1^2;$$

$$T_2 = \frac{G_2}{2g} (l_2^2 \cdot \dot{q}_1^2 + \rho_2^2 \cdot \dot{q}_2^2); \quad (4)$$

$$T_3 = \frac{G_3}{2g} \left\{ \left[\dot{q}_3 - q_1 l_2 \cos \left(q_2 - \frac{\pi}{2} \right) \right]^2 + \left[\dot{q}_2 (b - q_3) + \dot{q}_1 l_2 \sin \left(q_2 - \frac{\pi}{2} \right) \right]^2 \right\}$$

where G_1, G_2 and G_3 are according to the gravity of a spit, frame and pane; g is acceleration of gravity; ρ_1 and ρ_2 are radiuses of inertia of a spit and frame; l_2 is length of a spit, b is an initial deviation of the center of pane masses from frame suspension point.

The generalized forces are defined with the use of a concept of elementary work on possible movement of system. In the researches devoted to the analysis of an operating cycle of hydraulic percussion systems, their cyclogram consists of three phases: acceleration of pane at its reverse motion; deceleration of pane at reverse motion and the operating course. According to it the generalized forces for each phase are defined.

Acceleration phase at reverse motion:

- for pane

$$Q_3^I = P_A - \frac{R_m}{\varepsilon} \left[1 - \frac{q_3}{l_p} (\varepsilon - 1) \right] - G_3 \cos \psi; \quad (5)$$

- for frame

$$Q_2^I = -F + P_A + G_2 \cos \psi - \frac{R_m}{\varepsilon} \left[1 - \frac{l_p - q_3}{l_p} (\varepsilon - 1) \right] - G_3 q_2 \frac{l_3 \sin \beta}{\sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3 l_4 \cos \beta}} \quad (6)$$

where P_A is driving force in the camera of reverse motion; R_m is maximum reaction force; ε is extent of gas compression in the pneumatic camera; l_p is the size of pane operating course; F is force of pressing soil; l_3 and l_4 are distance to suspension points of a hydraulic cylinder of the frame rotation.

Deceleration phase at reverse motion:

- for pane

$$Q_3^{II} = -\frac{R_m}{\varepsilon} \left[1 - \frac{q_3}{l_p} (\varepsilon - 1) \right] - G_3 \cos \psi; \quad (7)$$

- for frame

$$Q_2^{II} = -G_2 \cos \psi + \frac{R_m}{\varepsilon} \left[1 - \frac{l_p - q_3}{l_p} (\varepsilon - 1) \right] - G_2 q_2 \frac{l_3 \sin \beta}{\sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3 l_4 \cos \beta}} \quad (8)$$

Phase of the operating course:

- for pane

$$Q_3^{III} = -R_m \left[1 - \frac{q_3}{l_p} \cdot \frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon} \right] - G_3 \cos \psi; \quad (9)$$

- for frame

$$Q_2^{III} = -G_2 \cos \psi + R_m \left[1 - \frac{l_p - q_3}{l_p} \frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon} \right] - c_2 q_2 \frac{l_3 \sin \beta}{\sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3 l_4 \cos \beta}} \quad (10)$$

The generalized force for a spit doesn't depend on phases of the pane movement and is defined according to the received equation:

$$Q_1 = -c_1 l_2 q_1 \cos(\alpha + \psi) - c_1 l_2 \cos \alpha - c_2 q_1 \frac{(l_1 - l_2) \sin \beta}{\sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3 l_4 \cos \beta}} \quad (11)$$

where c_1 and c_2 are stiffness coefficients of two hydraulic cylinders (Fig. 1)

For simplification of the equations which result from substitution of values in initial expressions we will introduce the coefficients defined from conditions of the manipulator using:

$$a = \frac{1}{g} (G_1 \rho_1^2 + G_2 \rho_2^2 - G_3 l_2^2 \sin 2\beta);$$

$$b = \frac{G_3}{g} l_2 l \cos \beta;$$

$$c = \frac{G_3}{g} l_2 \cos \beta;$$

$$d = \frac{G_3}{g} l_2 \sin \beta;$$

$$i = \frac{1}{g} (G_2 \rho_2^2 + G_3 l^2);$$

$$j = 2 \frac{G_3}{g} l;$$

$$m_3 = \frac{G_3}{g};$$

$$f = \frac{G_3}{g} l^2;$$

$$s = \frac{G_3}{g} l_2 l;$$

$$h = G_1 l_2 \cos \alpha;$$

$$y = \frac{G_3}{g} l_2 l \sin \beta;$$

$$z = P_A - F + G_2 \cos \psi;$$

$$\eta = \frac{R_m}{l_p} \cdot \frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon};$$

$$\chi = P_A - G_3 \cos \psi - \frac{R_m}{\varepsilon};$$

$$k = \frac{(l_2 - l_3) \sin \beta}{\sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3l_4 \cos \beta}};$$

$$\lambda = \frac{l_3 \sin \beta}{\sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3l_4 \cos \beta}}$$

So the system of the differential equations of the second order describing the movement of the manipulator in each of phases of operating cycle is obtained:

- in acceleration phase of pane at reverse motion:

$$\begin{cases} \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(cq_3 - a - b + d) + \frac{c}{l_2}\dot{q}_3^2 - \frac{c_1f + c_2k}{l_2}l_2q_3 = -k - \frac{l_p}{j_2}(c_1f + c_2k); \\ \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(s - cq_3 + i - jq_3 + m_3q_3^2) + \frac{\dot{q}_3q_3c}{l_2} + \frac{\dot{q}_3^2}{l_2}\left(\frac{y-z}{l_2} + iq_3\right) - q_3\left(\eta - c_2\frac{\lambda}{l_2}\right) = 0; \\ \frac{\ddot{q}_3}{l_2}\left(\frac{d}{l_2} + m_3\right) + \frac{\dot{q}_3^2}{l_2}\left(\frac{b}{2} - m_3q_3 + d\right) + \eta q_3 = -\chi \end{cases} \quad (14)$$

- in deceleration phase of pane at reverse motion:

$$\begin{cases} \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(cq_3 - a - b + d) + \frac{c}{l_2}\dot{q}_3^2 - \frac{c_1f + c_2k}{l_2}q_3 = -h - \frac{l_p}{l_2}(c_1f + c_2k); \\ \frac{\ddot{q}_3}{l_2}\left(i + b - \left(\frac{j}{2} + c\right)q_3 + m_3q_3^2\right) + \frac{\dot{q}_3}{l_2} + \frac{\dot{q}_3^2}{l_2}\left(c + \dot{q}_3 - q_3\left[c + d - \frac{b+y}{l_2} + \frac{c-d}{l_2}\dot{q}_3\right]\right) - \\ - \frac{q_3^2}{l_p^2}(b + m_3[q_3 - l_p] - j[l + q_3]) - q_3\left(\eta + c_2\frac{\lambda}{l_2}\right) = 0 \\ \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(d + m_3l_4) + \frac{\dot{q}_3^2}{l_2}\left(b + \left[2 - \frac{d}{2}\right]q_3\right) + \eta q_3 = -F \end{cases} \quad (15)$$

- in phase of the operating course of pane:

$$\begin{cases} \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(cq_3 - a + b + d) + \frac{c}{l_2}\dot{q}_3^2 - \frac{c_1f + c_2k}{l_2}q_3 = -h - \frac{l_p}{l_2}(c_1f + c_2k); \\ \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(i - b - (c + j)q_3) + \frac{\dot{q}_3^2}{l_2}(m_3q_3^2(j + c - d)q_3 - 2(c + d) - y - b + 2) + \\ + c_2\lambda q_3 = \eta \\ \frac{\ddot{q}_3}{l_2}(d + m_3l) + \frac{\dot{q}_3^2}{l_2}\left(2 - b - \frac{\gamma}{2}q_3\right) + \eta q_3 = H \end{cases} \quad (16)$$

In the received system of the equations the \ddot{q}_3 element represents acceleration of pane, \dot{q}_3 is its speed. Therefore, the considered system can be considered mathematical model of the shock mechanism. The solution of system is made by the known methods with use of a complex of basic data determined by the technical and operational conditions of application of the manipulator.

At the same time statement and the solution of two problems is possible. The first, or direct: to determine power and energy indicators of the shock mechanism by the set design parameters and kinematic indicators of the shock mechanism. The second, or inverse: to lay down design parameters of the manipulator and its kinematic parameters on the set energy and power indicators of the shock mechanism.

Conclusions

Mathematical modeling of the hydraulic manipulator for the working conditions of the hydraulic impulse machines has been carried out. A mathematical model containing differential equations of motion of the main links was compiled. The design scheme of the hydraulic manipulator is described. The system under consideration is a mathematical model of a hydraulic shock mechanism. The proposed mathematical model can be used to optimize the designs developed hydraulic shock mechanisms

References

1. Chekhutskaya N.G. The use of manipulators with hydraulic drive in machines for various technological purposes // Agricultural engineering and energy supply. 2014. № 1 (1). pp. 62-64.
2. Lagerev I.A. Comparative analysis of hydraulic crane-manipulators of transport-technological machines and hydraulic manipulators of industrial robots // Scientific and Technical Journal of Bryansk State University, 2016, №3, pp. 16-43.
3. Smirnov Yu.M., Kenzhin B.M., Smakova N.S. Motion modes of hydraulic impulse systems. - Karaganda, Publishing House of KSTU, 2016. - 148 p.
4. Krakhmalev O.N. Mathematical modelling of dynamics of manipulation systems of industrial robot and cranes. Bryansk, BGTU, 2012. 200 p.
5. Lagerev I.A. An characteristics analysis of articulating cranes of domestic and foreign producers. Podemno-transportnoe delo, 2016, No. 1-2, pp. 8-10.
6. Sokolov S.A. Lifting-transport machines metall constructions. SPb, Politekhnik, 2005. 423 p.

*Арепьева С.В.**Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан*smirnovasv@mail.ru*Arepieva S.V.**RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan*

Аннотация: в данной статье рассматриваются вопросы интегрируемости суммы рядов по системе Уолша. Рассматривается ряд со специальными коэффициентами.

Ключевые слова: сумма, сходимость, интегрируемость, коэффициенты, вес.

Abstract: in the present paper, we solve the following problem: to find conditions for the p -th-power integrability with weight of the sums of Walsh series.

Key words: sum, convergence, integrability, coefficients, weight.

После появления компьютеров, в которых в основном используется представление чисел в двоичной системе счисления, функции Уолша нашли широкое применение в различных областях математики, физики, радиотехники, электроники.

Широкий диапазон применений обусловил большой интерес к функциям Уолша, теории рядов Фурье-Уолша и преобразованиям Фурье-Уолша.

Впервые ортонормированную систему функций, получившую название системы Уолша, построил в 1923 году американский математик Дж. Уолш. Функции этой системы являются ступенчатыми на отрезке $[0,1]$ и принимают всего два значения, а именно -1 и $+1$ на промежутках, концы которых являются двоично-рациональными числами.

В данной статье приводятся условия, при которых сумма рядов по системе Уолша интегрируема с весом. При этом коэффициенты ряда принадлежат специальному классу.

Рассмотрим на полуинтервале $[0;1)$ функцию

$$r_0(x) = \begin{cases} 1, & x \in \left[0, \frac{1}{2}\right) \\ -1, & x \in \left[\frac{1}{2}, 1\right) \end{cases}$$

и продолжим ее периодически с периодом 1 на всю числовую ось.

Определим функции $r_k(x) = r_0(2^k x)$, $k=0,1,2,\dots$. Функции $r_k(x)$ называются функциями Радемахера.

Систему функций Уолша в нумерации Пэли $\{w_n(x)\}_{n=0}^{\infty}$ получим в результате перемножений между собой функций Радемахера [1].

Представим натуральное число n в двоичной записи, т.е. в виде

$$n = \sum_{i=0}^k \varepsilon_i \cdot 2^i,$$

где $\varepsilon_k=1$, $\varepsilon_i=0$ или 1 при $i=0,1,\dots,k$.

Положим

$$w_n(x) = \prod_{i=0}^k (r_i(x))^{\varepsilon_i}.$$

Рассмотрим ряд по системе Уолша

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n w_n(x). \quad (1)$$

Известен следующий результат.

Теорема А ([2]) Пусть $\{a_n \geq 0\} \in Q$, $1 < p < \infty$, $1 - p < \alpha < 1$.

Тогда

$$x^{-\alpha} |\psi(x)|^p \in L(0, \pi) \Leftrightarrow \sum_{n=1}^{\infty} n^{\alpha+p-2} a_n^p < \infty,$$

где $\psi(x)$ – сумма синус или косинус рядов.

Для M – класса монотонных убывающих последовательностей результаты приведены в работах R.P. Voas Jr. [3], P. Heywood [4], для QM – класса квазимоноотонных последовательностей в работе R. Askey, Wainger S. [5], для класса $GM(\bar{\beta})$ в работе С. Тихонова [6], для $GM(\beta^*)$ в работе D.S. Yu, P. Zhou and S.P. Zhou [7], где

$$GM(\beta) := \left\{ \{a_k\} : \sum_{k=n}^{2n} |\Delta a_k| \leq C \beta_n \right\}$$

и

$$\bar{\beta}_n = |a_n|, \quad \beta_n^* = \sum_{k=[n/c]}^{[nc]} \frac{|a_k|}{k} \quad \text{для некоторого } c > 1.$$

В работах [6] и [8] показано, что

$$M \subseteq QM \subseteq GM(\bar{\beta}) \subseteq GM(\beta^*). \quad (2)$$

В работе М. Дьяченко и С. Тихонова [2] рассмотрены β – обобщенно монотонные коэффициенты.

Следуя С.Тихонову [6] будем говорить, что последовательность $\{a_k\} \in \overline{GM}_\theta$ если

$$\sum_{k=n}^{\infty} |\Delta a_k| < C \cdot n^{\theta-1} \sum_{k=[n/c]}^{\infty} \frac{|a_k|}{k^\theta}, \quad \text{для некоторого } c > 1,$$

где $\Delta a_k = a_k - a_{k+1}$, $[t]$ – целая часть числа t .

При $\theta=1$ определяют $\overline{GM} \equiv \overline{GM}_1$.

Согласно (2)

$$GM(\beta^*) \subseteq \overline{GM} \equiv \overline{GM}_1 \subseteq \overline{GM}_{\theta_2} \subseteq \overline{GM}_{\theta_1}, \quad 0 < \theta_1 \leq \theta_2 \leq 1.$$

Рассматривается ряд по системе Уолша (1), коэффициенты которого из класса \overline{GM}_θ – последовательности обобщенной монотонности.

Справедливы теоремы.

Теорема 1 Пусть $f(x)$ – сумма ряда (1), $1 \leq p < \infty$, $\{a_n \geq 0\} \in \overline{GM}_\theta$, $\theta \in (0,1]$, $1 - \theta \cdot p < \alpha < 1$, $\sum_{n=1}^{\infty} n^{\alpha+p-2} \cdot a_n^p < \infty$.

Тогда

$$\int_0^1 x^{-\alpha} |f(x)|^p dx < \infty.$$

Теорема 2 Пусть $f(x)$ – сумма ряда (1), $1 \leq p < \infty$, $\{a_n \geq 0\} \in \overline{GM}_\theta$, $\theta \in (0,1]$, $1 - \theta \cdot p < \alpha < 1$, $\int_0^1 x^{-\alpha} |f(x)|^p dx < \infty$.

Тогда

$$\sum_{k=1}^{\infty} 2^{k(\alpha+p-1)} \cdot \left(\frac{1}{2^k} \sum_{v=2^k}^{2^{k+1}-1} a_v^p \right) < \infty.$$

Следует отметить, что для рядов Уолша в теореме 2 необходимое условие для интегрируемости с весом выражено в терминах средних коэффициентов рассматриваемых рядов.

Рассмотрим утверждения для L_p – интегрируемости двойных рядов по системе Уолша – Пэли.

Условие А. если $\theta \left(\frac{1}{x_1} \right) \cdot \theta \left(\frac{1}{x_2} \right) \in L^p (0, 1)^2$ и для некоторого числа $c = c(\theta)$

> 0 и для всех $x_1 \geq 1, x_2 \geq 1$ выполняется неравенство

$$\int_{x_1}^{\infty} \int_{x_2}^{\infty} \frac{\varphi(t_1) \cdot \varphi(t_2)}{(t_1 \cdot t_2)^2} dt_1 dt_2 \leq C \cdot \frac{\varphi(x_1) \cdot \varphi(x_2)}{x_1 \cdot x_2}.$$

Теорема 3 Пусть $p > 1$, $f(x_1, x_2) = \sum_{\kappa_1=0}^{\infty} \sum_{\kappa_2=0}^{\infty} a_{\kappa_1 \kappa_2} W_{\kappa_1 \kappa_2}(x_1, x_2)$, $\theta(x_1), \theta(x_2)$ – неотрицательные, измеримые на $[1, \infty)$ функции.

Тогда

1. Если $\theta\left(\frac{1}{x_1}\right) \cdot \theta\left(\frac{1}{x_2}\right) \in L^p(0, 1)^2$ и

$$\sum_{n_1=1}^{\infty} \sum_{n_2=1}^{\infty} \left(\sum_{\kappa_1=0}^{n_1} \sum_{\kappa_2=0}^{n_2} a_{\kappa_1 \kappa_2} \right)^p \int_{n_1}^{n_1+1} \int_{n_2}^{n_2+1} \frac{\varphi^p(x_1)}{x_1^2} \cdot \frac{\varphi^p(x_2)}{x_2^2} dx_1 dx_2 < \infty, \quad (3)$$

то функция $\theta\left(\frac{1}{x_1}\right) \cdot \theta\left(\frac{1}{x_2}\right) f(x_1) \cdot f(x_2) \in L^p(0, 1)^2$

2. Если функция $\theta^{-q}(x_1) \cdot \theta^{-q}(x_2)$ удовлетворяет условию А и

$$\theta\left(\frac{1}{x_1}\right) \cdot \theta\left(\frac{1}{x_2}\right) f(x_1) \cdot f(x_2) \in L^p(0, 1)^2, \text{ то имеет место (3).}$$

Список литературы

1 Walsh J.L. A closed set of normal orthogonal functions. Amer.J. Math. - 1923.- V.45. – P. 5-24.

2 Dyachenko M. and Tikhonov S. Integrability and continuity of functions represented by trigonometric series: coefficients criteria. St. mathematica 193(3). - 2009. - P.285-306.

3 Boas R.P. Integrability of trigonometric series. Quat. J. Math. Oxford Ser. (2).- 3(1952). - P. 217-221.

4 Heywood P. On the integrability of functions defined by trigonometric series. J.Math.-5(1954). - P. 71-76.

5 Askey R, Wainger S. Integralibiti theorems for Fourier series. Duke Math. J.1966. - V.33.- № 1. P. 223 - 228.

6 Tikhonov S. Yu. Trigonometric series with general monotone coefficients. J.Math.Anal. № 26 (2007). P. 721-735.

7 Yu D.S., Zhou P. and Zhou S.P. On integrability and convergense of trigonometric series. St. Math.-182 (2007). - P. 215-226.

8 Tikhonov S. Yu. Best approximation and moduli of smmoothness: computation and equivalence theorems. Approx. Theory . -153 (2008). - P. 19-39.

**ПОЛУЧЕНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ
НА ОСНОВЕ ДИФОСФАТА НИКЕЛЯ**

**OBTAINING CORROSION INHIBITORS BASED ON NICKEL
PHOSPHATE**

*Кадникова О.Ю., Торетаев М.О., Алтынбаева Г.К., Айдарханов А.М.
Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан
kadnikovaolga@mail.ru*

*Kadnikova O., Toretayev M., Altynbayeva G., Aidarkhanov A.
RudnyIndustrialInstitute, Rudny, Kazakhstan*

Аннотация: В статье представлены исследования по разработке многокомпонентного ингибитора полимерного типа, являющегося эффективной ингибиторной защитой металлов от коррозии. Показана технология получения ингибиторов коррозии на основе дифосфата никеля.

Ключевые слова: ингибиторы коррозии, многокомпонентный ингибитор полимерного типа, дифосфата никеля, защита металлов от коррозии.

Abstract: The article presents research on the development of a multicomponent inhibitor of the polymer type, which is an effective inhibitory protection of metals from corrosion. The technology of producing corrosion inhibitors based on nickel diphosphate is shown.

Key words: corrosion inhibitors, multicomponent inhibitor of polymer type, nickel diphosphate, protection of metals from corrosion.

Технология отделочного производства предприятий легкой промышленности включает механическую обработку текстильных изделий в сочетании с обработкой различными смесями на основе химических веществ. Это позволяет получить высококачественные нити, пряжу, ткани обладающие хорошими потребительскими свойствами. В этой связи оборудование для отделки текстильных материалов должно иметь повышенную коррозионную устойчивость, удовлетворять требованиям экономного расходования энергоресурсов, воды, красителей и текстильных вспомогательных веществ, а также оснащено автоматическими средствами управления контроля и регулирования технологических процессов.

Технологическое оборудование текстильных предприятий в большей степени эксплуатируется в условиях, которые в значительной мере определяются особенностями физико-химического воздействия сопряженных деталей с окружающей средой. Поверхности деталей находятся в непосредственном контакте с газообразными и жидкими агрессивными средами, отличающимися составом, температурой, скоростью движения, а, следовательно, и коррозионной активностью по отношению к материалу детали.

В текстильной промышленности ущерб от коррозии металлов превышает 5% национального продукта, поэтому создание и применение ингибиторов коррозии следует рассматривать как актуальную задачу. Решением указанной проблемы является защита текстильного оборудования от коррозии [1-3].

Анализ патентной и научно-технической литературы показал, что существуют компании, специализирующиеся на использовании технологий по разработке и применению ингибиторов. Несмотря на то, что производство и ассортимент ингибиторов из года в год расширяются, их состав, технология получения, объем производства тщательно оберегаются зарубежными фирмами. Ингибиторы коррозии используются для создания стойких покрытий и химических соединений, связывающих кислород или другие ионы, служащие в качестве добавок в композициях, для создания покрытий в циркулирующих водных системах, в сетях водоснабжения, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности, в любых энергетических установках, для защиты микроэлектроники и современной военной техники, их вводят в топлива, масла, смазки, строительные материалы. В настоящее время в Казахстан импортируются ингибиторы российского и германского производств и потребность в них огромна, особенно в химической, электрохимической, нефтехимической, газовой, текстильной промышленности, в сетях водоснабжения и циркулирующих водах [4-7].

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования было рассмотрено вспомогательное оборудование для переработки отходов швейно-трикотажного производства, эксплуатация которого осуществлялась в условиях, сопряженных с водой и химикатами. Оборудование включает следующие узлы: механизм привода, раму с игольным покрытием, механизм подачи нити, механизм пропаривания и сушки, механизм для улучшения структуры нити. Технологическое оборудование выполняет роспуск деталей изделий (срывов) верхнего трикотажа и устраняет извитость нити в процессе проведения влажно-тепловой обработки полуфабриката.

Технологическая схема машины для переработки отходов трикотажа представлена на рисунке 1. С трикотажного полотна (срыва трикотажа), установленного на раме 1, нить сматывается, проходя через нитепроводник 2, два натяжных приспособления 3, контрольно-очистительное приспособление 4. Проходя через камеру 5, нить подвергается влажно-тепловой обработке и сушке, и наматывается на бобину 6.

Процесс влажно-тепловой обработки позволяет значительно улучшить структурно-механические свойства повторно используемой нити [8-13]. Однако постоянное использование влажно-тепловой среды на предложенном вспомогательном оборудовании приводит к коррозии рабочих органов, изменение свойств металла в дальнейшем ухудшает его функциональные характеристики. Частичное или полное разрушение металла при коррозии сопровождается образованием на поверхности металла оксидных пленок, окалин или ржавчины. В зависимости от степени адгезии их на поверхности металла наблюдаются различные случаи. Например, ржавчина на поверхности

железных сплавов образует рыхлый слой; процесс коррозии распространяется вглубь металла и может привести к образованию сквозных язв и свищей.

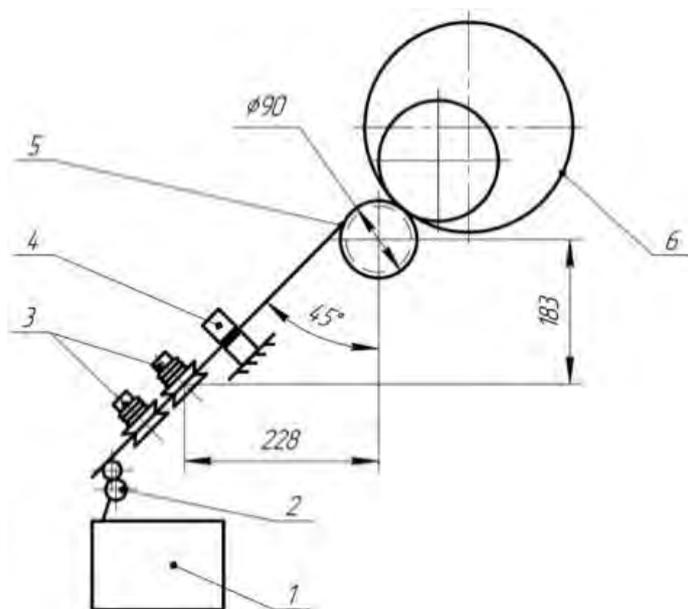


Рисунок 1 – Схема машины для переработки отходов трикотажа

Кроме этого, характерным видом коррозионных разрушений являются также коррозионная усталость и коррозионное растрескивание. Коррозионная усталость возникает при одновременном воздействии циклических растягивающих напряжений и агрессивной среды и обусловлена значительным понижением предела усталости в специфических условиях по сравнению с пределом усталости этих металлов на воздухе. Коррозионное растрескивание имеет место при одновременном воздействии коррозионной среды и внешних или внутренних растягивающих напряжений с образованием транскристаллитных и межкристаллитных трещин.

В связи с наличием неоднородности возможны случаи, когда анодом является сварной шов или отдельные участки зоны термического влияния. При электрохимической коррозии эти участки сварного соединения растворяются, что приводит к специфическим видам местной коррозии, проходящей иногда со значительной скоростью [14].

Оценивать и прогнозировать процессы развития местной коррозии затруднительно, поэтому они во многих случаях приводят к внезапному выходу конструкции из строя. В узлах сварные конструкции подвергаются достаточно жестким физическим воздействиям (агрессивные среды, динамические нагрузки, высокие температуры). Указанными обстоятельствами объясняется высокая скорость разрушения сварных соединений и, как следствие, значительно снижается работоспособность оборудования, наблюдается большое количество отказов оборудования при эксплуатации [15].

Указанные причины подтверждают необходимость создания эффективной защиты металлов от коррозии. Для определения эффективности защиты металлов от коррозии использовались методы исследований:

количественные методы прогнозирования, физико-химические методы, метод термического разложения ортофосфата аммония-никеля (NiNH_4PO_4).

В качестве исходного сырья были использованы:

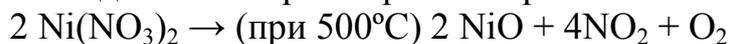
1. Нитрат никеля – $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,
2. Дигидроортофосфат аммония – $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$,
3. Активированный уголь – С.

При выборе исходных веществ учитывались их физические и химические свойства. Характеристика используемых реагентов представлена в таблице 1.

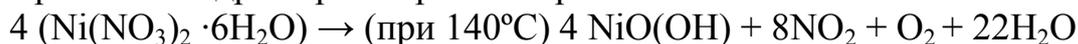
Нитрат никеля (II) – неорганическое соединение, соль металла никеля и азотной кислоты с формулой $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$. Нитрат никеля (II) образует светло-зелёные кристаллы, хорошо растворимые в воде, ацетонитриле, диметилсульфоксиде. Образует кристаллогидраты состава $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$, где $n = 2, 4, 6$ и 9 .

Наиболее стабильный кристаллогидрат $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ имеет строение $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{NO}_3)_2$.

Безводная соль при нагревании разлагается:



Кристаллогидрат при нагревании разлагается иначе:



Дифосфат аммония – наиболее широкое применение получил как фосфат аммония или полифосфат аммония в сельском хозяйстве в качестве удобрения. Они содержат два основных питательных элемента – азот и фосфор – в водорастворимой форме.

Таблица 1 – Характеристика используемых реагентов

Показатель	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	192,0 (с разл.)	-	-
Плотность, г/см^3	1,803	1,619	-
n_D^{20}	1,479	1,53	-
$C_p^\circ, \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{K})$	142,0	182,13	230,1
$\Delta H_{\text{обр}}^\circ, \text{кДж}/\text{моль}$	-1445,0	-1565,7	-1671,0
Растворимость в 100 г воды (25°C), г	40,0	69,5	17,7
pH 0,1 М раствора	4,4	8,0	9,4
Содержание азота, %	12,2	21,2	21,2
Содержание P_2O_5 , %	61,8	53,8	47,6

Исследование ингибирующих свойств NiNH_4PO_4 и $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$ по отношению к стальным образцам проводили по стандартной методике гравиметрическим методом. В качестве модельной среды использовали 5%-ный раствор хлорида натрия. Сравнительную оценку защитного свойства фосфата определяли по отношению к скорости коррозии металла в растворе без добавок ингибитора. Контроль антикоррозионной обработки воды исследуемым ингибитором проводили по визуальному осмотру поверхности стальных пластин и анализу коррозионных отложений.

Результаты и их обсуждение

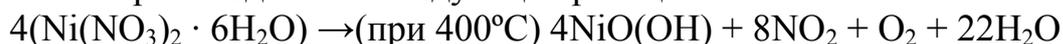
Современная классификация ингибиторов включает окислители, ингибиторы адсорбционного, комплексообразующего и полимерного типа. Такое разделение свидетельствует о разнообразии механизмов действия ингибиторов и возможности использования достижений различных областей химии для защиты металлов от коррозии. Особое значение имеют ингибиторы коррозии, используемые в водных средах.

Известно, что фосфаты широко применяются в качестве ингибиторов коррозии. В частности, для предупреждения накипеобразования и ингибирования коррозии употребляют различные фосфаты: орто-, ди-, трифосфаты, а также стеклообразные полифосфаты.

В настоящее время имеются сведения для более пяти тысяч веществ, являющихся ингибиторами коррозии стали. Однако, применение находят лишь несколько групп соединений, поскольку ингибиторы, используемые для антикоррозионной обработки воды, должны быть безвредными для человека и окружающей среды, устойчивы при воздействии температуры, легко дозироваться, а также иметь экономически оправданную стоимость. Из числа этих соединений наиболее широко используются неорганические полимерные фосфаты.

Одними из перспективных ингибиторов коррозии считаются композиции, в состав которых входят растворимые фосфаты и соли переходных металлов. Из конденсированных фосфатов наиболее интересными являются дифосфаты, вследствие устойчивости Р-О-Р цепочки и простоты получения. Эффективность ингибиторов на основе дифосфатов из солей 3d-элементов мало зависит от состава воды. Соединения d-металлов повышают скорость образования защитной пленки и тормозят коррозию стали в период ее формирования. Однако серьезным недостатком дифосфатов 3d-элементов является низкая скорость растворения в воде. Значительно увеличить скорость растворения труднорастворимых полимерных фосфатов можно введением ионов щелочных металлов или соединений, способных встраиваться в полифосфатную цепь и модифицировать ее. В частности, растворимость дифосфата никеля можно увеличить, заменив часть ионов никеля на ионы NH_4^+ .

На первом этапе работы для получения оксида никеля (NiO) была использована соль $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ массой 10,54 г. Навеска соли в алуновомтигеле была помещена в печь на 1 час, при температуре 400°C. Разложение происходило по следующей реакции:



Затем полученное вещество было отправлено на рентгенофазовый анализ, рисунок 2.

На втором этапе полученный оксид никеля (NiO) был использован для получения NiNH_4PO_4 . К массе никеля 8,59 г был добавлен $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ массой 18,57 г и уголь (С) в количестве 0,5 г. Данная смесь была помещена в шаровую мельницу. Циркуляция проходила в течение 1 часа.



Полученное вещество было отправлено на рентгенофазовый анализ, рисунок 3.

На третьем этапе был получен дифосфат никеля $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$ путем разложения NiNH_4PO_4 массой 12 г в печи при температуре 500°C . Разложение происходило по следующей реакции:



Полученное вещество было отправлено на рентгенофазовый анализ, рисунок 4.

Полученный выход продуктов:

$$\text{Этап 1: } W_1 = \frac{2.73 \cdot 100}{3.45} = 80 \%$$

$$\text{Этап 2 } W_2 = \frac{14.56 \cdot 100}{16} = 91 \%$$

$$\text{Этап 3 } W_3 = \frac{6.94 \cdot 100}{8.1} = 85 \%$$

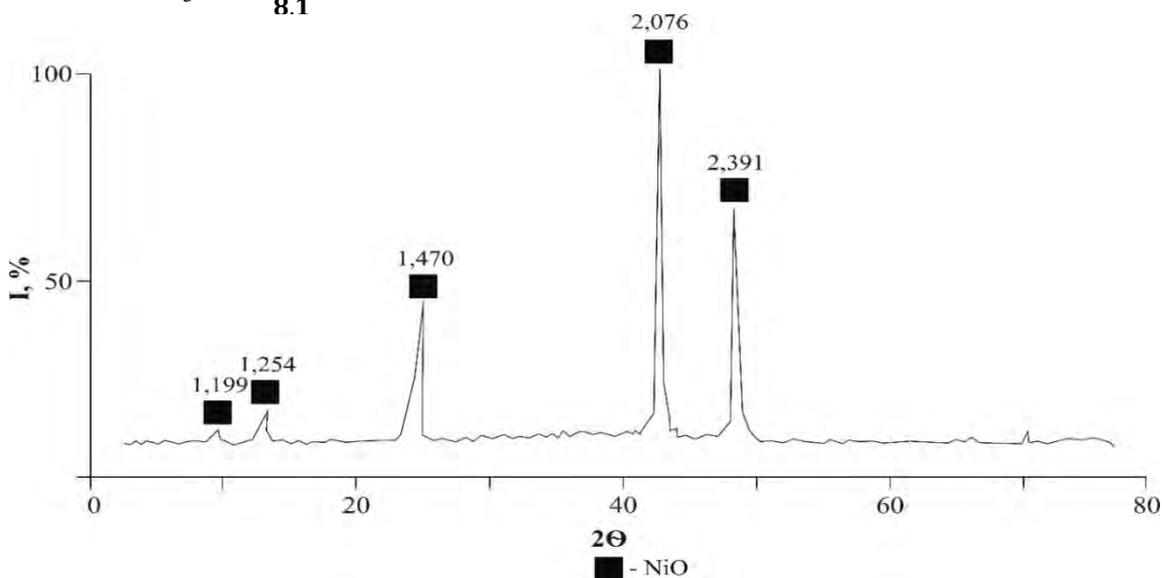


Рисунок 2 – Результат рентгенофазового анализа определения NiO

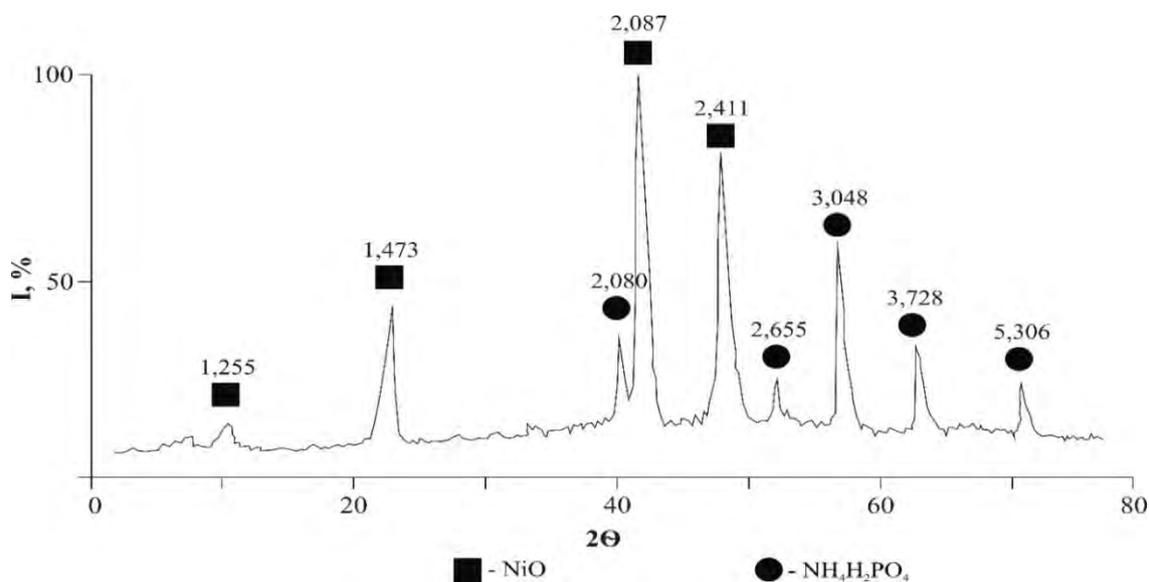


Рисунок 3 – Результат рентгенофазового анализа определения $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

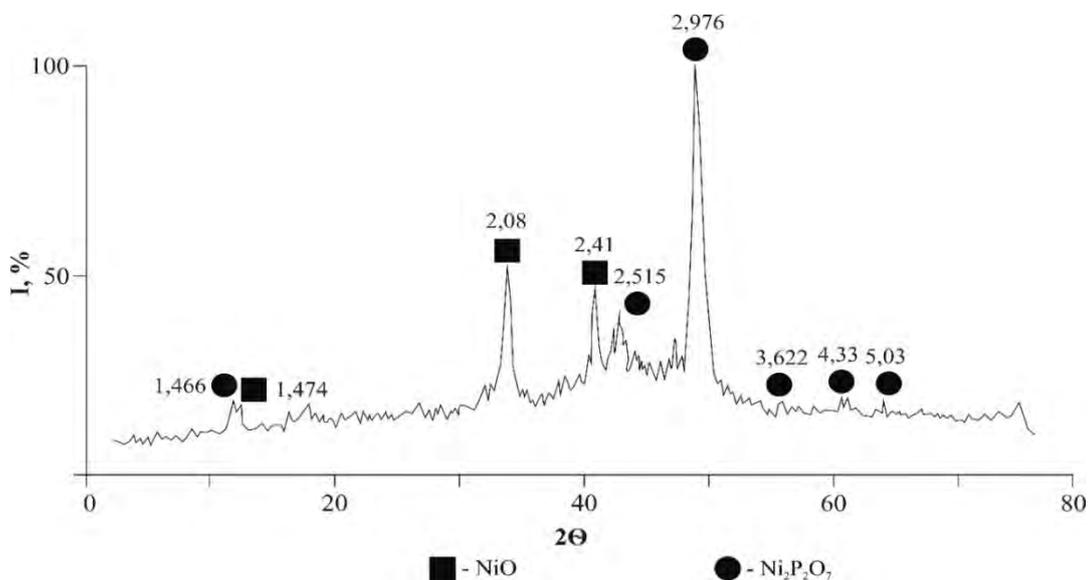


Рисунок 4 – Результат рентгенофазового анализа определения Ni₂P₂O₇

Из результатов данных рентгенофазового анализа следует, что на всех этапах были получены соединения NiO; NH₄H₂PO₄; Ni₂P₂O₇, что подтверждает ранее полученные теоретические данные выхода реакции.

Затем были изучены свойства полученных ингибиторов. Для этого четыре стальные пластины были помещены в четырех разных стаканах. В первом водопроводная вода, во втором фоновый раствор NaCl, в третьем раствор NiNH₄PO₄ с концентрацией 1·10⁻² моль/л, в четвертом раствор Ni₂P₂O₇ 1·10⁻² моль/л. Подготовленные исследуемые образцы оставили на неделю.

На заключительной стадии определили константу скорости гидролиза NiNH₄PO₄ и Ni₂P₂O₇ при температуре t = 25⁰С и pH=7. Кинетический анализ экспериментальных данных проводился по уравнению I-го порядка, формула 1:

$$K = \frac{2,3}{\tau} \cdot \lg \frac{a}{a-x} \quad (1)$$

где η – время контакта твердой фазы с водой;
 a – начальная концентрация при η=0, моль/л;
 (a-x) – конечная концентрация при η, моль/л.

О коррозионной стойкости стальной пластины в исследуемых растворах, судили по изменению массы образцов во времени, по которой рассчитаны скорость коррозии, формула 2.

$$V_{\text{кор}} = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 1000}{S \cdot t}, \text{ мг/см}^2 \cdot \text{ч} \quad (2)$$

где m₁ – масса стальной пластины до опыта, г;
 m₂ – масса стальной пластины после удаления коррозионных отложений, г;
 S – площадь поверхности образца, см²;
 t – время, ч.

Защитная способность Z и коэффициента торможения γ рассчитаны в соответствии с формулой 3,4:

$$Z = \frac{K_0 - K}{K_0} \cdot 100\% \quad (3);$$

$$\gamma = \frac{K}{K_0} \quad (4)$$

где K_0 – скорость коррозии без ингибитора,
 K – скорость коррозии в присутствии ингибитора, $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}^{-1}$.

В таблице 2 показаны изменения массы продуктов коррозии, образующихся на поверхности стальных пластин в исследуемых растворах, скорость коррозии, а также эффективность ингибирующего действия Z в зависимости от концентрации исследуемого раствора NiNH_4PO_4 и $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$

Из результатов гравиметрических исследований видно, что высокую защитную способность защиты от коррозии (98 %) проявляет раствор NiNH_4PO_4 при концентрации 10^{-2} моль/л, что на 18% выше раствора $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$ при концентрации 10^{-2} моль/л.

Высокая степень защиты объясняется адсорбцией ингибитора, что связано с образованием прочного Ni-Fe – содержащего комплексного соединения, приводящее к росту труднорастворимой пленки.

Таблица 2 - Результаты гравиметрического исследования ингибирующей способности NiNH_4PO_4 и $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

	Концентрация, моль/л	Масса пластины, г		$K_{\text{ср}}$	Z , защитный эффект, %	γ , коэффициент торможения
		до опыта	после опыта			
NaCl (фон)						
1	NaCl	5%	9,0534	3,1	0,06520	
			9,0403	2,9	0,05814	
			8,9843	3,2	0,06104	
NiNH_4PO_4						
2	$1 \cdot 10^{-2}$	8,7464	8,7462	2,9	98	0,02
	$1 \cdot 10^{-2}$	8,4473	8,4385	2,7		
	$1 \cdot 10^{-2}$	8,5344	8,5320	2,8		
$\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$						
3	$1 \cdot 10^{-2}$	8,6225	8,6207	2,9	80,1	0,14
	$1 \cdot 10^{-2}$	8,9243	8,9322	3,0		
	$1 \cdot 10^{-2}$	8,8305	8,8298	2,9		

Заключение

Таким образом, количественные методы прогнозирования показали ограниченную эффективность защиты металлов индивидуальными химическими соединениями, что ограничивает круг ранее известных ингибиторов. Поэтому все более актуальной становится разработка экологически безопасных, малотоксичных, многокомпонентных ингибиторов. Перспективными ингибиторами такого рода являются смеси, содержащие в своем составе соединения, способные образовывать самоорганизующиеся поверхностные слои. К настоящему времени такое модифицирование поверхности металлов является мало изученной областью, о чем свидетельствует анализ публикаций о свойствах полимерных ингибиторов.

Исследования показали, что основной причиной разрушений сварных швов машин текстильного производства является коррозионное растрескивание под действием водной среды и химических реагентов.

Теоретически и практически рассмотрены свойства NiNH_4PO_4 и $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Установлено, что использование компонентов раствора на рабочей поверхности оборудования приводит к образованию оптически невидимых пленок, которые не получаются традиционными способами.

Проведенный анализ различных способов получения $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$ выявил наиболее подходящий метод – это метод термического разложения NiNH_4PO_4 .

Экспериментально установлено, что полученный многокомпонентный ингибитор полимерного типа является эффективной защитой металлов от коррозии.

Список литературы

1. Сидиков Т.З., Холиков А.Ж., Акбаров Х.И., Тиллаев Р.С. Электрохимические и защитные свойства некоторых водорастворимых полиэлектролитов // Южоримолекулалибирикмаларкимёсифизикаси. Ёшолимларилмийанжумани. Тез. тўплами. - Ташкент, 2002. -Б.59-60.

2. Акбаров Х.И., Холиков А.Ж., Дюсебеков Б.Д., Тиллаев Р.С. Защитные свойства ингибиторов на основе водорастворимых полимеров, фосфорной кислоты и неорганических солей // Ўзбекистон минерал хомашёлариникимёвийқайтаишлашнингдолзарбмуаммолари. Республика илмий-амалийанжумани. Тез. тўплами. - Тошкент, 2003. -Б.74-75.

3. Холиков А.Ж., Акбаров Х.И., Тиллаев Р.С. Защитные свойства ингибиторов на основе фосфорной кислоты в различных средах // Новые технологии получения композиционных материалов на основе местного сырья и их применение в производстве. Республиканская научно-техническая конференция. Тез. докл. - Тошкент, 2005. -С.39.

4. Лидин Р.А. и др. Химические свойства неорганических веществ: Учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 2000. — 480 с.

5. Куанышева Г. Дифосфаты и их ингибирующие свойства/Г. Куанышева // Промышленность Казахстана. -Алматы, 2007, N №2.-С.77-79.

6. Куанышева Г.С., Ниязбекова А.Б., Даулеткалиева С.С. «Ингибирование коррозии стали дифосфатными комплексами титанила и ванадила». Вестник КарГУ No3, 2010 г.

7. Rakhova, A., Niyazbekova, A., Dauletkalieva, S., &Kuanysheva, G. (2012). Research of inhibitor properties of the modified polymeric phosphates. Chemical Bulletin of Kazakh National University, (1), 365-369.

8. Кадникова О.Ю., Алтынбаева Г.К., Айдарханов А.М., Шалдыкова Б.А., Успанова С.С. Переработка отходов швейно-трикотажного производства // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2016. № 5 (365). С. 141-143

9. Kadnikova, O., Altynbayeva, G., Kuzmin, S., Aidarkhanov, A., Shaldykova, B. Recycling of production waste as a way to improve environmental

conditions – 2018. - Energy Procedia 147, p. 402-408

10. Kadnikova, O.; Altynbayeva, G.; Aidarkhanov, Ar. и др. Improving the technology of processing sewing and knitwear production waste. // conect -2016. Energy Procedia: – 2014. – Т. 113: С. 488-493

11. Kadnikova, Olga; Altynbayeva, Gulnara; Aidarkhanov, Arman; и др. Potential analysis of implementation of developed technology for processing of sewing and knitting fabrics: International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies. Riga, Energy Procedia. 2017. Т. 128: С. 411-417.

12. Кадникова О.Ю. Рециклинг отходов трикотажного производства // Приоритетные направления развития образования и науки Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. 2017. С. 154-156.

13. Нурмухамбетова Б.Т., Кадникова О.Ю., Мухлис К.Ж., Джусупова-Парфилькина И.М Вторичное использование отходов производства как фактор сохранения экологической среды // Школа университетской науки: парадигма развития. 2017. № 1-4 (23-26). С. 170-172.

14. Sastri VS. Green corrosion inhibitors: Theory and practice. John Wiley & Sons. 2012.

15. Ralston KD, Birbilis N. Effect of grain size on corrosion: a review. Corrosion. 2010;66:75005.

СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС: ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ И ВЫЗОВЫ НОВОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ МАРКИ 08X18H10T

STUDY OF THE EFFECT OF RADIAL-SHEAR ROLLING ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL AISI 321

Найзабеков А.Б.¹, Панин Е.А.², Лежнев С.Н.¹, Арбуз А.С.³, Койнов Т.А.⁴

¹Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан; ²Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан;

³Назарбаев Университет, Нур-Султан, Казахстан; ⁴Университет химической технологии и металлургии г. София, Болгария

sergey_legnev@mail.ru

Naizabekov A. B.¹, Panin E. A.², Lezhnev S. N.¹, Arbuz A. S.³, Koinov T. A.⁴

¹Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan; ² Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan; ³Nazarbayev University, Nur-Sultan,

Kazakhstan; ⁴University of chemical technology and metallurgy, Sofia, Bulgaria

sergey_legnev@mail.ru

Аннотация: В работе приведены результаты исследования процесса деформирования нержавеющей аустенитной стали марки 08X18H10T на стане радиально-сдвиговой прокатки. Анализ результатов исследования эволюции микроструктуры и изменений механических свойств данной стали показал, что крупнозернистая исходная структура с размером зерен порядка 40-50 мкм в процессе деформирования измельчается до размера зерен 300-600 нм, а механические свойства и микротвердость стали 08X18H10T увеличилась более чем в 2 раза по сравнению с исходными значениями.

Ключевые слова: нержавеющая аустенитная сталь, радиально-сдвиговая прокатка, микроструктура, зерно, механические свойства.

Abstract: The paper presents the results of a study of the deformation process of austenitic stainless steel AISI 321 on the radial-shear rolling mill. Analysis of the results of the study of the microstructure evolution and changes in the mechanical properties of the steel showed that the coarse-grained initial structure with a grain size of about 40-50 microns during deformation is crushed to a grain size of 300-600 nm, and the mechanical properties and microhardness of steel AISI 321 increased more than 2 times compared to the initial values.

Key words: stainless austenitic steel, radial-shear rolling, microstructure, grain, mechanical properties.

В эпоху ускоренного развития научно-технического прогресса вопрос получения новых металлических материалов с улучшенным комплексом механических и физических свойств является очень актуальным. Одним из способов повышения как механических, так и эксплуатационных свойств, является использование металлических материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой. Такие материалы вследствие малого размера зерен содержат в структуре большое количество границ зерен, которые влияют на их механические и физические свойства. При этом, границы зерен должны быть преимущественно малоугловыми, а сами зерна равноосными, с размерами менее 1 мкм. Такие структуры обеспечивают сочетание высокого уровня прочностных характеристик с высокой пластичностью, что принципиально отличает такие материалы от обычных.

Из всех способов получения субультрамелкозернистых материалов – наиболее перспективным является интенсивная пластическая деформация, по причине возможности получения изотропных изделий большего объема, без внутренних несплошностей. Приведение, таким образом, микроструктуры металла в ультрамелкозернистое состояние открывает большие перспективы в области инженерии материалов [1-2].

Большинство способов получения УМЗ-материалов методами интенсивной пластической деформации не позволяет обеспечить получения достаточного количества УМЗ-материалов с достаточными для коммерческих изделий, габаритными размерами. Так, например, наиболее часто используемые и изученные методы, такие как равноканальное угловое прессование имеют критические ограничения на длину полученной заготовки, что значительно усложняет его промышленное применение [2].

Решить проблему по получению длиномерных заготовок с УМЗ-структурой возможно путем использования радиально-сдвиговой прокатки (РСП) [3-4]. Отличие данного способа прокатки от обычной поперечно-винтовой прокатки, состоит в том, что в данном случае прокатывается цельный круглый прут по трехвалковой схеме с увеличенными углами подачи валков, что способствует интенсификации деформации сдвига и немонотонности течения металла в условиях преобладания схемы гидростатического сжатия [1]. Такие условия благоприятны для формирования УМЗ структуры, особенно при пониженных температурах деформации. Поэтому этот способ деформирования имеет большой потенциал для получения длиномерных металлических изделий с УМЗ структурой, поскольку в отличие от других способов максимально прост, эффективен и технологичен.

Целью данной работы было исследование процесса радиально-сдвиговой прокатки нержавеющей аустенитной стали и выявления ее влияния на эволюцию микроструктуры и механические свойства.

Учитывая ранее полученные в работах [5, 6] данные конечно-элементного моделирования, было решено провести натурный эксперимент для условий, определенных как оптимальные. Таким образом, план эксперимента включал прокатку прутков с диаметра 30 мм на стане радиально-сдвиговой прокатки СВП-08 до диаметра 9 мм за 7 проходов с обжатием 3 мм в каждом, при температуре 800°C со штатной скоростью вращения валков 50 об/мин. Для исключения влияния повторного нагрева, решено было прокатывать все прутки с одного нагрева нужное количество проходов, поэтому, для исследования эволюции микроструктуры и механических свойств за 7 проходов, было использовано 7 образцов, по образцу для каждого конечного диаметра. Еще по два образца были прокатаны с целью дублирования результатов в каждом проходе. Дублирующими были выбраны четвертый и последний проходы.

Каждый исходный образец представлял собой пруток с диаметром 30 мм и длиной 200 мм. Материал образца – нержавеющая сталь аустенитного класса марки 08X18H10T (0,08 % C; 17-19 % Cr; 9-11 % Ni; 2 % Mn; 0,8 % Si; 0,5-0,7 % Ti). После достижения требуемого диаметра, производилось интенсивное охлаждение прутка водой. Подобный температурный режим для получения УМЗ структуры нержавеющих сталей был использован в работе [7].

После прокатки из каждого прутка на высокоточной отрезной машине Struers AccuTom-5 вдоль прутка были нарезаны образцы в виде полосок размерами 30x3x0,3 мм для проведения механических испытаний, а так же были подготовлены микрошлифы для изучения эволюции микроструктуры. Для испытания на разрыв было взято по 3 полоски из каждой точки эксперимента (плюс по 3 полоски от дублирующих образцов для проходов 4 и 7). Также были вырезаны и приготовлены образцы для механических испытаний и исследования микроструктуры исходного материала.

Механические свойства были определены путем испытания на разрыв плоских образцов на испытательной машине Instron-1195. Для испытаний были взяты полоски, центральная линия которых проходит на расстоянии 0,5 диаметра прутка, что позволит получить наиболее объективные результаты учитывая прогнозируемую неоднородность микроструктуры по сечению прутка. Результаты испытаний для каждой точки были усреднены и представлены в виде графиков на рисунке 1.

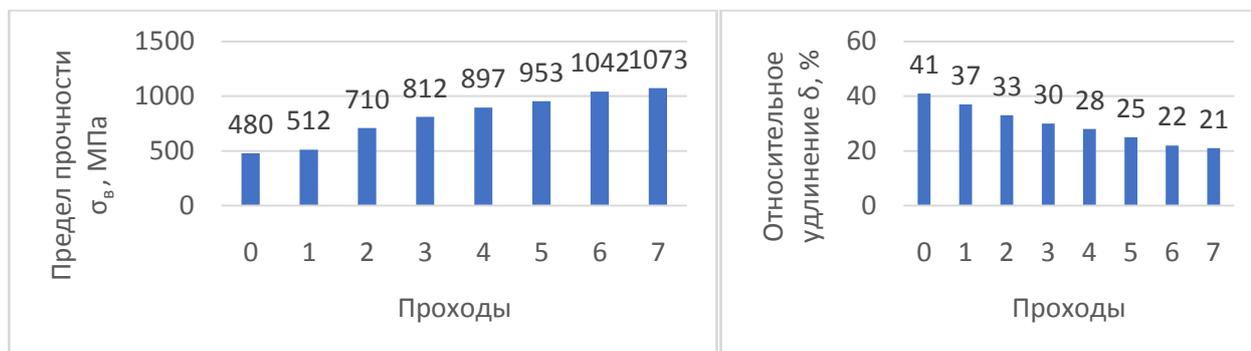
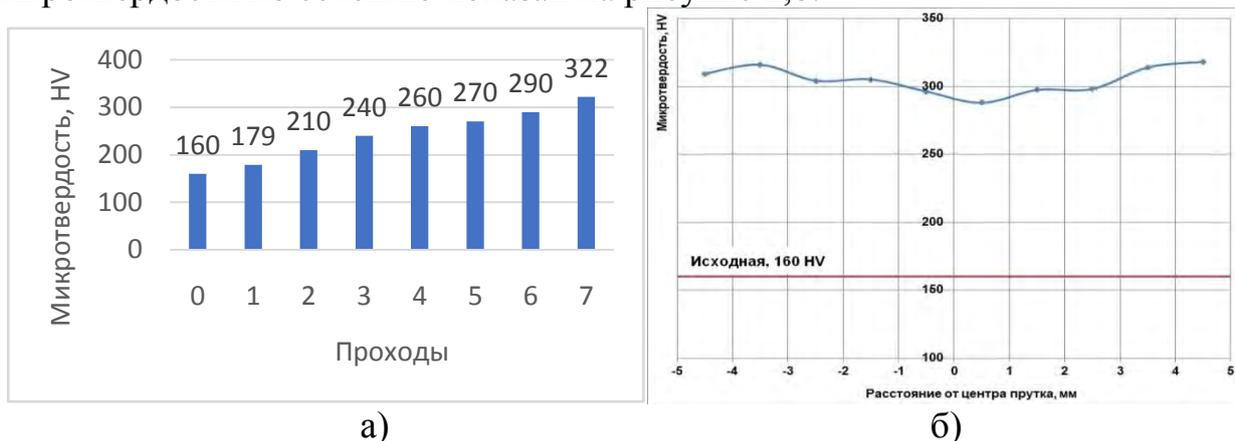


Рисунок 1 – Механические свойства нержавеющей аустенитной стали марки 08X18H10T после радиально-сдвиговой прокатки по проходам

Из графиков можно заключить, что механические свойства монотонно изменяются в зависимости от количества проходов. При этом, прочность (ζ_B) увеличивается почти в 2 раза до значения в 1073 МПа, а относительное удлинение, которое является одним из показателей пластичности материала, снижается также в 2 раза, достигая 21%, против исходных 40%. Снижение относительного удлинения в данном случае находится в пределах нормы для материалов прошедших подобную обработку и сравнимо с известными данными, например, при деформировании данного материала методом РКУП [8].

Далее, на оставшихся после разрезки половинах прутка было проведено исследование микротвердости. Измерения проводились на микротвердомере HVS-1000В по Виккерсу с усилием 9,87 Н при выдержке 15 секунд. Для каждого образца делалось 7 измерений на расстоянии не менее 2,5 размера отпечатка от точки предыдущего измерения. Исходная микротвердость составляет 160 HV. После радиально-сдвиговой прокатки, уровень микротвердости поднялся до 288-321 HV и в целом возрос в 2 раза по сравнению с исходной. Результаты были усреднены по проходам и представлены в виде графика на рисунке 2, а.

Учитывая прогнозируемую неоднородность микроструктуры при больших деформациях, было решено исследовать изменение микротвердости по сечению прутка для последнего (седьмого) прохода, поскольку именно этот образец в дальнейшем будет служить для приготовления образцов для облучения. С целью построения профиля микротвердости, измерения проводились через каждый миллиметр сечения образца по 3 раза в каждой точке графика. Результаты по каждой точке усреднялись. График изменения микротвердости по сечению показан на рисунке 2,б.



а – по проходам; б – по сечению прутка после последнего прохода

Рисунок 2 – Микротвердость (HV) нержавеющей аустенитной стали марки 08X18N10T после радиально-сдвиговой прокатки

Как и ожидалось, вследствие структурной неоднородности по сечению прутка наблюдается плавное падение уровня микротвердости центральной зоны

прутка на 10,2 % (33 HV). В остальном, уровень микротвердости достаточно высок по всему сечению без резких провалов.

Далее было проведено исследование микроструктуры на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ). Образцы были приготовлены электролитическим способом в растворе (600 mlMethanol, 360 mlButylcellosolve, 60 mlPerchloricAcid) и исследованы на просвечивающем электронном микроскопе JEM-2100 (JEOL, Япония) при ускоряющем напряжении 200 кВ. Микроструктура исследовалась в центре и на периферии сечения прутка. Средний размер зерна был подсчитан методом секущих [9] по наиболее характерным полям для каждого образца. Расчет проводился по образцам, вырезанным из периферийной зоны, так как наибольшее измельчение и формирование требуемой равноосной УМЗ структуры происходит именно там (рисунок 3). Так же это связано и с тем фактом, что в осевой зоне на последних проходах формируется волокнистая текстура с длинными вытянутыми зернами и поэтому определение среднего значения зерна затруднено и некорректно.

По приведенному графику можно заключить, что наиболее интенсивное измельчение структуры начинается после второго прохода, что может быть объяснено насыщением зерен деформируемого слоя дислокациями вследствие высоких степеней деформации и пониженной температуры прокатки. Исходная структура стали марки 08X18H10Тв состоянии поставки имеет крупнозернистую структуру с размером зерен порядка 40-50 мкм. После деформации с суммарной вытяжкой 11, была получена ультрамелкозернистая микроструктура в периферийной части прутка с размером зерен (300-600 нм) сопоставимым с результатами известных исследований [10-11]. При этом, следует отметить, что зерна периферийной части имеют равноосный характер. Структура центральной зоны прутка представляет собой вытянутые в направлении прокатки длинные и узкие зерна напоминающие текстуру прокатки. После второго прохода, размер зерна монотонно уменьшается вдвое за каждый проход и достигает среднего размера 500 нм в конце прокатки, т.е. после седьмого прохода. Микроструктура периферийной и осевой зон после семи проходов приведена на рисунке 4.



Рисунок 3 – Изменение размера зерна нержавеющей аустенитной стали марки 08X18H10Т после радиально-сдвиговой прокатки по проходам

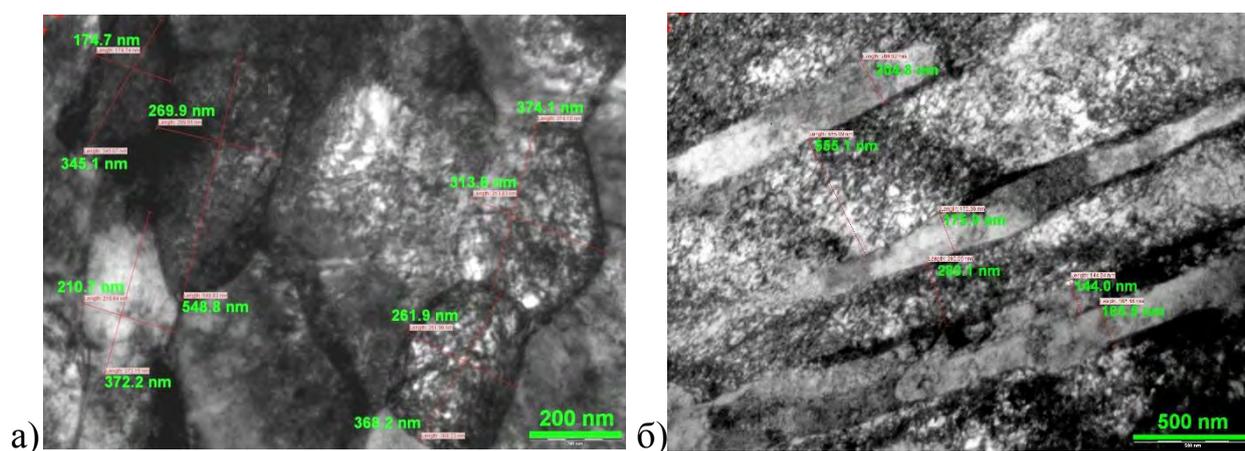


Рисунок 4 - Микроструктура периферийной (а) и осевой (б) частей прутка нержавеющей аустенитной стали 08X18N10T(AISI-321) после радиально-сдвиговой прокатки

Вывод: улучшения качества изделий из черных металлов путем измельчения их структуры до ультрамелкозернистого состояния является одним из главных трендов современного материаловедения, однако, основная проблема таких материалов – небольшие конечные размеры заготовок и низкая технологичность производства. Проведенные в рамках данной работы исследования позволили доказать возможность получения радиально-сдвиговой прокаткой ультрамелкозернистой структуры в длинномерных заготовках из нержавеющей аустенитной стали класса 08X18N10T, а так же добиться существенного повышения исходных механических свойств данной стали. Так в ходе экспериментальных исследований были получены прутки диаметром 9 мм из стали 08X18N10Tс размером зерна 300-600 нм, имея при этом неоднородность по сечению прутка. При этом механические свойства и микротвердость стали 08X18N10T увеличилась более чем в 2 раза по сравнению с исходными значениями.

Примечание: Данная работа выполнена в рамках выполнения темы № AP05131382 «Разработка и исследование технологии получения ультрамелкозернистых материалов с улучшенными механическими свойствами и повышенной радиационной стойкостью для использования их в качестве материалов первой стенки термоядерных реакторов и в ядерной энергетике» по программе грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим проектам на 2018-2020 годы в Республики Казахстан.

Список литературы

1R.Z. Valiev, R.K. Islamgaliev, I.V. Alexandrov. Bulk nanostructured materials from severe plastic deformation.// Progress in Materials Science, 45, 2, 2000. – pp.103-189.

2 Structural nanocrystalline materials: Fundamentals and applications.// C.C. Koch, I.A. Ovid'ko, S. Seal, S. Veprek// Cambridge, Cambridge University Press, 2007.

3 Пат. № 2293619 Российская Федерация, МПК В21В 19/00. Способ винтовой прокатки./ Галкин С.П.; заявитель и патентообладатель НИТУ МИСиС – № 2006110612/02, заявл. 04.04.2006; опубл. 20.02.2007. Бюл. изобр., 2007, № 5.

4 S.P. Galkin. Radial shear rolling as an optimal technology for lean production.// SteelinTranslation, 44, 1, 2014. – pp. 61-64.

5 Computer modelling of radial-shear rolling of austenitic stainless steel AISI-321.// Nayzabekov A., Lezhnev S., Panin E., Arbuz A., Koinov T.// International Journal «Machines, Technologies, Materials», 12/2018, Sofia, Bulgaria. - p.497-500.

6 A.B. Naizabekov, S.N. Lezhnev, E.A. Panin, A.S. Arbuz Компьютерное моделирование эволюции микроструктуры при радиально-сдвиговой прокатке с использованием программного комплекса SIMUFACT. FORMING и баз данных материалов MATILDA.// XIX International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics», Cześćochowa, 2018 – p. 31-34.

7 Андриевский Р.А. Наноматериалы на металлической основе в экстремальных условиях. Учебное пособие/ - М.: Лаборатория знаний, 2016. – 105 с.

8 Влияние равноканального углового прессования в интервале температур 200-400°С на эксплуатационные свойства стали 08Х18Н10Т./ Рыбальченко О.В., Токарь А.А., Терентьев В.Ф., Просвирнин Д.В., Рааб Г.И., Добаткин С.В.// VI Всероссийская конференция по наноматериалам с элементами научной школы для молодежи. 2016. - С. 321-322.

9 Гуляев А.П. Металловедение. - М.: Металлургия, 1986. - 544 с.

10 Микроструктура и усталостные свойства аустенитной коррозионностойкой стали 08Х18Н10Т после равноканального углового прессования и последующего нагрева./ Токарь А.А., Рыбальченко О.В., Беляков А.Н., Просвирнин Д.В., Торганчук В.И., Терентьев В.Ф., Рааб Г.И., Добаткин С.В.// Сборник трудов IX-ой Евразийской научно-практической конференции. 2018. - С. 97.

11 Abdrakhman Naizabekov, Sergey Lezhnev, Alexandr Arbuz, Evgeniy Panin, Combined process “helical rolling-pressing” and its effect on the microstructure of ferrous and non-ferrous materials, Metall. Res. Technol. 115, 213 (2018).

**ANALYSIS OF THE PROCESS OF PLATE ROLLING ON THE
REVERSING MILL**

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЛИСТОВ НА РЕВЕРСИВНОМ
СТАНЕ**

Anna Kawalek¹, Henryk Dyja², Kirill Ozhmegov¹

*¹ Institute of Metal Forming and Safety Engineering, Czestochowa University of
Technology, Poland; ² Metal Forming Institute, Poland
kawalek.anna@wip.pcz.pl*

Анна Кавалек¹, Генрик Дия², Кирилл Ожмегов¹

*¹ Институт обработки металлов давлением и техники безопасности,
Ченстоховский технологический университет, Польша;
² Институт металлообработки, Польша
kawalek.anna@wip.pcz.pl*

Abstract: The paper presents and describes the results of testing the asymmetric rolling process of S355J2 + N steel plates, fed at an angle to the roll gap. The asymmetrical rolling process was used to counteract the uncontrolled bending of the angled band in order to eliminate the unfavourable bending of the band downwards. The range of acceptable values of velocity asymmetry coefficients of peripheral working rolls in a preliminary rolling mill and other parameters of the rolling process at which it is possible to obtain a straight band or change the direction of its bending was determined. Theoretical research was carried out using the Forge computer program based on the finite element method.

Key words: asymmetric rolling process, steel S355J2+N, asymmetry coefficient, band bending

Аннотация: В статье представлены и описаны результаты испытаний процесса асимметричной прокатки стальных листов S355J2 + N, подаваемых под углом к валковому зазору. Процесс асимметричной прокатки использовался, чтобы противодействовать неконтролируемому изгибу угловой ленты, чтобы устранить неблагоприятное изгибание ленты вниз. Определен диапазон допустимых значений коэффициентов асимметрии скорости периферийных рабочих валков в стане предварительной прокатки и других параметров процесса прокатки, при которых можно получить прямую полосу или изменить направление ее изгиба. Теоретические исследования проводились с использованием компьютерной программы Forge на основе метода конечных элементов.

Ключевые слова: асимметричный процесс прокатки, сталь S355J2 + N, коэффициент асимметрии, изгиб ленты

Introduction

Rolling flat products is among the most common and most frequently applied plastic working processes used to form metals. The manufacture of flat products and implementing them in various fields of industry, such as the defence, automotive, household articles, conventional, wind and nuclear energy industries is the hallmark of the scale of modernity and development of a given country's metallurgical industry.

Flat products must meet the requirements of demanding purchasers in terms of their plastic properties, shape and allowable thickness deviations, or chemical compositions.

Among flat products, plates and slabs make up an important group. They are most commonly manufactured in tandem plate rolling mills equipped with a vertical roll stand and 2 horizontal four-high stands, on which rolling is done by the reversing method.

When the stock is fed to the roughing stand, and the band is fed to the finishing stand of the Plate Rolling Mill, the neutral axis of the stock or band is, in the majority of cases, does not coincide with the neutral axis of the roll gap; whereas, the shorter the band, the larger the angle at which it is introduced to the deformation zone. As a consequence, the geometrical conditions of band deformation on the upper and lower working roll sides are disturbed, and the rolling process itself becomes an asymmetric process, which will vary in each subsequent pass [1, 2]. This phenomenon causes an adverse bending of the band towards either lower or upper roll. The bent band is then straightened by roller table rollers; yet, its beginning has a permanently distorted (wavy) shape. So distorted product is difficult to "repair", or straighten, either in a further rolling process, or on separate straightening machines, due to the high rigidity of the band.

Based on many years studies and analysis of the quality of products manufactured in the Plate Rolling Mill, we can state that a large technological waste occurs during this production, which is due to the waviness of the rolled bad front end. Moreover, the rolling mill equipment and roller table rollers undergo rapid wear.

In order to prevent the phenomenon of band front end bending after band exit from the roll gap, a modern work table level setting system should be implemented, which would enable the so-called neutral line of the rolled feedstock to coincide with the neutral line of the roll gap in each successive rolling pass. Another alternative method of improving the band shape is to introduce a controlled asymmetric rolling process, which will rely on the use of differentiated rotational speeds of individual working rolls [3÷7]. By introducing such an asymmetry (i.e. kinetic asymmetry), the state of stress and strain in metal in the roll gap could be changed, thus eliminating the adverse bending of the front end of band exiting the deformation zone [8].

Material and methodology of research

The analysis of the steel plate rolling process was made for the roughing stand of a sample 3600 Plate Rolling Mill furnished with two horizontal four-high mills. For this roughing stand, the roller tables before and after the stand are positioned in such a manner that the distance between the upper roller table surface and the tangent to the surface of the lower roll at its upper surface is 25 mm. In the Rolling Mill

under consideration, 50÷120 mm-thick plates are produced from 225 mm-thick continuous castings. Rolling reductions, $\varepsilon = \Delta h/h_0$ (where: $\Delta h = h_0 - h_1$, h_0 - band height prior to the pass, mm, h_1 - band height after the pass), used in this stand, range from several percent to 20 %. The difference between the neutral axis of the feedstock and the neutral axis of the roll gap changes in subsequent passes from approx. 9 mm to approx. 25 mm. This location of the roller tables and the change in the magnitudes of the relative reduction and the roll shape factor h_0/D (where: h_0 – band height before the pass, D – working roll diameter) in the subsequent passes causes the feedstock to be introduced into the roll gap at a certain angle, which creates a non-uniform strain and stress field in the metal in the roll gap and causes the band to bend upon leaving the roll gap (past the stand).

A sample scheme of rolling 81.0x2130x6700 mm plate of steel S355J2+N in two four-high stands is shown in Table 1. The rolling feedstock was a 225x1800x2830 mm continuous casting. The dimensions of the rolls were as follows:- the roughing stand: $D_{opd} = 1761$, mm; $D_{opg} = 1762.0$ mm; $D_{rd} = 1102.1$ mm; $D_{rg} = 1101.1$ mm; the finishing stand: $D_{opd} = 1767.0$ mm; $D_{opg} = 1744.0$ mm; $D_{rd} = 996.6$ mm; $D_{rg} = 999.7$ mm. Chemical composition of the steel: C-0.20%; Mn-1.6%; Si-0.55%; P-0.025%; S-0.025%, Cr-0.030%; Ni-0.80%; Cu-0.55%, Mo-0.080%; V-0.100%; Nb-0.060; Ti-0.050%.

Table 1. A sample scheme of the process of rolling S355J2+N steel plate. The denotations in the table: h_n – band height after the pass, P – measured total pressure, T_{entry} – measured band temperature before the pass

Pass no.	h_n mm	h/D	Δh mm	ε	Bandwidth, mm	Neutral axes distance, mm	P kN	T_{entry} °C
Roughingstand								
0	228.37	0.2074	-	-		-	-	1147
1	198.42	0.1802	29.95	0.131		-9.53	32690	951
2	192.66	0.1750	5.76	0.029	2121	-22.12	13250	964
3	166.78	0.1515	25.88	0.134		-12.06	27110	934
4	141.14	0.1282	25.64	0.154	2131	-12.18	27640	957
5	141.01	0.1281	0.13	0.001		-24.93	3220	930
6	140.40	0.1275	0.61	0.004		-24.70	1440	952
7	131.85	0.1198	8.55	0.061		-20.72	16240	909
8	119.93	0.1089	11.92	0.090	2131	-19.04	22120	931
9	112.29	0.1020	7.64	0.064		-21.19	15950	891
10	110.71	0.1006	1.58	0.014		-24.16	9640	932
Finishingstand								
0	110.71	0.1112	-	-		-	-	855
1	99.68	0.1000	11.03	0.010	2131	-4.54	25650	832
2	88.61	0.0890	11.07	0.111	2131	-4.46	30270	832
3	82.58	0.0829	6.03	0.068	2131	-1.99	23870	823
4	81.05	0.0814	1.53	0.019	2131	-4.23	14890	823

To prevent the process of band bending beyond the roll gap, the authors of this article propose to introduce an asymmetric rolling process, i.e. a kinetic asymmetry that consists in a differentiation of the circumferential speeds of the working rolls. Thereby, the rolling process would take place with two asymmetries: the geometric

asymmetry (resulting from the feedstock being fed at an angle) and the kinetic asymmetry (obtained by varying the rotational speeds of individual rolls).

To determine the effect of the value of the angle, at which the band is introduced to the roll gap, relative reductions, ε , and the applied type of asymmetry of working roll circumferential speeds on the front-end band bending for different values of the roll shape factor, h_0/D , numerical modelling of the process of plate rolling on the roughing mill was performed using the FORGE software program.

The correct determination of the properties of steel in the form of stress–strain diagrams, allowing for the effect of band temperature and strain rate, enhances the accuracy of numerical computations, in which the finite element method is utilized. To this end, plastometric tests of steel S355J2+N (Table 2) were carried out, based on which steel property diagrams were determined, the coefficients of yield stress function were selected, and tables with actual plastometric test data were created, which were then used in carrying out computer simulations of the rolling process.

Table 2. The values of the parameters A and $m_1 \div m_9$ used for determining the values of σ_p for steel S355J2+N

Steel	The values of the parameters A and $m_1 \div m_9$ used for determining the values of σ_p								
	A	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_7	m_8	m_9
S355J2+N	0.00015 5	- 0.00573 0	0.38985 4	- 0.08414 4	- 0.00017 5	- 0.00117 2	- 0.22912 2	0.00022 1	2.95047 4

Working rolls, each of a diameter of 1103 mm, and a constant lower working roll rotational speed of $n = 55$ rpm were assumed for the numerical studies of the rolling process. The range of applied relative reductions was $\varepsilon = 0.05 \div 0.30$. The asymmetric rolling process was conducted by:

- changing the rotational speed of the upper roll to be lower than that of the lower roll (kinetic asymmetry). The range of variation of the roll rotational speed asymmetry factor, $a_v = v_d/v_g$, was $1.01 \div 1.10$.

- changing the angle of band feeding to the roll gap (geometric asymmetry). The range of variation of the feedstock feed angle was $\theta = 0 \div 3^\circ$.

A band shape factor of $h_0/D = 0.1887$ and 0.0660 , respectively, was assumed. The rolled feedstock temperature for the steel under investigation was changed, depending on the initial height, h_0 :

$h_0 = 200$ mm, the rolling temperature $T = 950^\circ\text{C}$,

$h_0 = 70$ mm, the rolling temperature $T = 850^\circ\text{C}$.

Investigation results

The effect of the relative reduction ε and the value of the roll gap band feed angle θ on the magnitude of band curvature ρ .

Sample results of the investigation into the effect of the feedstock roll gap feed angle θ (geometric asymmetry) resulting from the non-coincidence of the feedstock neutral axis with the deformation zone neutral axis and the relative reduction ε on the

band curvature magnitude, in symmetric and asymmetric rolling S355J2+N steel grade feedstock are illustrated in Figures 1, 2.

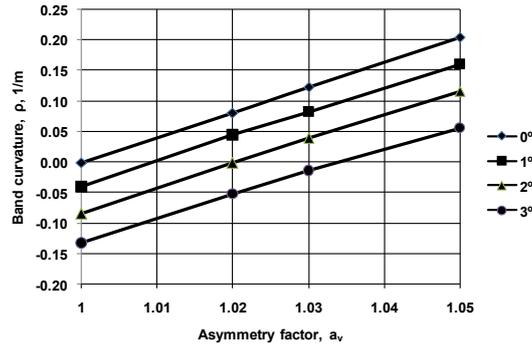


Fig. 1. The effect of the asymmetry factor a_v and the value of the deformation zone feedstock feed angle θ on the magnitude of band curvature after symmetric and asymmetric rolling 200 mm-high feedstock with a relative reduction of $\varepsilon = 0.10$

The relationships illustrated in Figure 1 show that, in asymmetric rolling, introducing the feedstock to the deformation zone at an angle of θ causes the front end of the exiting band to bend towards the lower roll. The band curvature grows with increasing feed angle. The application of the second type of asymmetry results in a change in band front-end bending direction. The data in this figure show that for each analyzed feedstock feed angle there is a kinetic asymmetry factor value, for which a straight band is obtained.

Similar results were also obtained for feedstock of an initial height of $h_0 = 70\text{mm}$. The data in Figure 2 show that when introducing feedstock to the symmetric roll gap at an angle of θ , the band bends towards the lower roll upon exit from the deformation zone. Whereas, the greater the feed angle magnitude, the larger the band curvature is obtained after band exit from the deformation zone. By applying the asymmetric process through differentiating the working roll rotational speeds, a change in the direction of band bending can be obtained.

The greatest band bending towards the lower roll ($\rho = 0.1786\text{ m}^{-1}$) occurred when rolling the feedstock with a relative reduction of $\varepsilon = 0.10$, with setting no roll rotation speed asymmetry and with a deformation zone band feed angle of $\theta = 3^\circ$. The greatest band bending towards the upper roll ($\rho = 0.6167\text{ m}^{-1}$) occurred for $\varepsilon = 0.10$; an asymmetry factor of $a_v = 1.05$; and with horizontal band feed to the deformation zone. For all analyzed feed angles and specified kinetic asymmetry factor values, a straight band front end can be obtained.

Figures 3 and 4 show sample results of testing for the effect of the relative reduction ε and the deformation zone band feed angle θ on the magnitude of the curvature of band rolled asymmetrically ($a_v = 1.00$) and asymmetrically ($a_v = 1.05$) from feedstock of an initial height of $h_0 = 200\text{ mm}$.

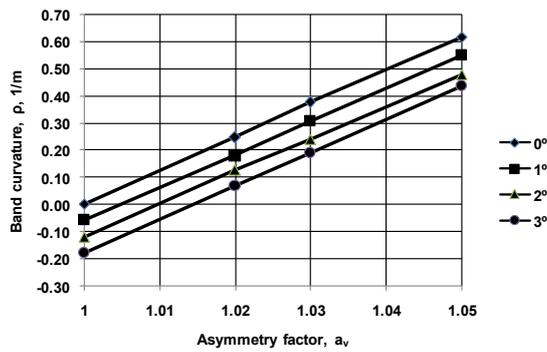


Fig. 2. The effect of the asymmetry factor a_v and the value of the deformation zone feedstock feed angle θ on the magnitude of band curvature after symmetric and asymmetric rolling 70 mm-high feedstock with a relative reduction of $\varepsilon = 0.10$

The data in Figure 3 show that feedstock of an initial height of $h_0 = 200$ mm when rolled symmetrically (rotational speed asymmetry factor, $a_v=1.00$) with a reduction in the range of $\varepsilon = 0.05 \div 0.20$, while being fed to the deformation zone at an angle, bends downward. The band curvature grows with increasing band feed angle θ for all the examined values of the relative reduction ε . For this case, straight bands on exist from the roll gap can be only obtained when the feedstock is fed horizontally. However, due to the fixed positioning of the working roller table relative to the upper surface of the lower roll in relation to the working roller table, feeding feedstock to the deformation zone horizontally is practically impossible.

Introducing a small asymmetry in working roll circumferential speeds resulted in a change in the direction of bending of the band leaving the roll gap (Fig. 4).

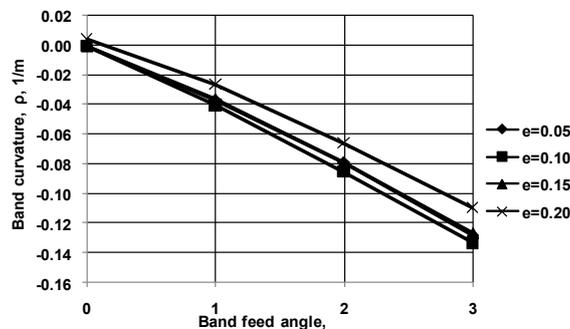


Fig. 3. The effect of the deformation zone feedstock feed angle θ and the relative reduction ε on the variations in the magnitude of band curvature after symmetric band rolling ($a_v = 1.00$) from 200 mm-high feedstock

After asymmetric rolling of the feedstock with an asymmetry factor of $a_v = 1.05$ (Fig. 4), the band bent towards the upper roll only for $\varepsilon=0.05$ and $\theta=3^\circ$. The band curvature magnitude was small, amounting to $\rho=-0.0119 \text{ m}^{-1}$. The remaining curvature magnitudes were positive (the band front end bent towards the upper roll) for all the variable parameters of the examined rolling process.

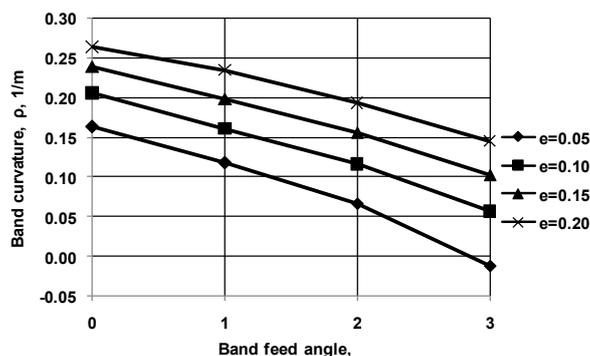


Fig. 4. The effect of the deformation zone feedstock feed angle θ and the relative reduction ϵ on the variations in the magnitude of band curvature after symmetric band rolling ($a_v = 1.05$) from 200 mm-high feedstock

Figures 6 and 7 show sample results of testing for the effect of the relative reduction ϵ and the deformation zone band feed angle θ on the magnitude of the band curvature ρ after the asymmetric ($a_v = 1.00$) and asymmetric ($a_v = 1.05$) process of rolling 70 mm-high feedstock.

The data in Figure 5 show that after the symmetrical rolling of feedstock of an initial height of $h_0 = 70$ mm with a relative reduction of $\epsilon = 0.15$, being fed to the roll gap at an angle of θ , a very small band bend towards the lower roll occurs upon band exit from the deformation zone. The magnitude of the curvature is the same for all the examined feedstock feed angles. By increasing the deformation to a value of $\epsilon = 0.20$, a change in the direction of band front-end bending (the band bends towards the upper roll) and an increase in its curvature can be obtained with the increase in feedstock feed angle. By contrast, reducing the deformation value to $\epsilon = 0.10$ results in a change in band bending direction – the band front end bends towards the lower roll. The band curvature magnitude also increases with the increase in the angle of band feed to the deformation zone.

After applying asymmetric rolling ($a_v=1.05$) by reducing the rotational speed of the upper roll, for each examined parameters, the band would towards the upper roll upon exit from the deformation zone. After applying a relative deformation of $\epsilon = 0.15$, the magnitude of band curvature was similar, irrespective of the feedstock feed angle. After increasing the relative deformation value to $\epsilon = 0.20$, the magnitude of band curvature increased with increasing feed angle, while after applying a relative deformation of $\epsilon = 0.10$, the band curvature magnitude would decrease (Fig. 6).

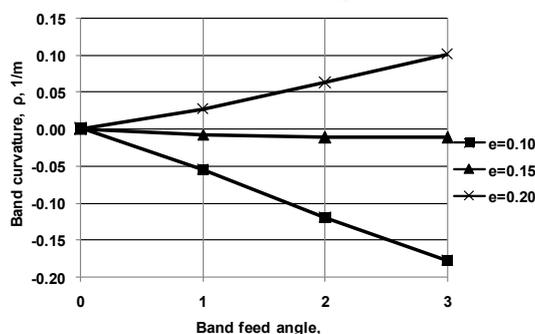


Fig. 5. The effect of the deformation zone feedstock feed angle θ and the relative reduction ϵ on the variations in the magnitude of band curvature after symmetric band rolling ($a_v = 1.00$) from 70 mm-high feedstock

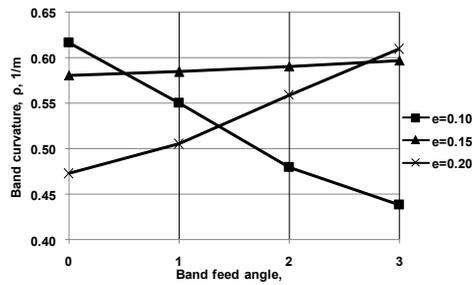


Fig. 6. The effect of the deformation zone feedstock feed angle θ and the relative reduction ϵ on the variations in the magnitude of band curvature after symmetric band rolling ($a_v = 1.05$) from 70 mm-high feedstock

Strain rate intensity fields and stress intensity fields

Figures 7÷9 show sample distributions of strain rate intensities $\dot{\epsilon}_i$; the determined neutral surfaces on the upper roll side (in white) and on the lower roll side (in black) are also shown.

Feeding feedstock of an initial height of $h_0 = 200$ mm to the deformation zone at an angle of $\theta=3^\circ$ causes a non-uniform distribution of strain rates. In metal layers in contact with the upper roll, strain rate intensity values are greater than in layers in contact with the lower roll. The upper layers of the band metal move faster than the lower layers do, which results in the band front end bending towards the lower roll. As shown by the data in Fig. 7, the surfaces unaffected by the lower and the upper rolls (neutral surfaces) coincide with one another.

Introducing a small kinetic asymmetry ($a_v=1.02$) to the rolling process produces a more uniform distribution of strain rate intensities, which results in a smaller band front-end bend. For this case, a slight bend towards the lower roll was obtained. It can be seen from the position of the neutral surfaces in the deformation zone that the advance zone on the upper roll side is longer than the lower roll affected advance zone, which contributes to the band bending towards the lower roll (Fig.8).



Fig. 7. Distribution of strain rate intensities $\dot{\epsilon}_i$ for feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm, rolled with a reduction of $\epsilon=0.10$, with an asymmetry factor of $a_v=1.00$, and at a deformation zone feedstock feed angle of $\theta=3^\circ$

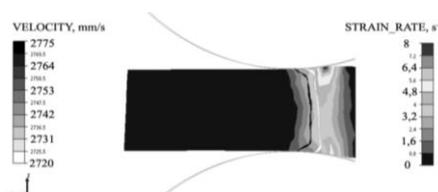


Fig. 8. Distribution of strain rate intensities $\dot{\epsilon}_i$ for feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm, rolled with a reduction of $\epsilon=0.10$, with an asymmetry factor of $a_v=1.02$, and at a deformation zone feedstock feed angle of $\theta=3^\circ$

Increasing the asymmetry factor to a value of $a_v=1.05$ resulted in an extension of the lower roll affected delay zone. In spite of this, a slight bend of the band front end towards the upper roll was obtained. This was caused by a greater lower roll rotational speed due to the applied kinetic asymmetry. Metal layers in contact with the lower roll in the delay zone flow faster, compared to metal layers contacting the upper roll in the advance zone (Fig. 9).

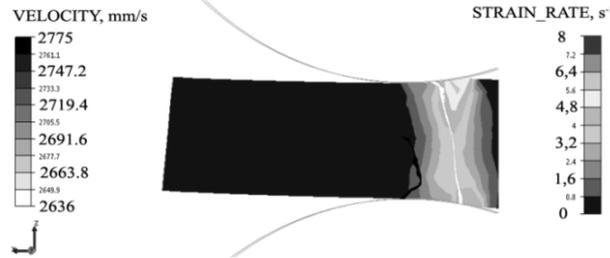


Fig. 9. Distribution of strain rate intensities $\dot{\epsilon}_i$ for feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm, rolled with a reduction of $\epsilon=0.10$, with an asymmetry factor of $a_v=1.05$, and at a deformation zone feedstock feed angle of $\theta=3^\circ$

Figures 10÷12 show sample distributions of stress intensities for the examined technological cases. During symmetric rolling of feedstock of a height of $h_0=200$ mm fed horizontally to the deformation zone with a relative reduction of $\epsilon=0.05$, a uniform distribution of stress was obtained, relative to the neutral axis of the band being rolled (Fig. 10).

When feeding feedstock into the roll gap at an angle of θ , a non-uniform distribution of stress in the deformation zone was obtained, which resulted in a band front-end bend. This can be prevented by the appropriate selection of the kinematic asymmetry factor. The data in Figure 11 show that after applying kinetic asymmetry with an asymmetry factor of $a_v=1.02$ in the process of rolling feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm introduced to the deformation zone at an angle of $\theta=3^\circ$, a uniform distribution of stress ζ_i occurred. Thanks to this, a straight band front end was obtained.

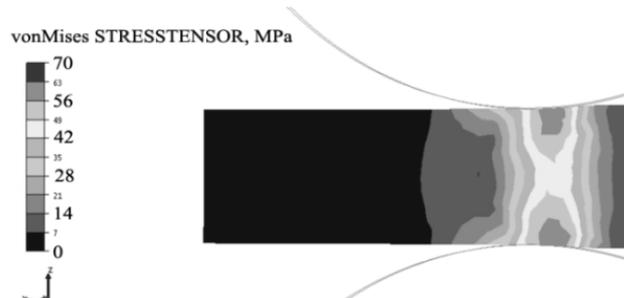


Fig. 10. Distribution of stress intensities σ_i for feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm, rolled with a reduction of $\epsilon=0.05$ using an asymmetry factor of $a_v=1.00$, and at a deformation zone feedstock feed angle of $\theta=0^\circ$

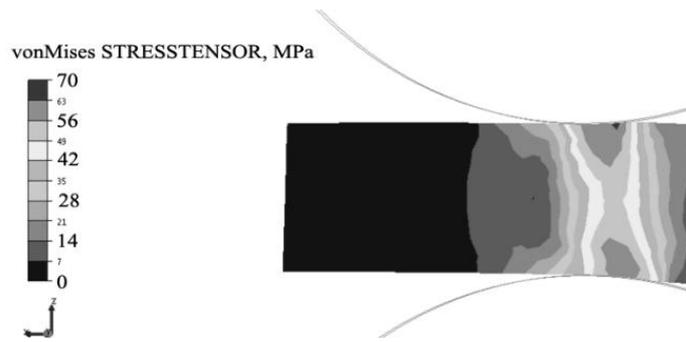


Fig. 11. Distribution of stress intensities σ_i for feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm, rolled with a reduction of $\epsilon=0.05$ using an asymmetry factor of $a_v=1.02$, and at a deformation zone feedstock feed angle of $\theta=3^\circ$

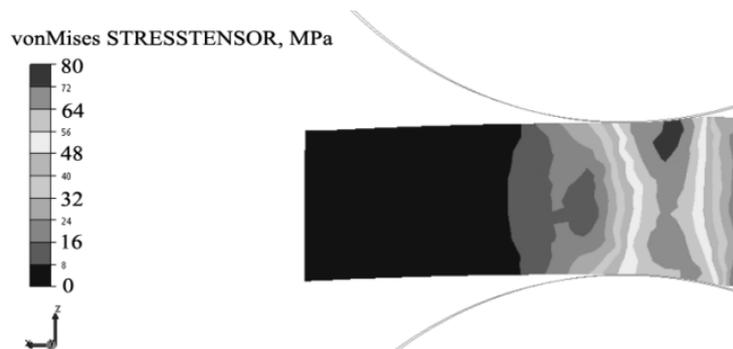


Fig. 12. Distribution of stress intensities σ_i for feedstock of an initial height of $h_0=200$ mm, rolled with a reduction of $\epsilon=0.10$ using an asymmetry factor of $a_v=1.00$, and at a deformation zone feedstock feed angle of $\theta=3^\circ$

Introducing feedstock to the deformation zone at an angle due to the non-coincidence of the neutral axes of the feedstock and the deformation zone produces a non-uniform stress distribution in the deformation zone, relative to the neutral axis of the band being rolled. Larger stress magnitudes exist in metal layers contacting the upper roll, which causes the band front end to bend towards the lower roll (Fig. 12).

Conclusions

Based on the theoretical studies of the asymmetric process of rolling S355J2+N steel plates (with a band shape factor of $h_0/D=0.1887$ and 0.0660), the following can be stated:

- when rolling plates under industrial conditions in the roughing and finishing stands of the Plate Rolling Mill, in the majority of cases, the neutral axis of the feedstock or band does not coincide with the neutral axis of the roll gap, and the shorter the band, the larger the angle at which the band is fed to the deformation zone, as a consequence of which the front end of the band bends towards the lower roll;

- in the symmetric process (for a constant bad shape factor, h_0/D), increasing the roll band feed angle in the range of $0^\circ \div 3^\circ$ increases the curvature of bending of the band on exit from the deformation zone towards the lower roll; therefore, in order to obtain a straight band or a band with only a slight curvature oriented to the upper roll, an asymmetric process should be employed by differentiating the rotational speed of the working rolls;

- for S355J2+N steel feedstock with a band shape factor of $h_0/D=0.1887$, being fed to the deformation zone at an angle of $\theta = 1\div 3^\circ$, rolled with a relative reduction in the range of $\varepsilon = 0.05\div 0.20$, in order to eliminate the band front-end bending toward the lower roll, a roll rotational speed asymmetry factor of $a_v = 1.01\div 1.05$ should be used; whereas, the magnitude of the applied asymmetry factor a_v increases with increasing roll gap feedstock feed angle, while decreases with the increase in the applied relative reduction;

- for S355J2+N steel feedstock with a band shape factor of $h_0/D=0.0660$, in order to obtain a straight band, a slight asymmetry of working roll rotational speeds, $a_v=1.01$ and $a_v=1.02$, should be employed, with a relative deformation of $\varepsilon=0.10$, and $a_v=1.01$ with a relative deformation of $\varepsilon=0.15$. For greater relative deformation values, $\varepsilon>0.15$, the band should be rolled symmetrically.

List of References

1 Nikolaev V.A., Vasil'ev A.A. Izgib polosy I drugie parametry nesimmetrichno jprokatki // Stal'. Nr 7. 2013.

2 Aboutorabi, A. Assempour, A.; Afrasiab, H. Analytical approach for calculating the sheet output curvature in asymmetrical rolling: In the case of roll axis displacement as a new asymmetry factor // International journal of mechanical sciences. 2016. Vol. 105. pp. 11-22.

3 Kawalek, A; Dyja, H; Markowski, J. Effect of asymmetrical rolling on broadening of the product line of rolled sheets // Metalurgija. 2003. Vol. 42, Issue: 3. pp. 207-211.

4 Yan, Tao, Qin, Na, Zhao, Shuo, et al. Deformation analysis of asymmetric break-down rolling of hollow steel // World journal of engineering. 2017. Vol. 14, Issue: 6.

5 Nikolaev V.A. Izvestija vysshikh uchebnykh zavedenij. Chernaja metallurgija. Nr 3. 2007.

6 Piesin A.M., Kawalek A., Szyński P., Pustovojtov D.O. Ispol'zovanie dvuh faktorov asimmetrii pr itolstolustovoj prokatke// Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehniceskogo Universiteta im. G. I. Nosova, Nr 4 (44), Magnitogorsk, 2013.

7 Tian Yong; Guo Yan-hui; Wang Zhao-dong et al. Analysis of Rolling Pressure in Asymmetrical Rolling Process by Slab Method // Journal of iron and steel research international. 2009. Vol. 16. Issue: 4 Pages: 22-30.

8 Kawalek, A. The theoretical and experimental analysis of the effect of asymmetrical rolling on the value of unit pressure// Journal of materials processing technology. 2004. Vol. 157. pp. 531-535.

**STRESS-STRAIN BEHAVIOUR, DISSIPATION AND INSTABILITY OF
MEDIUM-CARBON STEEL**

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ДИССИПАЦИЯ
И НЕСТАБИЛЬНОСТЬ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ**

Kliber, J., Sevcak, V. Opela, P.

VSB- Technical University of Ostrava, Ostrava, Czech Republic

jiri.kliber@vsb.cz

Клибер Я., Шевчак В., Опеля, П.

VSB- Технический университет Остравы, Острава, Чехия

jiri.kliber@vsb.cz

Abstract: Metallic materials that have exceeded elastic deformation deform plastically with hardening. The method of determining properties is operated by means of stress-strain curves. Plastometric tests on Gleeble were used, which always allow one of the three thermomechanical mechanical parameters to remain constant, even in this case. The aims of the paper are two: namely to describe mathematically the course of these stress-strain curves and then to derive the values of energy dissipation and plastic deformation instability. This dataset was acquired via series of uniaxial hot compression tests in the temperature range of 1173 K – 1553 K and the strain rate range of $0.1 \text{ s}^{-1} - 100 \text{ s}^{-1}$. The analysis used sinh relation for determination of activation energy and other constants, which was based on experimentally measured values of peak, i.e. maximum stress, with comparison of measured and calculated values. Subsequently, process maps are compiled using the energy dissipation efficiency η and the plastic deformation instability criterion ξ , and these two parameters are also interpreted together as the criteria of formability at high temperatures.

Key words: medium-carbon steel, stress-strain, dissipation, instability

Аннотация: Металлические материалы, которые преодолели упругую деформацию, деформируются пластически с упрочнением. Метод определения свойств осуществляется с помощью кривых напряжения-деформации. Применялись пластометрические испытания на Gleeble, которые всегда позволяют одному из трех термомеханических параметров оставаться неизменным, даже в этом случае. Цель работы состоит в том, чтобы математически описать ход получения этих кривых напряжения-деформации, а затем вывести значения диссипации энергии и неустойчивости пластической деформации. Этот набор данных был получен с помощью серии испытаний на одноосное горячее сжатие в диапазоне температур $1173 \text{ K} \div 1553 \text{ K}$ и в диапазоне скоростей деформации $0,1 \text{ с}^{-1} \div 100 \text{ с}^{-1}$. Для определения энергии активации и других констант в анализе использовалась синусоидальная зависимость, основанная на экспериментально измеренных значениях пика, т. е. максимального напряжения, с сопоставлением измеренных и рассчитанных

значений. Затем составляются технологические карты с использованием коэффициента диссипации энергии η и критерия неустойчивости пластической деформации ξ , и эти два параметра также интерпретируются вместе как критерии формуемости при высоких температурах.

Ключевые слова: среднеуглеродистая сталь, напряжение-деформация, диссипация, неустойчивость

The method proposed in the 1980s to describe the response of material to process parameter change Dynamic Material Modeling (DMM) has been carefully elaborated by Prasad et al. It is a continuous model based on thermodynamic principles by which the areas of material flow instability are determined. It is also able to show the transitions between plastic deformation of materials and the formation of thermodynamically unstable dissipative microstructure. DMM focuses on the localization of dynamic recrystallization and describes the deformation behavior of the material even at high strain rates at which dynamic recovery processes can take place. The equations used in DMM describe stress response in plastic flow dependent on macroscopic forming parameters such as strain rate and temperature. Using these equations, it is possible to determine the proportions of the dissipated energy stored in the mechanical part, i.e. induced heat, and also in metallurgical processes [1-8].

In forming, energy dissipation is characterized by a dimensionless quantity, named as energy dissipation efficiency η . It is a key element that uses Dynamic Material Modeling (DMM). [9].

The total energy P absorbed by the body during deformation is composed of two parts, the first part being energy G , which represents the energy input dissipated by the material, much of which is converted to heat. The second part presents supplement J , which represents the energy dissipated due to metallurgical changes in dynamic recrystallization, dynamic recovery, nucleation, crack growth and other processes, and therefore is a criterion characterizing the dynamic response of a material [1].

The total energy can thus be expressed by the following equation (1):

$$P = G + J \quad (1)$$

where: P - total energy absorbed by the body during deformation [J]

G - energy dissipated due to plastic deformation [J]

J - energy dissipated due to metallurgical changes [J]

The main variables describing process maps are strain, stress, strain rate. Thanks to these variables, the formula above can be further described [1], resulting in the resulting equation for J [10-13]

The maximum value of J occurs when $m = 1$ [3]. Then we get the equation:

$$J_{max} = \frac{\sigma \cdot \dot{\epsilon}}{2} \quad (2)$$

The coefficient of the plastic material flow sensitivity to the strain rate describes the distribution of total energy P between the components G and J . It is a function of the strain rate. The ideal value of the coefficient m is 1. This coefficient is very important for the creation of process maps and can be expressed as follows [11]:

$$m = \frac{dJ}{dG} = \frac{\dot{\epsilon} d\sigma}{\sigma d\dot{\epsilon}} = \frac{d \ln \sigma}{d \ln \dot{\epsilon}} \quad (3)$$

Knowing the equations for calculating the values of J and J_{max} , we can determine the dimensionless parameter η (eta is dissipation efficiency), which is very important for creating process maps. The dissipation efficiency can thus be expressed as follows [12, 13]

$$\eta = \frac{J}{J_{max}} = \frac{2m}{m+1} \quad (4)$$

If we multiply the results by 100, we get the percentages in which efficiency is usually reported.

Another important parameter is the plastic instability parameter ξ , by means of which it is possible to determine the areas in which the material forming is stable and the areas in which the material can break during forming, especially in forming under unsuitable conditions such as higher friction coefficient. This parameter can be expressed by the following equation (5)

$$\xi = \frac{\partial \ln \left(\frac{m}{m+1} \right)}{\partial \ln \dot{\epsilon}} + m < 0 \quad (5)$$

The lower the plastic instability parameter, the less stable region. Negative values indicate areas of instability[14].

Experiment

Strain rates from 0.1 s^{-1} to 100 s^{-1} were used for the plastometric tests and temperatures ranging from $900 \text{ }^\circ\text{C}$ to $1280 \text{ }^\circ\text{C}$. The data are then used to construct stress - strain graphs. As an example of a stress-strain curve for a strain rate of 1 s^{-1} and different temperatures is the Figure. 1.

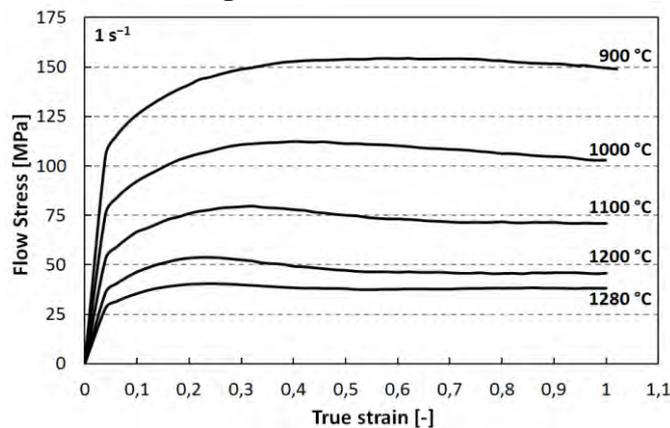


Fig. 1 Example of stress-strain curves for strain rate 1 s^{-1}

STRESS-STRAIN BEHAVIOUR

Calculation of peak stress

One of the goals of this work is the mathematical evaluation of peak stress and strain and the subsequent compilation of a complete mathematical description of this curve. The correctness of the future solution lies in the comparison of experimental values of peak stress σ_{pex} with calculated σ_{pca1} and the same for peak deformation ε_{pex} a ε_{pca} . Since the dependence of the peak values are an exponential functions of temperatures, this fact will be used in mathematics and the v values of σ_{pca2} were examined.

The procedure consists in determining peak points on the actual course of the curves obtained on the plastometer. We continue with the regression and equations described below, the constant α is calculated. Subsequent regression analyzes using the equation

$$\alpha = \frac{\beta}{n_t} \quad (6)$$

For the highest temperatures we use the relation $\dot{\varepsilon} = f(\sigma_{pex})$ in the power form with obtaining the constant n ; furthermore for the lowest temperatures the relation in the form $\dot{\varepsilon} = f \exp(\sigma_{pex})$ with obtaining the constant β ; and then at $\alpha = \frac{\beta}{n_t}$, the constant α is calculated. Subsequent regression analyzes using the equation

$$\ln \dot{\varepsilon} = f[\ln \sinh(\alpha \cdot \sigma_{pex})] \quad (7)$$

leads to the intersection constants with the vertical z – axis A_1 až $A_n = f\left(\frac{1}{T}\right)$ and to the equation (8).

Tab.1 - Some experimental and calculated results

T	T [K]	$\dot{\varepsilon}$	σ_{pex}	σ_{pca1}	σ_{pca2}	ε_{pex}	ε_{pca}
1280	1553	0,01		16,04	13,75		0,05
1280	1553,00	0,10	21,10	26,07	22,71	0,12	0,10
1280	1553,00	1,00	40,40	42,39	37,49	0,22	0,17
1280	1553,00	10,00	61,10	68,90	61,91	0,30	0,31
1280	1553,00	100,00	100,60	111,98	102,23	0,48	0,54
1280	1553,00	500,00		156,26	145,14		0,81
1200	1473,00	0,01		20,28	19,88		0,06
1200	1473,00	0,10	31,3	32,97	32,09	0,14	0,11
1200	1473,00	1,00	53,8	53,60	51,81	0,24	0,20
1200	1473,00	10,00	83,6	87,13	83,64	0,36	0,35
1200	1473,00	100,00	133,4	141,27	135,02	0,56	0,62
1200	1473,00	500,00		190,67	188,71		0,93
1100	1373,00	0,01		28,26	33,65		0,08

1100	1373,00	0,10	48,3	45,94	50,33	0,18	0,14
1100	1373,00	1,00	79,4	74,69	75,29	0,31	0,24
1100	1373,00	10,00	114,6	121,34	112,63	0,51	0,44
1100	1373,00	100,00	163,6	189,59	168,48	0,62	0,77
1100	1373,00	500,00		227,50	223,25		1,16
1000	1273,00	0,01		41,49	51,00		0,11
1000	1273,00	0,10	72,8	67,45	74,22	0,26	0,19
1000	1273,00	1,00	112,40	109,62	108,03	0,40	0,34
1000	1273,00	10,00	153,90	174,88	157,23	0,68	0,60
1000	1273,00	100,00	229,10	231,25	228,85	0,81	1,07
1000	1273,00	500,00		254,51	297,49		1,60
900	1173,00	0,01		65,04	85,04		0,18
900	1173,00	0,10	113,10	105,71	114,10	0,40	0,32
900	1173,00	1,00	154,40	169,44	153,11	0,62	0,57
900	1173,00	10,00	207,50	228,18	205,45	0,94	1,02
900	1173,00	100,00	273,10	260,59	275,68	0,98	1,81
900	1173,00	500,00		276,63	338,58		2,71

$$\ln \dot{\varepsilon} + \frac{Q}{RT} = f[\ln \sinh(\alpha \cdot \sigma_{pex})] \quad (8)$$

The calculated constants A_1 až A_n substituted for the equation $\left(\frac{1}{T}\right)$ to determine the negative slope S , where the activation energy is Q (J/mol) of the process and can be found by simple calculation according to $Q = -R \cdot S$ (R is the gas constant, $R = 8,314$ (J/(mol·K))). Using the equation (9) we construct a single line from the already known values and then determine the slope n and the intersection with the y-axis from which we calculate the constant A .

$$\ln \dot{\varepsilon} + \frac{Q}{RT} = f[\ln \sinh(\alpha \cdot \sigma_{pex})] \quad (9)$$

We will build the final relationship:

$$\dot{\varepsilon} = A \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right) \sinh(\alpha \cdot \sigma_{pex})^n \quad (10)$$

By adjusting equation (11) using the obtained constants $A = 8,702E11$; $Q = 264410$; $\alpha = 0.00537$; $n = 4.74$ we arrive at an analytical expression of the maximum (peak) calculated stress as a function of temperature and strain rate, namely:

$$\sigma_{pca} = \frac{1}{\alpha} \arg \sinh \left[\frac{\dot{\varepsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)}{A} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (11)$$

In the literature it is possible to find another notation of this equation, where, $\dot{\varepsilon} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) = Z$ which represents the Zener-Hollomon parameter [15-18]. The resulting equation (11) allows both to check and compare the measured experimental values of peak deformations σ_{pex} with the newly calculated σ_{pca1} , but also to try to extend the values by interpolation to one lower and one higher strain rate. In the well-arranged table, the rows with interpolated results are gray and are listed in the special columns.. Since the stress is generally the Arrhenius exponential dependence on the temperature in the monophasic region, the calculated values of σ_{pca2} are also shown in the table column. Therefore, these values were not used for subsequent energy dissipation and instability.

Calculation of peak deformation

We use the parametric equation model and the hyperbolic sinus model. This model is based on proven experience in solving theoretical courses in the analysis of plastic deformation driven by dynamic recovery by non-conservative dislocation movement (Barett's model). In principle, the limit deformation is dependent on temperature and strain rate [15-18]. We start by building linear regression eqs. (12) and (13), (where there is a peak deformation ε_{pex}) for individual temperatures and determine their slope, which we denote k_1 to k_n and then we calculate the slope of the average slope k , where its value reaches $k = 0,204$

$$\ln \varepsilon_{pex} = f(\ln \dot{\varepsilon}) \quad (12)$$

Then we use equation (13)

$$\sinh\left(\ln \varepsilon_{pex} - k \ln \dot{\varepsilon}\right) = f\left(\frac{1}{T}\right) \quad (13)$$

and graphically and mathematically we determine the slope, which we denote as X and the intersection with the y-axis, which we denote by the letter Y and construct the final relation ($X = 10\,758$; $Y = -9,756$)

$$\varepsilon_{pca} = \dot{\varepsilon}^k \exp\left[\arg \sinh\left(Y + \frac{X}{T}\right)\right] \quad (14)$$

After substituting all calculated values into the final relation (14) we get calculated peak deformation values, which are compared with experimental values. If these were stress-strain curves for materials where a rapid stress drop occurs after the peak deformation is reached and the drop is sustained, the resulting equation (15) in the form that it describes, based on previous knowledge of the calculated peak

stress σ_{pca} and calculated peak strain ε_{pca} complex expression of material characteristics as a function of temperature T and strain rate $\dot{\varepsilon}$ [15-20].

$$\sigma_{ca} = \sigma_{pca} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pca}} \cdot \exp\left(1 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{pca}}\right)^c \quad (15)$$

The investigated steel does not meet this requirement, it even appears that at the lowest temperature of 900 ° C and a strain rate of 100 s⁻¹ the peak stress σ_{pex} is reached, therefore we did not use this equation (15) further.

DISIPACE A NESTABILITA

The principles of the Dynamic Material Model were used to construct energy dissipation maps [21-26]. To obtain the energy dissipation factor η the following steps were performed: from the stress-strain dependence, three deformations were selected, namely 0.2; 0.5 and 0.8 and for these sizes the values of deformation resistance for individual temp. of 900 ° C to 1280 ° C and strain rate of 0.1;1;10 and 100 s⁻¹ were subtracted. The stress-strain rate obtained in this way was converted to the stress-logarithm of the strain rate and then the logarithm of the strain rate $\Delta \log \dot{\varepsilon}$. For these and other calculations an overall table has been compiled, as an example we show only the result of the strain 0,5 and temperature 1000 °C. To calculate the coefficient of deformation sensitivity m it was necessary to calculate the logarithm of stress ($\log \sigma$) and difference of logarithm of stress ($\Delta \log \sigma$) and the logarithm difference of stress ($\Delta \log \sigma$) and then dissipation η .

Tab. 2 Results of dissipation and instability for strain 0,5

T[°C]	ln $\dot{\varepsilon}$	m	η	ξ
1000	-2,25	0,20	34	-0,055
1000	0,06	0,13	24	0,075
1000	2,37	0,14	25	0,254
1000	4,53	0,23	37	0,465

Finally, it was necessary to calculate the plastic instability parameter ξ , which can be used to determine the areas in which the material deformation is stable and the areas in which the material can break during forming and we used only negative values according to equation (4) [27-31].

The results were processed in Golden Surfer 13.0. We present examples of results for dissipation at all temperatures and strain rates for deformation 0,2 and 0,8 from the whole range of isocurves and at the same time the graph in the space for deformation 0,8. The instability results were predominantly positive, with only one area plot for 0,5 deformation. At the deformation of 0,2, the instability results are similar to those of the deformation of 0,5, at the deformation of 0,8 there was any ξ value as negative.

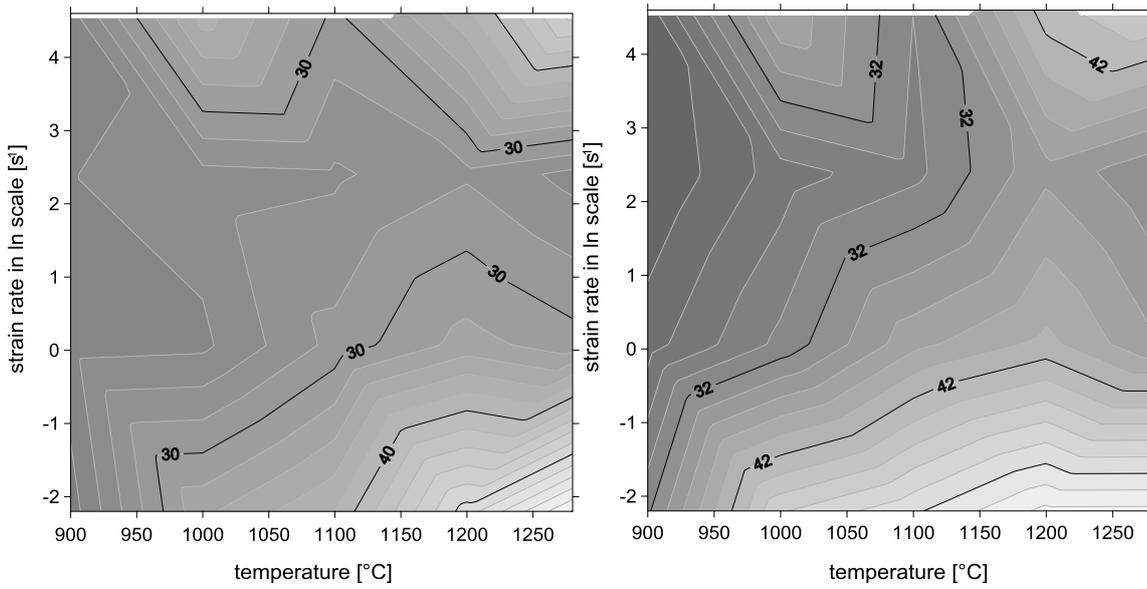


Fig. 3 Dissipation at strain 0,5 (left) and 0,8 (right)

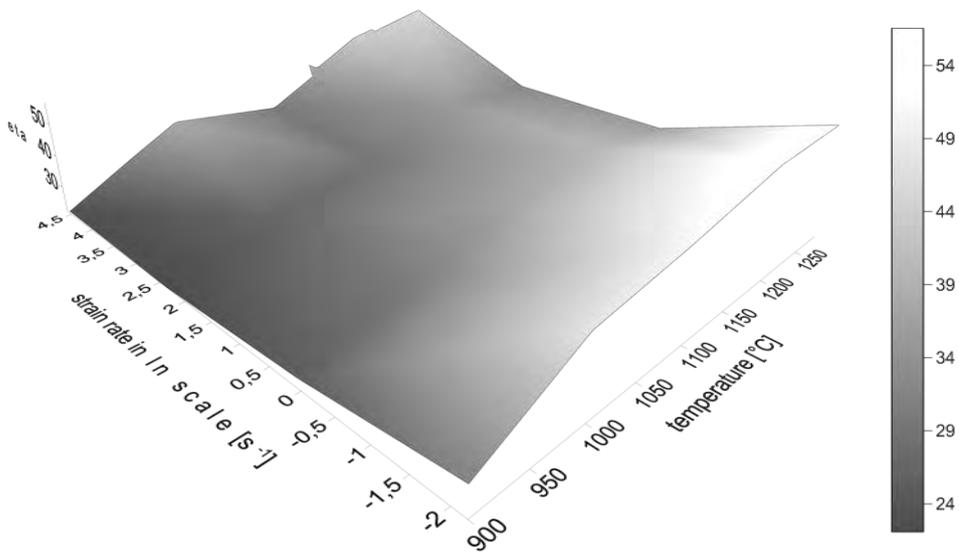


Fig. 4 Surface graph for dissipation at strain 0,8

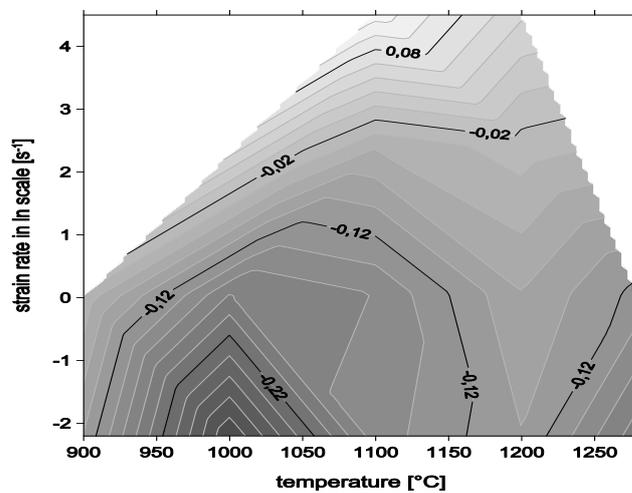


Fig 5. Instability at strain 0,5

Conclusion

The introduction describes the mathematics of detecting dissipation and instability in the forming process. In describing the behavior of the material, especially at high forming temperatures, the classical Sellars-Tegart-Garofalo method is used, which gradually derives constants n , β , α using linear regression analyzes and gradually searches constants into the final equation (sinh) (11). Comparing the stress peaks found experimentally σ_{pex} with the calculated σ_{pca1} gives a very good match. This relationship allows us to predict with high accuracy the behavior of the material at different temperatures and strain rates than the experimental values. Similarly, through a sinh relationship, another general equation for deformations at the peak was derived (14). Here again, the agreement of experimental ε_{pex} and calculated values ε_{pca} is shown.

The last equation (15) was not used, since the material shows a minimal decrease behind the peak and even difficult to determine at high rate of deformation of 100 s^{-1} in the experiment. Since the stress with temperature behaves generally according to the Arrhenius exponential relation, the stress peaks were calculated and are listed in the column in the table as σ_{pca2} . We also extrapolated from the original four strain rates of 1 to 100 s^{-1} to values of $0,01 \text{ s}^{-1}$ and 500 s^{-1} and in the table are recorded in gray rows. Here, especially for the prediction at 500 s^{-1} , the calculated stress values seem reasonable, while the peak distortions are more divergent. However, only experimental results at 0,2; 0,5 and 0,8 strains were used for further calculations of dissipation and instability.

Dissipation values η do not differ significantly with different strains; higher values are expected to occur at higher temperatures. It appears that the investigated medium medium-carbon steel does not play any significant changes in the energy dissipation despite the gradual dynamic recrystallization at lower temperatures and higher strain rates. This is also reflected in instability, quite surprisingly, we did not get negative values with the instability parameter ξ of 0.8 strain. A temperature range of $950 \text{ }^\circ \text{C}$ to $1050 \text{ }^\circ \text{C}$ and a low rate of deformation appear to be the most problematic.

Literature

- 1 Prasad, Y. V. R. K., Sasidhara, S. Hot Working Guide: Compendium of Processing Maps, ASM International, 1997, 545 p.
- 2 Gao X, Jiang Z, Wei D, Jiao S and Chen D *Key Eng. Mater* (2014)22-23, 330–39.
- 3 Prasad, Y. V. R. K., Rao, K. P. Processing maps for hot deformation of rolled AZ31 magnesium alloy plate. Anisotropy of hot workability . *Materials Science And Engineering A* 487 (2008) 316-327.
- 4 Srinivasan, N.; Prasad, Y. V. R. K. Rao, P. Rama. Hot deformation behaviour of Mg-3Al alloy. A study using processing map. *Materials Science And Engineering A* 476 (2008) 146-156.

- 5 Guoliang Ji , Fuguo Li , Qinghua Li , Huiqu Lib, Zhi Li . Development and validation of a processing map for Aermet100 steel. *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 1165–1171.
- 6 Li, H., Li. M.Q., Zhang, X.Y., Luo. J. Characterization of the forgeability of 1Cr11Ni2W2MoV steel using processing map. *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 6505–6510.
- 7 Kim, H.Y., Kwon, H.C., Lee, H.W., Im, Y.T., Byond, S.M., Park, H.D.. Processing map approach for surface defect prediction in the hot bar rolling. *Journal of materials processing technology* 205 (2008) 70–80.
- 8 Quan G.Z, Zou Z.Y, Wang T, Liu B. *High Temp. Mater. Processes* 36(2017) 1–13.
- 9 Gronostajski,Z. *J. Mater. Process. Technol.*(2000) 106 40–44.
- 10 Kumar, A. K. S. K. 1987 Master's Thesis (Bangalore: Indian Institute of Science).
- 11 Prasad ,Y. V. R. K. *Indian J. Technol.*28(1990) 435–51.
- 12 Ziegler, H. *Progress in Solid Mechanics* vol 4, (New York: John Wiley and Sons), 1963 pp. 93.
- 13 Yongquan, N., Zekun, Y., Hongzhen, G., Fub, M.W., Hui, L. Xiea, X. Investigation on hot deformation behavior of P/M Ni-base superalloy FGH96 by using processing maps. *Materials Science and Engineering A* 527 (2010) 6794–6799.
- 14 Kai, W., Guoquan L., Benfu, H., Feng, L., Yiwen, Z., Yu, T., Jiantao, L. Characterization of hot deformation behavior of a new Ni–Cr–Co based P/M superalloy. *Materials characterization* 61 (2010) 330 – 340.
- 15 Kliber, J.-Schindler, I. Stress-Strain Curves Computer Modelling of Deformed Steels at Elevated Temperatures. In: ICSMA 9. Int. Conference, Haifa. Israel, s.647-654.
- 16 Kliber, J. New approaches in describing stress-strain curves. In: *Proceedings Inter. Conf. Formability 94*, October 1994, Tanger Steel, Ostrava, pp. 77-83.
- 17 Kliber, J., Schindler, I. Mathematical description of Stress-Strain Curve in Metal Forming Processes. *Croatia, Metalurgija* 35(1996) No.2, p.108.
- 18 Kliber, J. Torsion Test and its Evaluation. In. *Int. Symp. 13 th IFHTSE/ASM Surface Engineering Congress*, Columbus, Ohio, October 2002, 290-295.
- 19 Cingara, A. and McQueen, H. J. *J. Mater. Process. Technol.*36 (1992)31–42.
- 20 McQueen, H.J., Jin, N., Ryan, N.D. Relationship of energy dissipation efficiency to microstructural evolution in hot working of AISI 304 steel. *Materials Science and Engineering A* 190, 1995, s 43-53.
- 21 Prasad, Y V R K, Gegel H L, Doraivelu, S. M., Malas J. C., Morgan, J.T., Lark, K.A., Barker, D. R. *Metall. Trans*(1984)A 15 1883–92.
- 22 Gegel, H. L., Malas, J. C., Doraivelu, S. M. Shende, V. A. 1987 *Metals Handbook* vol 14, (ASM International) p. 417.

23 Alexander, J. M. Modelling Hot Deformation of Steels, ed J G Lenard (Berlin: Springer-Verlag) 1989, pp. 101.

24 Quan, G.Z., Zhao, L., Chen, T., Wang, Y., Mao, Y.P., Lv, W.Q. Zhou, J. 2012 Mater. Sci. Eng. A 538364–73.

25 Sonnek, P., Petruželka, J. Proc. 10th International Metallurgical and Materials Conference (Ostrava) 2001 (Ostrava: Tanger Ltd).

26 Kliber, J. Computer simulation of hot forming efficiency, Part 1. In Int. Conference Machine-Building and Technosphere at the Boundary of the XXI Century, September, 10-15, (2001) Sevastopol, Ukraine. 144-148. ISBN 966-7907.

27 Opěla P, Schindler I, Kawulok P, Vančura F, Kawulok R, Rusz, S. Petrek, T. Metalurgija (2015) 54 469–72.

28 Opěla P, Schindler I, Kawulok P, Vančura F, Kawulok, R. Ruz. S. Proc. 25th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials (Brno) (2016) (Ostrava: Tanger Ltd) p. 458.

29 Kliber, J. Počítačová simulace účinnosti při tváření za tepla - část I. In. Mez. věd konference Forming 97, hotel Relax, Rožnov pod Radhoštěm, VNB-TU Ostrava a Polit. Slaska Katowice, (1997) ISBN 80-7078-466-0, s.6 -64.

30 Kliber, J. 2016 Materials Physics and Mechanics, 25, 16–21.

31 Opěla, P., Schindler, I., Ruz, S., Kawulok, P., Kawulok, R., Něvčák, V. Possibilities of Assembling of Processing Maps by Utilizing of an Artificial Neural Network Approach. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019, 461(1). ISSN 1757-8981, E-ISSN 1757-899X. EID: 2-s2.0-85059376162. Available from doi:10.1088/1757-899X/461/1/012063.

УДК 669.09

НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ

NEGATIVE ENVIRONMENTAL IMPACT OF NEW FERROUS METALLURGY TECHNOLOGIES AND POSSIBLE WAYS OVERCOME THEM

О.Ю. Шешуков^{1,2}, М.А. Михеенков¹, И.В. Некрасов^{1,2}, Д. К. Егиазарян^{1,2}

¹ Институт «Металлургии» УРО РАН, г. Екатеринбург, Россия, ² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г.Екатеринбург, Россия

o.j.sheshukov@urfu.ru

O.Yu. Sheshukov^{1,2}, M. A. Mikheenkov¹, I.V. Nekrasov^{1,2}, D.K. Yeghiazaryan^{1,2} Institute of Metallurgy, URO RAS, Yekaterinburg, Russia; ² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

o.j.sheshukov@urfu.ru

Аннотация: рассмотрено негативное воздействие новых технологий черной металлургии на окружающую среду, заключающееся в загрязнении токсичными техногенными образованиями как воздушного бассейна, так и подземных вод. Показана возможность снижения нагрузки на окружающую среду за счет утилизации техногенных образований черной металлургии в ценные товарные продукты.

Ключевые слова: черная металлургия, техногенные образования, новые технологии, утилизация

Abstract: The negative impact of new technologies of ferrous metallurgy on the environment, consisting in the pollution of toxic technogenic formations as the air basin and groundwater. The possibility of reducing the load on the environment due to the utilization of technogenic formations of ferrous metallurgy into valuable marketable products is shown.

Key words: Ferrous metallurgy, technogenic formations, new technologies, utilization

За последние 20 лет черная металлургия прошла через радикальные изменения. В связи с возросшими требованиями к качеству металлопродукции, при одновременном снижении качества сырья, получили широкое распространение высокоинтенсивная плавка стали в сверхмощных электропечах и способы внепечной обработки стали. Это повлекло за собой изменение структуры техногенных образований черной металлургии и их качественных характеристик.

В прошлом столетии наибольшее распространение в черной металлургии имели конверторный и мартеновский способы производства стали. Побочными продуктами (отходами) такого производства являлись шлаки и пыли, складирование которых всегда вызывало проблемы, которые в настоящее время обострились, в т.ч. из-за сочетания следующих факторов:

- внедрения высокоинтенсивных плавильных процессов нагрева металла особо мощными электрическими дугами;
- внедрения высокоинтенсивных процессов окисления металла сверхзвуковыми струями кислорода в современных электропечах;
- отсутствия в России системы подготовки стального лома, адекватной появившейся в последние годы системы новых электрометаллургических производств, потребляющих лом в качестве сырья;
- отсутствия системного подхода к переработке и обеззараживанию отходов новых электрометаллургических производств.

Технология высокоинтенсивной плавки стали в сверхмощных электропечах «пришла» в РФ, в основном, из Западной Европы. Однако отечественные стандарты ломоподготовки пока отстают от стандартов западных, что усиливает проблему экологической опасности пылей, формирующихся на базе испаренного лома, содержащего легко возгоняемые цветные примеси.

В связи с развитием способов внепечной обработки изменились требования к составу шлаков, используемых при реализации внепечной обработки, причем, после таких изменений шлаки тоже приобрели повышенную экологическую опасность.

Таким образом, относительно старых металлургических процессов – мартеновской и конвертерной плавки - современный электросталеплавильный процесс выглядит «пере-интенсифицированным», приводящим к генерации отходов с повышенной опасностью. Масштаб проблемы накопления опасных отходов таков, что в ряде случаев она ограничивает возможности дальнейшего развития предприятий из-за недостатка пространства, которое должно быть занято отходами текущего производства [1,2]. Зачастую шлаковые отвалы могут находиться в городской черте, нарушая ландшафт и изымая из оборота земельные ресурсы. В России общая площадь отвалов достигает десятков тысяч Га, а плата металлургических предприятий за занятие этих территорий может достигать нескольких десятков миллионов рублей в год. Всего в отвалах на территории РФ накоплено до полумиллиарда тонн металлургических шлаков. При этом темп роста площадей отвалов составляет от 3 до 5 % в год [1].

Для решения данной проблемы на многих металлургических предприятиях организованы цеха по переработке шлаков. Цех извлекает металл из отвальных шлаков, который используется в собственном производстве стали, чугуна и агломерата, извлекает немагнитные массы, применяемые в дорожном строительстве и рекультивации карьеров и выработок. Экономический эффект от переработки сталеплавильных (конвертерных, электропечных) и доменных шлаков складывается из следующих составляющих:

- доходов металлургического предприятия от продажи продуктов переработки отвалов и их использования в собственном производстве;
- сокращения платы за землю вследствие уменьшения площадей, занятых под шлаковые отвалы;
- сокращения экологических платежей вследствие снижения экологической нагрузки на окружающую среду;
- сокращения затрат на операции с отходами из-за сокращения расстояний при их складировании.

Вследствие развития в черной металлургии новых технологий, подобные схемы переработки шлаков становятся неэффективными, поскольку образующиеся в процессе внепечной обработки стали шлаки не имеют стабильной кристаллической структуры и склонны в процессе хранения к самораспаду до порошкообразного состояния. Из-за пылевидного состояния такие шлаки не могут быть переработаны по реализованным в промышленности схемам [1].

Объем образования подобных саморассыпающихся шлаков составляет около 2 % от объема производства стали. Т.е. при объеме производства стали в РФ около 70 млн. т стали в год образуется до 1,4 млн. т саморассыпающихся шлаков. Причем, поскольку они практически не используются в других отраслях промышленности, этот объем сырья (1,4 млн.

т) теряется и замещается добычей природного сырья. В масштабе мирового производства (до 1,5 млрд. т стали в год) объем образования саморассыпающихся шлаков составляет около 30 млн. т.

Причиной самораспада рафинировочных шлаков внепечной обработки стали являются полиморфные превращения, которые происходят при охлаждении основного минерала шлака – двухкальциевого силиката ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и сопровождаются изменением объема кристаллической решетки. Критические изменения в кристаллической решетке двухкальциевого силиката происходят при преобразовании высокотемпературной β модификации двухкальциевого силиката в низкотемпературную γ модификацию. Вследствие большой разницы в плотности, переход β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ в γ - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ сопровождается увеличением объема примерно на 12 %, что приводит к рассыпанию шлака.

Другим проблемным техногенным образованием черной металлургии, появившимся в связи со стремительным развитием дуговой плавки стали, является пыль дуговых сталеплавильных печей. Как и рафинировочные шлаки, пыль дуговых печей имеет пылевидное состояние и не может быть переработана традиционными методами, используемыми в черной металлургии.

Из-за отсутствия методов переработки, предприятия черной металлургии вынуждены складировать указанные техногенные образования. Шлак агрегатов «ковш-печь» и пыль дуговых печей имеют размер частиц не превышающий 100 мкм. В работе [3] отмечается, что примерно 80 % частиц распавшегося шлака имеют размер зерна менее 30 мкм. Такие частицы легко аэрируются, разносятся ветром на большие расстояния, загрязняют почвы, растворяются в грунтовых, осадочных и сточных водах нанося значительный ущерб окружающей среде.

В таблице 1 приведено содержание вредных веществ одного из предприятий черной металлургии в шлаке агрегата ковш-печь, складированного на территории предприятия и сравнение данного содержания с гигиеническими нормативами ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».

Таблица 1 - Содержание вредных веществ одного из предприятий черной металлургии в шлаке агрегата ковш-печь и нормы ПДК на данные вещества

Наименование определяемого элемента	Единицы измерений	Результат измерений	Нормы ПДК по ГН 2.1.7.2041-06	Превышение норм ПДК
1	2	3	4	5
Ванадий	мг/кг	130 ± 10	150,0	Нет превышений
Цинк	мг/кг	100 ± 10	23,0	Превышение в 4,3 раза
Медь	мг/кг	30 ± 10	3,0	Превышение в 10 раз
Хром трехвалентный	мг/кг	1300 ± 60	6,0	Превышение в 216 раз

В таблице 2 приведено содержание вредных веществ одного из предприятий черной металлургии в пыли дуговых печей, складированной на

территории предприятия и сравнение данного содержания с гигиеническими нормативами ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».

Таблица 2 - Содержание вредных веществ одного из предприятий черной металлургии в пыли дуговых печей и нормы ПДК на данные вещества

Наименование определяемого элемента	Единицы измерений	Результат измерений	Нормы ПДК по ГН 2.1.7.2041-06	Превышение норм ПДК
1	2	3	4	5
Ванадий	мг/кг	3481 ± 870	150,0	Превышение в 23 раза
Мышьяк	мг/кг	193 ± 94	2,0	Превышение в 96 раз
Никель	мг/кг	138 ± 48	4,0	Превышение в 34 раза
Свинец	мг/кг	917 ± 229	32,0	Превышение в 28 раз
Сурьма	мг/кг	24,2 ± 12,1	4,5	Превышение в 5,4 раза
Хром трехвалентный	мг/кг	1078 ± 216	6,0	Превышение в 180 раз

В соответствии с приведенными данными, рассматриваемые техногенные образования содержат значительное количество вредных веществ, еще больше усугубляющих ущерб окружающей среде. В таблице 3 приведен годовой объем техногенных образований, формирующихся на одном из предприятий черной металлургии.

Таблица 3 - Годовой объем техногенных образований, формирующихся на одном из предприятий черной металлургии

Наименование техногенных образований	Код отхода по федеральному классификационному каталогу отходов	Класс опасности отхода	Образование отходов за год, тонн
Отходы известняка, доломита и мела в виде порошка и пыли, малоопасные	23111203404	4	1513,3
Пыль газоочистки черных металлов незагрязненная (пыль ДСП)	36123101424	4	10532,9
Окалина от металлолома	35121000000	4	6763,2
Рафинировочные шлаки внепечной обработки стали (шлак печи - ковша)	35121000000	4	11084,9
Шлаки производства стали (шлаки дуговых сталеплавильных печей)	35121000000	4	109208,0
Окалина прокатного производства	35150100000	5	11378,9

Наиболее проблемными техногенными образованиями в приведенном перечне и требующими срочного решения по утилизации являются пыль газоочистки и рафинировочные шлаки. Вопрос утилизации или перевода опасных отходов в неактивные формы особенно актуален именно для них.

Распад затвердевшего шлака с образованием мельчайших частиц приводит к резкому увеличению поверхности частиц шлака. Распад частиц шлака с размера 10 см на мелкие частицы размером около 100 мкм приводит к тысячекратному увеличению их реакционной поверхности. Поэтому распад ковшевых шлаков приводит к тысячекратной интенсификации перехода вредных веществ со свободной поверхности частиц шлака в окружающую среду. Для предотвращения такого загрязнения необходимо исключать явление рассыпания шлака путем стабилизации его кристаллической структуры. Результаты работ по стабилизации рафинировочных шлаков описаны в [4].

Ещё одним практически реализуемым методом снижения опасности отходов является перевод их компонентов в неопасную форму с помощью восстановительной плавки. Подобный способ актуален не только для отходов чёрной, но и цветной металлургии, где накоплены отвалы хромистых, ванадиевых и других шлаков ферросплавного производства. Цветные металлы обладают меньшим сродством к кислороду, чем железо, поэтому при восстановительной плавке цветные металлы восстанавливаются и переходят в чугун, приобретая экологически неопасное состояние.

Шлаки черной металлургии можно условно разделить на две группы – шлаки окислительного рафинирования и шлаки восстановительного рафинирования. Шлаки окислительного рафинирования образуются при конвертации чугуна и выплавке стали в дуговых печах, а шлаки восстановительного рафинирования в агрегатах «печь-ковш» и вакууматорах. Шлаки окислительного рафинирования обеспечивают удаление из металла фосфора в шлак, при этом в условиях окислительной плавки в шлак также переходит и значительное количество оксидов железа. Шлаки восстановительного рафинирования обеспечивают удаление из металла серы в шлак за счет взаимодействия серы с СаО шлака. Указанные технологические особенности образования металлургических шлаков обеспечивают формирование их специфических химических и минералогических составов [5,6,7].

В таблице 4 приведен химический состав типичных шлаков окислительного и восстановительного рафинирования образующихся на предприятиях черной металлургии.

Таблица 4 - Химический состав типичных шлаков окислительного и восстановительного рафинирования образующихся на предприятиях черной металлургии

Наименование шлака	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	M ₀ ^{***}	K _{акт} ^{****}
Шлаки ОР*	15,0-31,1	6,4-19,2	2,5-8,0	19,7-53,2	4,2-10,1	4,3-8,8	1,2-2,4	0,14-0,47	0,05-0,27	1,5-2,15	0,4-0,41
Шлаки ВР**	38,7-59,0	8,7-20,3	16,6-38,8	0,3-2,2	4,7-12,1	0,08-5,3	0,03-0,34	0,05-0,15	0,24-2,6	1,8-2,2	1,2- 2,7

*-окислительного рафинирования; **-восстановительного рафинирования;***M₀=(CaO+MgO)/(SiO₂+Al₂O₃);**** K_{акт} = Al₂O₃/SiO₂

По данным фазового анализа в шлаках окислительного рафинирования фиксируются - вюстит FeO , магнетит Fe_3O_4 , мервинит $\text{C}_3\text{MS}_2(3\text{CaO}\cdot\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2)$ и высокотемпературная модификация белита – ларнит $\beta\text{-C}_2\text{S}(\beta\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$, а в шлаках восстановительного рафинирования присутствуют три основных фазы – майенит $\text{C}_{12}\text{A}_7(12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3)$, периклаз MgO и низкотемпературная модификация белита - шеннонит $\gamma\text{-C}_2\text{S}(\gamma\text{-}2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$, в количестве: шлаки окислительного рафинирования - 20,4 FeO ; 24,1 Fe_3O_4 ; 15,9 C_3MS_2 ; 38,15 $\beta\text{-C}_2\text{S}$; 1,45 остальное; шлаки восстановительного рафинирования - 37,2 C_{12}A_7 ; 12,5 MgO ; 41,4 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$; 8,9 остальное.

Такой фазовый и химический состав шлаков черной металлургии (значительное количество оксидов железа в шлаках окислительного рафинирования и значительное количество оксида кальция в шлаках восстановительного рафинирования) способствовал выдвижению гипотезы и разработке способа одновременной переработки данных шлаков с получением нескольких ценных товарных продуктов [8].

В соответствии с данным способом в переработку могут быть вовлечены все техногенные образования черной металлургии, приведенные в таблице 3 с получением за единый технологический цикл сразу нескольких ценных товарных продуктов – чугуна, портландцементного клинкера и оксида цинка. Полученный таким способом портландцементный клинкер с модульными характеристиками $\text{KH}-0,92$, $s-2,3$, $p-1,7$ содержит клинкерные фазы: 51,3% C_3S , 30,1% C_2S , 10,7% C_3A , 3,8% MgO , что соответствует требованиям ГОСТ 31108 «Цементы общестроительные. Технические условия». Выход чугуна по данному способу зависит от содержания оксидов железа в шлаках окислительного рафинирования. Поскольку с увеличением выхода чугуна увеличивается рентабельность процесса, то целесообразно кроме шлаков в переработку вовлекать все железо-оксидные материалы (окалина, пыль дуговых печей), при этом в пыли, улавливаемой при подобной переработке, аккумулируется значительное количество оксида цинка.

Без дополнительного вовлечения железо-оксидных материалов для реализации способа является состав:

Шлаки окислительного рафинирования, масс. % - 60;

Шлаки восстановительного рафинирования, масс. % - 20;

Отходы известняка (пыль известе-обжиговых печей), масс. % -20.

При проведении процесса утилизации с таким соотношением выход продуктов составляет: шлак (клинкер) 82,0 масс. %, чугун 18,0 масс. %.

Химический состав полученного чугуна приведен в таблице 5.

Таблица 5 - Химический состав полученного чугуна

Тип продукта	Содержание в чугуне, %				
	C	Mn	Si	P	S
Чугун	3,13	1,26	0,109	0,036	0,021

В таблице 6 приведен расчет годового баланса переработки отходов, перечисленных в таблице 3, таким способом.

Таблица 6 - Расчет годового баланса переработки отходов

Наименование материала	Содержание в шихтовке, масс. %	Годовой объем переработки клинкера и чугуна, т. (расчетный с учетом шлака АКП – 100 % утилизации)	Годовое количество отходов, образующееся на заводе	Годовой недостаток (избыток) отхода, подлежащего переработке, т.		Оксидный материал, который может быть дополнительно вовлечен в переработку на чугун	Общее количество материалов, которое может быть переработано данным способом	
				недостаток	избыток		т/год	%
Отходы известняка,	17,0	9422,1	1513,3	7908,8	0	0	9422,1	11,2
Шлаки производства стали (ДСП)	63,0	34917,4	109208,0	0	74290,6	0	34917,4	41,5
Пыль газоочистки (пыль ДСП)	0	0	10532,9	0	10532,9	10532,9	10532,9	12,5
Рафинировочные шлаки внепечной обработки стали (шлак печи - ковша)	20,0	11084,9	11084,9	0	0	0	11084,9	13,1
Окалина прокатная	0	0	11378,9	0	11378,9	11378,9	11378,9	13,5
Окалина металлолома	0	0	6763,2	0	6763,2	6763,2	6763,2	8,0
Итого	100,0	55424,4	150481,2	7908,8	102965,6	28675	84099,4	100

Анализ результатов расчета свидетельствует, что количества извести в виде отходов, необходимых для реализации процесса недостаточно. Недостаток извести составляет 7908,8 т/год. Это количество может быть компенсировано отходами известняка в виде некондиционных отсевок, образующихся при просеве известняка перед обжигом. Избыток шлака ДСП, который не может быть переработан данным способом, составляет 74290,6 т/год. Окалина, пыль ДСП и магнитная земля могут быть вовлечены в переработку для получения чугуна. В результате подобной переработки в годовом исчислении получится 43203,3 т/год клинкера и 20459 т/год чугуна. При правильной рациональной организации производства окалина, пыль ДСП и магнитная земля должны плавиться отдельно от шлаков прямо на чугун, поскольку введение железо-оксидных материалов в шихту шлаков вызывает смещение оксидного состава клинкера и требует корректировки. При правильной рациональной организации производства плавка железо-оксидных материалов на чугун и

шлаковых материалов на чугун и клинкер должна производиться в отдельных агрегатах. Для обеспечения полной переработки образующихся оксидных материалов на чугун производительность плавильного агрегата должна быть 5 т/ч, а на чугун и клинкер 10 т/ч.

В таблице 7 приведен расчет геоэкологического эффекта от реализации данного способа переработки техногенных образований предприятия черной металлургии с годовым объемом образования по данным таблицы 3.

Таблица 7 – Расчет геоэкологического эффекта от реализации предлагаемой технологии при производстве товарных продуктов

Геоэкологические критерии	Количественные показатели на 1 тонну				Геоэкологический эффект на 1 тонну	
	Портландцементного клинкера		Чугуна		Портландцементного клинкера	Чугуна
	Существующая технология	Разработанная технология	Существующая технология	Разработанная технология		
Выбросы CO ₂ , т в т.ч. от обжига клинкера (известняка)	0,57	0,09	0,05	0	0,48	0,09
от горения кокса	0,73	0	1,9	0,27	0,73	1,63
Выбросы пыли, масс. %	6,4	0,5	0,95	0,5	5,9	0,45
Потребление природных минеральных ресурсов, т., в т.ч. известняк	1,5 0,15	0,2 0	0,118 0	0 0	1,3 0,15	0,118 0
глина	0	0	1,75	0	0	1,75
железородная смесь	0,2	0	0,52	0,075	0,2	0,445
кокс	0,05	0,05	0	0	0	0
гипс						
Потребление воды	0,86	0	0	0	0,86	0
Потребление тепловой энергии, МДж	3306,0	505,0	4001,0	612,0	2801,0	3389,0
Потребление электроэнергии	105,0	15,7	115,0	21,0	89,3	94,0

Разработанная технология прошла испытания в промышленных условиях и может быть использована для снижения экологической нагрузки на предприятиях черной металлургии при комплексной безотходной переработке всех железосодержащих отходов, шлаков окислительного рафинирования, шлаков восстановительного рафинирования и пыли дуговых печей с получением ценных товарных продуктов.

Список литературы

- Каплан, А. В. Обеспечение экономической эффективности рекультивации шлаковых отвалов металлургических комбинатов / А. В. Каплан, Т. В. Давыдова, О. А. Грибков // Металлург. – 2011. – № 6. – С. 86-88.

2 Анашкин, Н. С. Мартеновские шлаки и их использование в металлургии и других отраслях народного хозяйства : учеб. пособие / Н. С. Анашкин, С. И. Павленко. – Новосибирск : СО РАН, 2006. – 136 с.

3 Демин, Б. Л. Технические решения по переработке самораспадающихся шлаков / Б. Л. Демин, Ю. В. Сорокин, Е. Н. Щербаков, В. А. Топоров, А. И. Степанов, Р. Я. Шарафутдинов, А. В. Мурзин // Черная металлургия: Бюллетень научно-технической информации. – 2012. – № 12. – С. 63-70.

4 Шешуков О.Ю., Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства: монография / О.Ю.Шешуков, М.А.Михеенков, И.В.Некрасов, Д.К. Егиазарьян., А.А.Метелкин, О.И. Шевченко - Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2017. - 208 с. - ISBN 978-5-9544-0075-5.

5 Леонтьев Л.И., Шешуков О.Ю., Михеенков М.А., Степанов А.И., Зуев М.В. /Технологические особенности переработки шлаков ДСП И АКП в строительные материалы и опыт утилизации рафинировочного шлака /Л.И. Леонтьев и др.//Сталь. – 2014. – № 6. – С.106-109.

6 Михеенков, М.А.Шешуков О.Ю., Некрасов И.В., Егиазарьян Д.К., Лобанов Д.А. /Придание сталеплавильным шлакам свойств минеральных вяжущих веществ.// М.А. Михеенков и др. // Сталь. – 2016. – № 3. – С. 65-69.

7 Леонтьев Л.И., Шешуков О.Ю., Цепелев В.С., Михеенков М.А., Некрасов И.В., Егиазарьян Технологические особенности переработки сталеплавильных шлаков в строительные материалы и изделия/ Л.И. Леонтьев и др.// Строительные материалы. 2014. № 10. С. 70-73.

8 Пат. 2629424 Рос. Федерация: МПК С21В 3/04. Способ переработки отходов сталеплавильного производства с получением портландцементного клинкера и чугуна. Авторы: Михеенков М.А., Шешуков О.Ю., Некрасов И.В. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН) – 2016115677/03; Заявл. 21.04.2016; опубл. 29.08.2017 Бюл. № 25.

УДК 67.017

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБИДА ТИТАНА И ВОЛЬФРАМА С ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫМИ РАСПЛАВАМИ

STUDY OF REGULARITIES OF INTERACTION OF TIC AND WC CARBIDES WITH IRON-CARBON MELTS

Аникеев А.Н., Чуманов И.В., Седухин В.В.

*Южно-Уральский государственный университет (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ
(НИУ)», Челябинск, Российская Федерация*

anikeev-ml@mail.ru

Anikeev A.N., Chumanov I.V., Sedukhin V.V.

*South Ural State University (FSAEI HE "SUSU (NRU)"), Chelyabinsk, Russian Federation
anikeev-ml@mail.ru*

Аннотация: В статье представлено изучение взаимодействия тугоплавких частиц карбидов TiC и WC с железоуглеродистыми сплавами. Исследования включают в себя термодинамическое моделирование процесса взаимодействия карбидов с низко- и высокоуглеродистыми расплавами в интервалах существования жидкого расплава. Проверка результатов термодинамического моделирования была произведена в Центре высокотемпературных исследований (Польша, Краков), на установке изучения процесса взаимодействия веществ. Эксперименты включали в себя исследование высокотемпературного взаимодействия низко- и высокоуглеродистыми сталями с образцами из TiC и WC в различных атмосферах (окислительная, инертная, вакуум) методиками контактного и бесконтактного смачивания. После проведения экспериментов было проведено детальное изучение микроструктур полученных образцов, позволивших сделать выводы о влиянии химического состава и атмосферы взаимодействия на угол смачивания реагирующих веществ.

Ключевые слова: карбид титана, карбид вольфрама, низко- и высокоуглеродистые стали, смачиваемость, высокотемпературное взаимодействие.

Abstract: The article presents the study of the interaction of refractory particles of carbides TiC and WC with iron-carbon alloys. Studies include thermodynamic modeling of the interaction of carbides with low- and high-carbon melts in the intervals of existence of a liquid melt. Verification of the results of thermodynamic modeling was carried out at the Center for High-Temperature Research (Poland, Krakow), on the installation, the study of the interaction of substances. The experiments included the study of the high-temperature interaction of low- and high-carbon steels with samples of TiC and WC in various atmospheres (oxidative, inert, vacuum) using contact and non-contact wetting techniques. After the experiments, a detailed study of the microstructures of the samples was carried out, which allowed us to draw conclusions about the influence of the chemical composition and the atmosphere of interaction on the contact angle of the reacting substances.

Key words: titanium carbide, tungsten carbide, low- and high-carbon steels, wettability, high temperature interaction.

Введение

Перспективным направлением в производстве композиционных материалов с высокими механическими характеристиками могло бы стать включение дисперсных частиц карбидов, оксидов или нитридов в структуру металла [1-3]. Примерами таких материалов являются карбидные стали,

твердые сплавы и дисперсионно-упрочненные материалы [4-6]. Дисперсионно-упрочненные материалы представляют собой металлические материалы (в основном сплавы), упрочненные дисперсными частицами тугоплавких соединений (оксидов, карбидов, нитридов и т.д.), которые не растворяются и не коагулируют в металлической матрице (основе) при высоких рабочих температурах [7-9]. Максимальный упрочняющий эффект достигается при достаточно малом размере частиц упрочняющей фазы (0,01-0,05 мкм), их равномерном распределении в структуре материала и оптимальном расстоянии между частицами. В большей или меньшей степени введенные частицы взаимодействуют с расплавом, и характеристики, приобретаемые материалом, зависят от степени этого взаимодействия, а также от продуктов их взаимодействия химических реакций [10-12]. Изучение фундаментальных законов является важнейшей задачей для материаловедов. Одной из характеристик закономерностей является изучение смачиваемости материалов. Для исследования смачиваемости традиционно используется метод лежащих капель, проводимый контактным или бесконтактным (капиллярным) методом в различных атмосферах. Изучение этого явления является критически важным для технологий упрочнения материалов, основанных на взаимодействии твердых фаз (например, карбидов) и металлических расплавов [13-15]. Например, для изучения взаимодействия карбидов с металлом основным параметром должно быть содержание углерода в расплаве металла. Целью данной работы является теоретическое и практическое исследование процесса и продуктов взаимодействия карбидов титана и вольфрама углеродистыми сталями.

1 Термодинамическое моделирование

Программный пакет «FactStage» использовался в теоретическом исследовании взаимодействия. Этот пакет включает в себя возможность расчета координат фазовых диаграмм, а также диаграмм «Е-рН», диаграмм парциальных давлений, типа и количества продуктов равновесных реакций между заданными реагентами при заданных условиях, а также расчета термодинамических функций химических реакций. Расчеты проводились с учетом возможности существования фаз переменного состава (твердые и жидкие растворы, газовые смеси) плюс отклонение от идеальности в фазах такого типа.

Для моделирования были выбраны стали марок 10880 и У12 в качестве низкоуглеродистой и высокоуглеродистой марки, соответственно (табл. 1, 2).

Таблица 1 - Химический состав марки 10880, [масс. %]

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Cu	Fe
Содержание	0,04	0,30	0,30	0,03	0,02	0,30	основа

Таблица 2 - Химический состав стали марки У12, [масс. %]

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
Содержание	1,29	0,30	0,30	0,028	0,03	0,30	0,20	0,20	основа

Моделирование проводилось в диапазоне температур 900-1800 °С, то есть в диапазоне существования жидкого расплава. Масса металла на каждой итерации составляла 20 кг, а масса TiC/WC составляла 200 г, то есть предельная концентрация тугоплавкого соединения составляла 0,1 масс. %. Моделирование проводилось в отсутствие окислительной атмосферы. Однако 0,005 % кислорода было добавлено к исходным данным во время моделирования, потому что он присутствует в металле в растворенном состоянии.

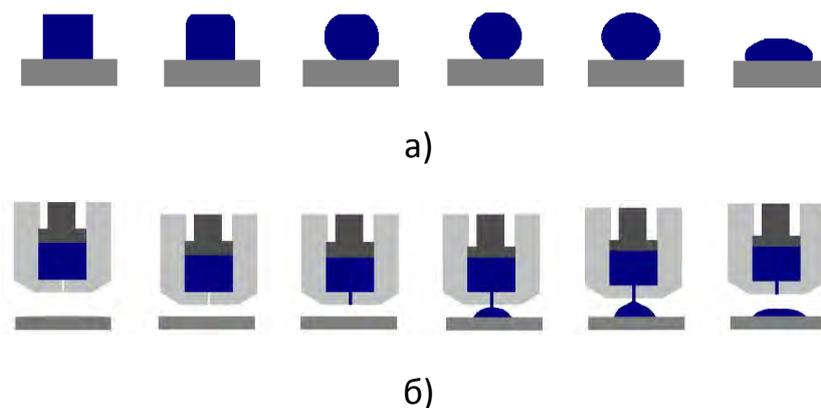
Согласно моделированию можно сделать вывод, что вводимые карбиды титана и вольфрама будут растворяться в расплавах с этими составами. Во время кристаллизации карбиды выпадают из пересыщенного раствора. Количество углерода в металле влияет только на температуру, при которой начинается образование карбидов из пересыщенного раствора: для TiC – при содержании углерода в расплаве 0,04 % образование начнется при 1420 °С, при содержании 1,29 % – при 1349 °С; для WC – при содержании углерода в расплаве 0,04 % образование начнется в интервале 1445-1475 °С в зависимости от образующейся фазы, при содержании 1,29 % – при 1425 °С.

2 Исследование смачиваемости и продуктов реакций составов «WC/TiC – сталь»

В литературе имеются данные о смачиваемости и применения TiC для производства градиентных материалов, однако его применимость рассмотрена для легированных сталей [16-18]. Практическое исследование взаимодействия карбида титана и вольфрама с железоуглеродистым расплавом проводилось в экспериментальном комплексе, состоящем из нескольких устройств с различными возможностями, предназначенных для оценки характеристик сложных материалов при высоких температурах, включая различные методы исследования смачиваемости материалов. Этот комплекс позволяет проводить испытания различных материалов (металлов, сплавов, стекла, шлака, керамики и пр.) в условиях контролируемой температуры (до 2100 °С), в вакууме (до 10⁻¹⁰ гПа) или в защитной атмосфере [19-21]. Для практических экспериментов по взаимодействию пар материалов использовались различные методики нагрева (рис. 3). Такие типы взаимодействия характерны для большинства процессов литья в промышленном производстве.

Из порошка мелкодисперсного карбида вольфрама (WC) дисперсностью от 1 до 10 мкм были сформированы подложки размерами: (Д×Ш×В) 12×12×5 мм. Формирование образцов осуществлялось при температуре 180 °С под давлением 300 МПа. Полученные образцы подвергли спеканию в вакуумной печи, оснащенной газоанализатором, при 1200 °С в течении 15 мин.

Спектрограмма газов, испарившихся с образца в процессе спекания, подтвердила удаление связующего из спекаемых образцов. В качестве металла-реагента использовались кубические образцы стали 20 размером (Д×Ш×В) 5×5×5 мм. Это обусловлено тем, что в предыдущем разделе показано, что содержание углерода не оказывает значимого влияния на взаимодействие. Эксперименты по изучению взаимодействия дисперсных частиц и металлического расплава проводились в окислительной атмосфере.



а – кинетика контактного метода нагрева (метод лежащей капли); б – кинетика бесконтактного способа нагрева

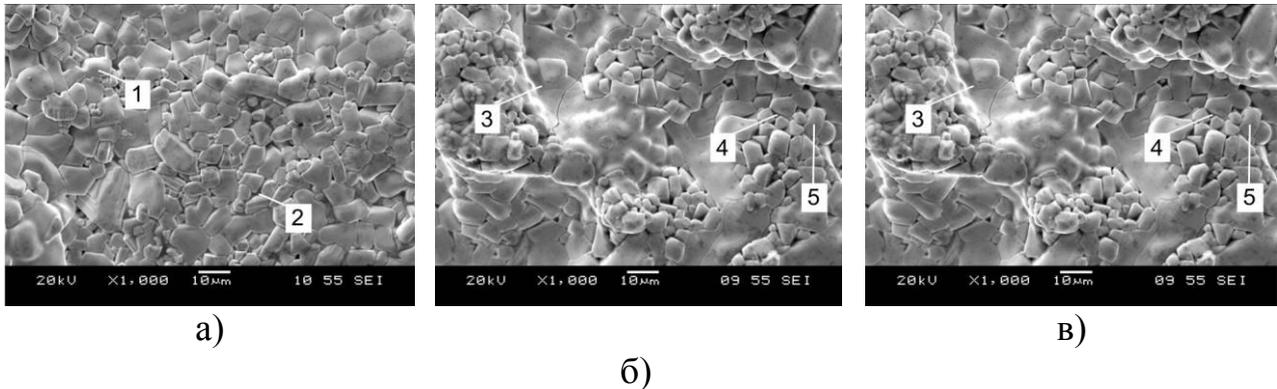
Рисунок 3 – Методология исследования взаимодействия пары материалов

Результаты эксперимента показали (методика контактного нагрева), что активное взаимодействие металла с материалом подложки, начинается уже при 1450 °С, что подтверждается фактом изменения площади соприкосновения металлического образца и подложки [22]. Методика контактного нагрева также показала, что при плавлении металла на подложке из карбидов, формирование капли не происходит – расплавленный металл полностью впитывается в подложку в течение 10 секунд. Методика бесконтактного нагрева показала, что при выдавливании капли металла на спеченный образец, формирование капли не происходит – расплавленный металл полностью впитывается в подложку в течение 5 секунд.

После изучения кинетики взаимодействия дисперсных частиц WC и металлического расплава производилось изучение структуры и химического состава подложек в месте протекания реакций.

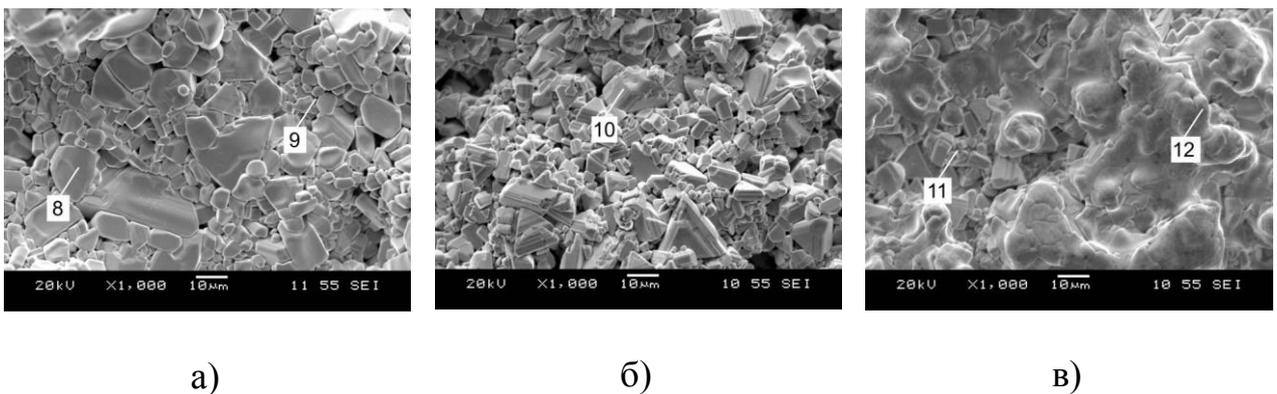
На рисунках 4-5 представлены изображения структур подложек из карбида вольфрама после проведения ряда экспериментов методиками контактного и бесконтактного нагрева. Одновременно с исследованием микроструктуры подложек проводилось исследование химического состава в выбранных областях. Исследование продуктов взаимодействия подложек из карбида и стали проводилось на растровом электронном микроскопе «Jeol JSM-6460LV». Верхняя горизонтальная сторона подложек была исследована нешлифованной. Схема анализа подложки после экспериментов (рис. 4-5): 1 –

площадь впитывания металла; 2 – площадь, прилегающая к области впитывания; 3 – область образца в верхней горизонтальной грани; 4 – площадь под поглощенным металлом; 5 – край подложки, граничащий с верхней горизонтальной гранью; 6 – край подложки, граничащий с нижней горизонтальной кромкой. Результаты исследования представлены в таблице 3.



а – область 1; б – область 2; в – область 3 (× 1000)

Рисунок 4 – Микроструктура подложки после эксперимента методом контактного нагрева



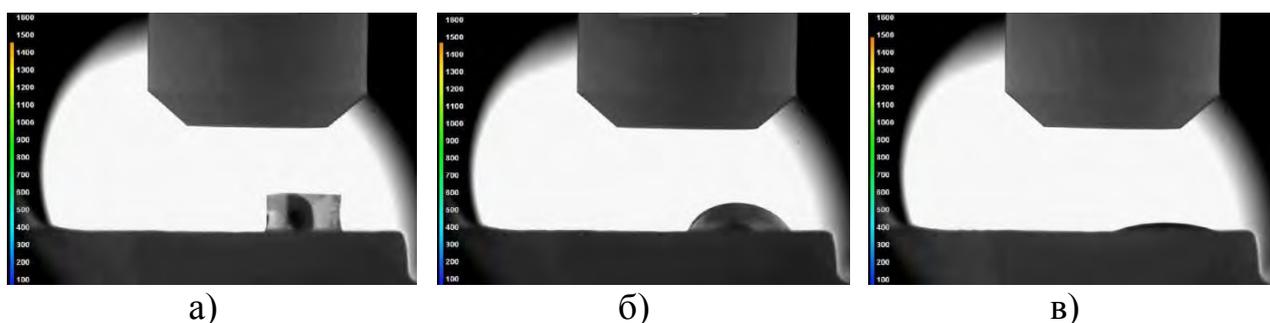
а – область 1; б – область 2; в – область 3 (× 1000)

Рисунок 5 – Микроструктура подложки после эксперимента методом бесконтактного нагрева

Таблица 3 - Химический состав выбранных спектров подложки

Спектр	Содержание элементов, масс. %			Спектр	Содержание элементов, масс. %		
	C	Fe	W		C	Fe	W
1	7,91	0,00	92,09	7	5,28	25,42	69,09
2	2,97	16,94	80,09	8	7,06	0,00	92,94
3	6,02	21,70	72,28	9	7,29	13,39	79,33
4	1,75	84,72	13,52	10	10,69	0,00	89,31
5	5,48	25,42	69,09	11	1,72	73,46	24,83
6	6,28	21,81	71,91	12	4,44	24,27	71,29

На основании полученных ранее результатов [23] было решено провести исследование смачиваемости TiC в защитной атмосфере аргона. При проведении эксперимента подложка TiC вместе с образцом металла, установленным на нее сверху (метод контактного нагрева), загружалась в камеру экспериментального комплекса, в которую закачивался аргон (степень чистоты 99,9992 %), по достижению давления в камере 850-900 мбар подачу газа прекращали. После этого производилось нагревание камеры до температуры 1495 °С со скоростью 498 °С/час. При температуре 1485 °С образец металла начал расплавляться и одновременно взаимодействовать с подложкой. Через 12 секунд образец металла полностью расплавился и образовал каплю на подложке. Образец полностью впитался в подложку в течение 25 секунд от момента начала расплавления. Эксперимент показал, что при плавлении металла на подложке из карбидов, происходит формирование капли с краевым углом смачивания 120°, после чего расплавленный металл полностью впитался в подложку. Ход эксперимента от момента плавления до полного впитывания в материал подложки представлен на рис. 6.



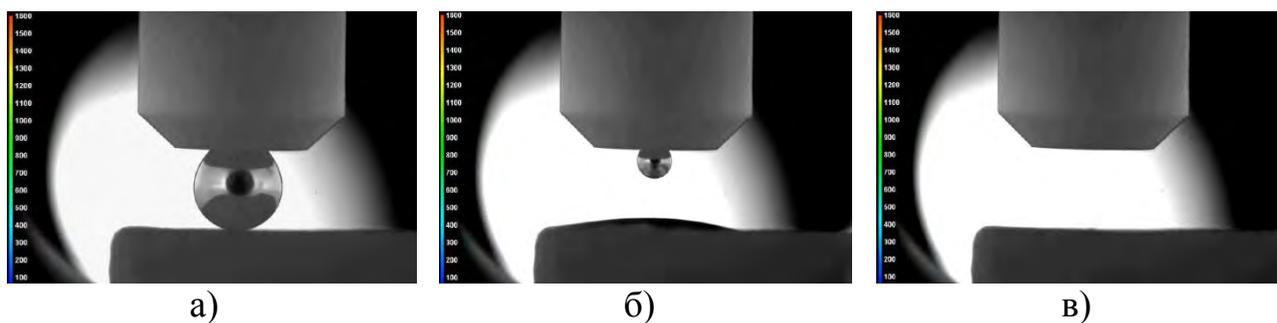
а – начало плавления ($T = 1485 \text{ }^{\circ}\text{C}$); б – через 6 с ($T = 1510 \text{ }^{\circ}\text{C}$); в – через 24 с ($T = 1530 \text{ }^{\circ}\text{C}$)

Рисунок 6 – Кинетика высокотемпературного взаимодействия стального образца с подложкой TiC в атмосфере аргона методом контактного нагрева

Также был проведен эксперимент исследования взаимодействия подложки TiC с низкоуглеродистой сталью в атмосфере аргона методикой бесконтактного нагрева. Исследование проводилось на той же подложке, что и была освещена в предыдущем эксперименте, т.е. извлечение подложки не производилось. Аналогично предыдущему эксперименту создавалась защитная атмосфера аргона, по достижении давления в камере 850-900 мбар подачу газа прекращали и начинали нагревать подложку и металл в керамической капельнице до температуры 1650 °С со скоростью 550 °С/час. По достижению температуры 1650 °С из капельницы выдавливали каплю металла на подложку (метод бесконтактного нагрева).

Эксперимент показал, что выдавливаемая капля металла впитывается в подложку в течение 5-х секунд от момента контакта с подложкой (рис. 7). Таким образом, исследование показало, что реакция взаимодействия карбида титана и металла в атмосфере аргона и вакууме идет по химической связи,

через растворение, то есть карбид титана полностью смачивается расплавом на основе железа.



а – выдавливание капли ($T = 1650\text{ }^{\circ}\text{C}$); б – растекание, смачивание и поглощение капли через 1 с ($T = 1650\text{ }^{\circ}\text{C}$); в – полное поглощение капли через 5 с ($T = 1650\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Рисунок 7 – Кинетика высокотемпературного взаимодействия стального образца с подложкой TiC в атмосфере аргона методом бесконтактного нагрева

Аналогично, как с экспериментами, в которых исследовалась взаимодействие металлического расплава с подложкой из WC, было проведено исследование структуры и состава полученных продуктов реакции. Далее, на рис. 8 представлены изображения структур продуктов, полученных в ходе экспериментов, а в табл. 4 соответственно – химические составы выбранных спектров. Номер спектра в табл. 4 соответствует изображению спектра на рис. 8.

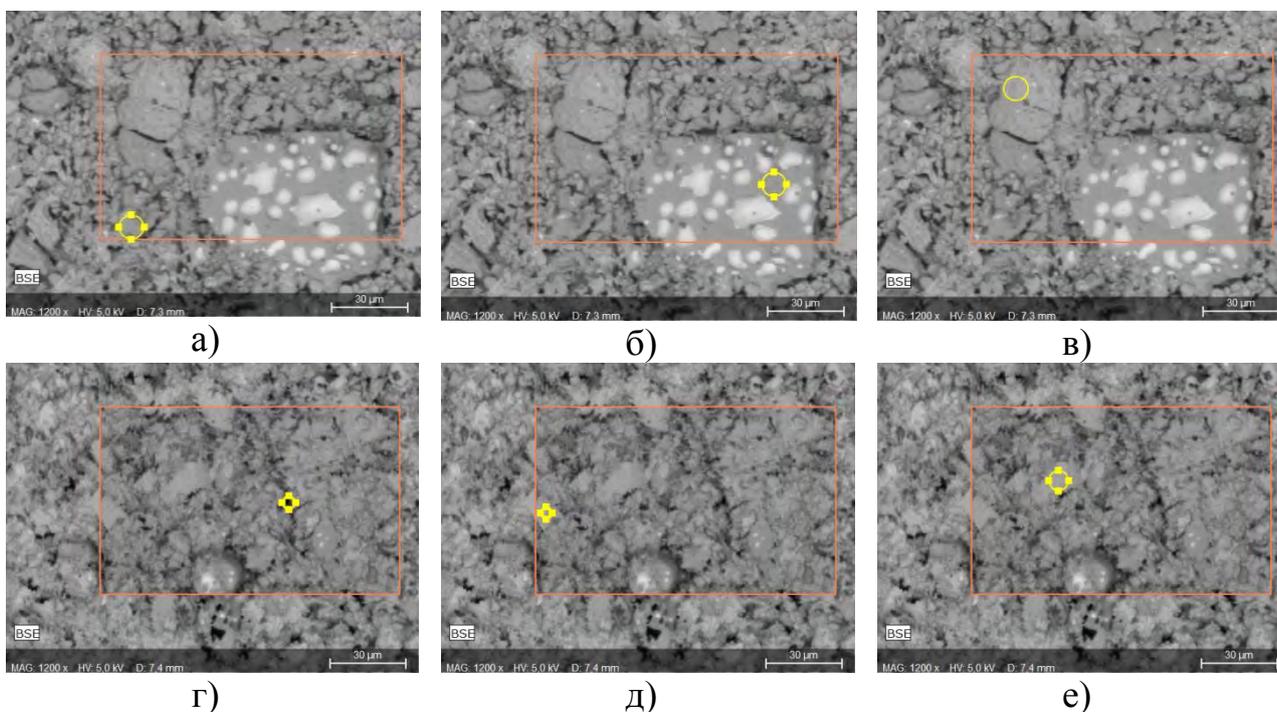


Рисунок 8 – Микроструктура подложки после экспериментов методом контактного (а-в) и бесконтактного нагрева (г-е), $\times 1200$

Таблица 5 - Химический состав выбранных спектров подложки (метод бесконтактного нагрева в окислительной атмосфере)*

Спектр	Содержание элементов, масс. %		
	C	Ti	Fe
8а	21,34	74,75	1,08
8б	21,59	69,45	7,01
8в	20,24	75,04	0,00
8г	19,01	76,74	1,72
8д	22,11	76,50	0,00
8е	21,42	76,87	0,00

*Примечание: неучтенные проценты – концентрации примесей O, P, S, Mn.

Обсуждение результатов

Согласно результатам термодинамического моделирования было обнаружено, что введенный карбид титана и вольфрама будут растворяться в расплавах с этими композициями. Во время кристаллизации оба карбида выпадают из пересыщенного раствора. Количество углерода в металле влияет только на температуру, при которой начинается образование карбидов из пересыщенного раствора: при содержании углерода в расплаве 0,04 % образование начнется при 1420 °С, при содержании 1,29 % - при 1349 °С; для WC – при содержании углерода в расплаве 0,04 % образование начнется в интервале 1445-1475 °С в зависимости от образующейся фазы, при содержании 1,29 % - при 1425 °С.

На основании ранее проведенных работ [23] и результатов, полученных в ходе настоящей работы, установлено, что в отсутствие окислительной атмосферы TiC полностью взаимодействует с металлическим расплавом, образуя соединения с различными концентрациями титана, углерода и железа. Концентрация железа уменьшается от центра капли к границе капли и увеличивается до края подложки. Этот эффект можно объяснить капиллярными силами: подложка была пропитана расплавом; область края подложки покрыта железной пленкой; WC реагирует в полной мере, вне зависимости от атмосферы проведения реакции.

Карбид вольфрама взаимодействует с низкоуглеродистым расплавом в окислительной атмосфере, при этом значительной разницы между фазовыми составами, образовавшихся при использовании различных методик не наблюдается; карбид титана в окислительной атмосфере не взаимодействует с низкоуглеродистым расплавом; в вакууме карбид титана обладает высокой степенью смачивания низкоуглеродистым расплавом, это также объясняется тем, что в конечных продуктах реакции отсутствует кислород, которых при проведении эксперимента в окислительной атмосфере оказывает влияние на процесс взаимодействия; также карбид титана взаимодействует по химической реакции в атмосфере аргона, однако характер взаимодействия отличается от предыдущего эксперимента, что можно наблюдать при исследовании структур подложек после экспериментов.

Заключение

В статье представлено изучение взаимодействия тугоплавких частиц карбидов TiC и WC с железоуглеродистыми сплавами. Исследования включают в себя термодинамическое моделирование процесса взаимодействия карбидов с низко- и высокоуглеродистыми расплавами в интервалах существования жидкого расплава. Проверка результатов термодинамического моделирования была произведена в Центре высокотемпературных исследований (Польша, Краков), на установке изучения процесса взаимодействия веществ. Эксперименты включали в себя исследование высокотемпературного взаимодействия низко- и высокоуглеродистыми сталями с образцами из TiC и WC в различных атмосферах (окислительная, инертная, вакуум) методиками контактного и бесконтактного смачивания. После проведения экспериментов было проведено детальное изучение микроструктур полученных образцов, позволивших сделать выводы о влиянии химического состава и атмосферы взаимодействия на угол смачивания реагирующих веществ. На основании полученных данных для получения экспериментальных образцов необходимо провести физическое моделирование процесса разлива и одновременного введения частиц карбидов, что будет описано в дальнейших работах.

Южно-Уральский государственный университет благодарен за финансовую поддержку Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 11.9658.2017 / 8.9.)

Список литературы

- 1 Harris, I.R. Grain boundaries: Their Character, Characterisation and Influence on Properties / I.R. Harris, I.P. Jones. – London: IOM Communications Ltd., 2001. – 456 p.
- 2 Шульга, А.В. Композиты. Часть 1. Основы материаловедения композиционных материалов / А.В. Шульга. – М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – 96 с.
- 3 Chumanov, I.V. Fabrication of functionally graded materials by introducing wolframium carbide dispersed particles during centrifugal casting and examination of FGM's structure / I.V. Chumanov, A.N. Anikeev, V.I. Chumanov // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 2. – P. 816-820.
- 4 Комшуков, В.П. Исследование влияния модифицирования металла нанопорошковыми материалами на качество сортовой непрерывнолитой заготовки / В.П. Комшуков, А.Н. Черепанов, Е.В. Протопопов и др. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2010. – №8. – С.57-63.
- 5 Комшуков, В.П. Модифицирование непрерывнолитой стали нанопорошками тугоплавких соединений / В.П. Комшуков, Д.Б. Фойгт, А.Н. Черепанов и др. // Сталь. – 2009. – №4. – С.65-67.
- 6 Singla, S. Wear behavior of weld overlays on excavator bucket teeth / S. Singla, J.S. Grewal, A.S. Kang // Procedia Materials Science. – 2014. – Vol. 5. – P. 256-266.

7 Al-Mangour, B. Selective laser melting of TiC reinforced 316L stainless steel matrix nanocomposites: Influence of starting TiC particle size and volume content / B. Al-Mangour, D. Grzesiak, J.-M. Yang // *Materials and Design*. – 2016. – Vol. 104. – P. 141-151.

8 Li, H.W. Effect of WC and Co on the microstructure and properties of TiC steel-bonded carbide / H.W. Li, G.P. Li, W. Chen et. al. / *Materials Science Forum*. – 2017. – Vol. 898. – P. 1468-1477.

9 Budin, S. The effect of adding carbon and vanadium carbide on microstructure and mechanical properties of ultra-fine WC-Co composite / S. Budin, K.M. Hyie, M.A. Selamat // *Journal of Mechanical Engineering*. – 2018. – Vol. 5. – P. 25-36.

10 Anikeev, A.N. Increase in wear resistance by introduction of titanium carbide dispersed particles / A.N. Anikeev, V.V. Seduhin, D.V. Sergeev // *Materials Science Forum*. – 2016. – Vol. 843. – P. 269-273.

11 Земцова, Е.Г. Создание в объёме металлической (железной) матрицы неоднородностей на основе карбидных наноструктур для регулирования механических свойств / Е.Г. Земцова, Д.В. Юрчук, В.М. Смирнов // *Materials Physics and Mechanics*. – 2013. – №18. – С.42-52.

12 Chumanov, I.V. Effect of an atmosphere on the wetting of titanium carbide with liquid low-carbon steel / I.V. Chumanov, A.N. Anikeev // *Russian Metallurgy (Metally)*. – 2016. – Vol. 2016. – Iss. 12. – P. 1145-1147.

13 Al-Mangour, B. In-situ formation of novel TiC-particle-reinforced 316L stainless steel bulk-form composites by selective laser melting / B. Al-Mangour, D. Grzesiak, J.-M. Yang // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2017. – Vol. 706. – P. 409-418.

14 Krishna, A.R. An investigation on the mechanical and tribological properties of alloy A356 on the addition of WC / A.R. Krishna, A. Arun, D. Unnikrishnan et. al. / *Materials Today: Proceedings*. – 2018. – Vol. 5. – Iss. 5. – P. 12349-12355.

15 Brust, S. Manufacturing of hard composite materials on Fe-base with oxide particles / S. Brust, A. Röttger, J. Kimm et. al. / *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 742. – P. 106-112.

16 Kiviö, M. Interfacial Phenomena in Fe-TiC Systems and the Effect of Cr and Ni / M. Kiviö, L. Holappa, T. Yoshikawa et. al. // *High Temperature Materials and Processes*. – 2012. – Vol. 31(4-5). – P. 645-656.

17 Kiviö, M. Interfacial Phenomena in Fe/Stainless Steel–TiC Systems and the Effect of Mo / M. Kiviö, L. Holappa, T. Yoshikawa et. al. // *High Temperature Materials and Processes*. – 2014. – Vol. 33 (6). – P. 571-584.

18 Kiviö, M. Studies on interfacial phenomena in titanium carbide/liquid steel systems for development of functionally graded material / M. Kiviö, L. Holappa, S. Louhenkilpi et. al. // *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*. – 2016. – Vol. 47. – P. 2114-2122.

19 Sobczak, N. Experimental complex for investigations of high-temperature behaviour of molten metals in contact with refractory materials / N. Sobczak, R.

Nowak, W. Radziwill et. al. // Materials Science and Engineering: A. – 2008. – Vol. 495. – Iss. 1-2. – P. 43-49.

20 Xi, L. Wetting, reactivity, and phase formation at interfaces between Ni-Al melts and TiB₂ ultrahigh-temperature ceramic / L. Xi, I. Kaban, R. Nowak et. al. // Journal of the American Ceramic Society. – 2017. – Vol. 101. – P. 911-918.

21 Siewiorek, A. High-Temperature interaction between molten AlSr10 alloy and glass-like carbon substrate / A. Siewiorek, N. Sobczak, J. Sobczak, et. al. // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2016. – Vol. 25. – Iss. 8. – P. 3348-3357.

22 Chumanov, I.V. Impregnation of substrates of tungsten monocarbide with low carbon steel using contact and non-contact methods / I.V. Chumanov, A.N. Anikeev // Izvestiya Ferrous Metallurgy. – 2018. – Vol. 61(5). – P. 407-412.

23 Sergeev, D.V. A study of the products reaction titanium carbide and low-carbon tungsten-containing steel in the oxidative atmosphere / D.V. Sergeev, A.N. Anikeev, I.V. Chumanov // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2015. – # 020093.

УДК 669.2

ELECTROFORMATION SPHERICAL CATHODE DEPOSITS FROM THE WATTS'S SULFATE-CHLORIDE ELECTROLYTE

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ ШАРООБРАЗНЫХ ОСАДКОВ ИЗ СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ТИПА УОТСА

Zadiranov A. N., Malkova M. Y., Abu-Nijim Ramzi

Engineering academy, Peoples` Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Zadiranov@mail.ru.

Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Абу-Ниджим Рамзи

Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Zadiranov@mail.ru.

Abstract: Traditionally, hot-rolled Nickel anodes are used in the production of galvanic coatings. The main disadvantages of these anodes are: low specific surface area, high volume of anode scrap formation. The purpose of the research was to study and develop the process of obtaining spherical Nickel cathode precipitates for their subsequent use as soluble Nickel anodes. To obtain a spherical cathode precipitation a cathode holder of an original design was developed. As a result of the experiments, cathode precipitates of spherical shape were obtained, the plasticity and porosity of which meet the requirements of the existing standard. Application in the production of galvanic coatings of spherical cathode precipitates instead of the traditionally used hot-rolled sheet anodes provides dissolution of the anode mass by 98-99 % while reducing the unit cost by 25 %.

Key words: galvanic coatings, Nickel, cathode precipitates, spherical anodes.

Аннотация: Традиционно при производстве гальванических покрытий используются листовые горячекатаные никелевые аноды. Основными недостатками этих анодов являются: низкая удельная поверхность, высокий объем формирования анодного скрапа. Целью работы являлось исследование и разработка процесса получения шарообразных никелевых катодных осадков для их последующего использования в качестве растворимых никелевых анодов. Для получения шарообразных катодных осадков разработана катодная подвеска оригинальной конструкции. В результате проведенных экспериментов получены катодные осадки шарообразной формы, пластичность и пористость которых удовлетворяют требованиям существующего стандарта. Применение при производстве гальванических покрытий шарообразных катодных осадков вместо традиционно используемых горячекатанных листовых анодов обеспечивает растворение анодной массы на 98-99 % при снижении удельных затрат на 25 %.

Ключевые слова: гальванические покрытия, никель, катодные осадки, шарообразные аноды.

1 Introduction

Hot rolled sheet nickel anodes are traditionally used in manufacturing of galvanic surfaces. The main disadvantages of such structures are little specific surface area and high volume of anode scrap and slime (18 to 20 per cent. of basic anode mass). Therefore, an important problem of metallurgy is working out anode shape with high specific surface area and low levels of metal loss with scrap and slime. Perspective way to solving this problem is transition from production of sheet metal anodes to making spherical anodes. Article [19] shows that using of spherical anodes instead of hot rolled anodes provides:

- increasing anode surface sizes leading to smoother metal distribution on cathode;
- anodic dissolution of metal in conditions of high critical current densities and pH in all electrolyte solutions than do not contain chlorium;
- decrease of galvanic slime formation;
- reduction of power consumption and current consumption by 10-25 % and 25 %, respectively, etc.

As it is known from theory of electroforming, generation of cathodic precipitates of any cross-section can be provided only in case of smooth distribution of currents on the cathode surface, e.g. when speeds of electrodeposition are the same in all directions normal to cathode surface.

This condition is, however, almost never followed in real electrochemical systems. According to [20-25], the reasons are:

- unequal primary current distributions, when currents in some areas (such as corners or bulges) have bigger amounts than in the other ones;
- changes in behavior of metal efficiency function $CE_{Ni} = f(i_k)$, especially during electrodeposition of nickel;

- low value the scattering power (PC, %) and leveling (P, unit shares) abilities of electrolyte.

This work was made for research and development of spherical anodes electroforming process for further use in manufacturing galvanic surfaces as soluble anodes.

2 Materials and Methods

A wide spread sulphate-chloride Watts-type electrolyte has been chosen as an object of research. Its chemical structure is provided in Table 1.

In the course of the experiments, the dependences of changes in the leveling and scattering abilities of electrolytes on the density of the cathode current, the content of organic additives (saccharin, butyne-2-diol-1.4, sodium lauryl sulfate) and the pH value (4.0-4.6) were studied.

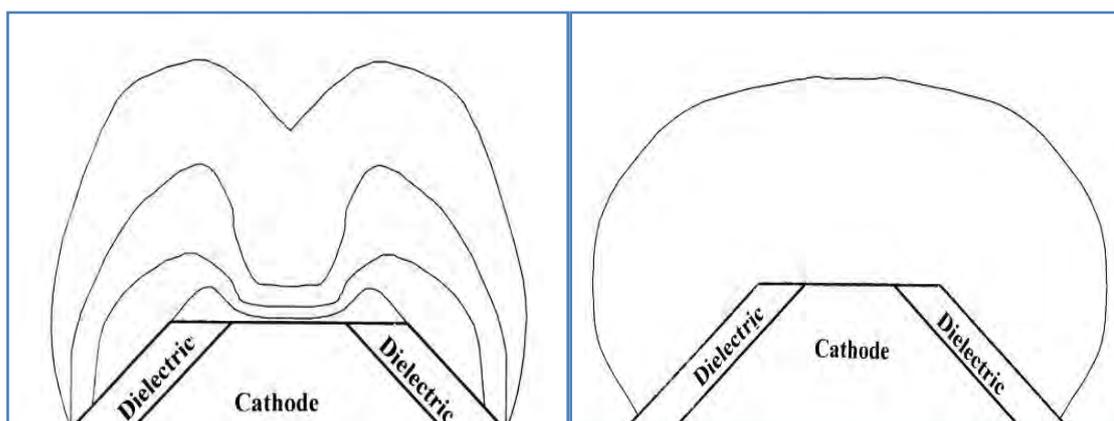
Electrolytes were prepared using reagents "pur" and "puriss" dissolution in hot (about 70°C) distilled or demineralized water with further pH and solution structure corrections.

Table 1 - Characteristics of nickel-containing sulphate-chloride electrolytes (Watts type)

Electrolytes' structures	Electrolytes' codes	
	1-1	1-2
NiSO ₄ ·7H ₂ O, g/l	300	300
NiCl ₂ ·6H ₂ O, g/l	60	50
H ₃ BO ₃ , g/l	40	40
saccharine, g/l	1	0.5
butyne-2-diol-1.4, g/l	0.5	0.2
pH	4.4-4.6	4.0-4.1
temperature, °C	50	50
i _k , A/dm ²	1-2	3-4
CE _{Ni} , %	80-82	92-96
sodium lauryl sulphate, g/l	0.1	0.1
P, unit ratio	0.65-0.7	0.4-0.5
PC, %	10-11	3-5.6

3 Theory

A model of sediment evolution in absence of secondary current distribution (Fig. 1a), namely when PC= 0, was investigated. As it can be seen from Figure 1a, the most intensive generation of sediment is observed on the peripheral zones of cathode along the isolator surface and in the same time to anode situated in front of cathode. From peripherals to the center sediment generation reduces reaching its minimal ratio. Therefore, plateau is forming in the center of generating sediment. This plateau reduces during sediment generation, turning into point during final phase.



a)b)

Figure 1. Sediment cross-section evolution model in various conditions of electroforming:

a – PC = 0 %; b – PC = 100 %.

Modeling shows that the cross-section of sediment generated in conditions of ideally smooth current distribution on the cathode surface (PC=100 %) is described by a regular spherical shape, closer to the ellipsoid (Fig. 1b).

4 Experimental

The most important parameters of cathode sediment electroforming are electrolyte's dissipating and rectifying abilities. Considering that PC = 100 % is technically impossible, a set of experiments was arranged to improve electrolyte's structure and control parameters of electroforming of spherical cathode sediment.

Electrodeposition of cathode sediment was carried out under the conditions presented in the Table.

Table 2 - Spherical sediments electroforming with use of sulphate-chloride electrolytes of Watts type.

Electrolyte's code	D_o , cm	d_o , cm	D_s , cm	V_o , cm ³	K_c , %	PC, %	i_k , A/dm ²
1-1	1.17	1.04	1.06	0.62	94.44	11	1
1-2	0.89	0.83	0.85	0.32	80.2	3	4

Data of PC and P provided in Table 2 shows decrease in these parameters with increase of i_k . As an example, for the Watts type electrolyte (code 1-1 and 1-2) there was a decrease in the values of PC and P, amounting to 11-10% and 0.7-0.65 was observed with $i_k = 1-2$ A / dm² and 5.6-3% and 0.5- 0.4 at $i_k = 3-4$ A / dm², respectively.

The original lab plant and cathode holder were produced for processing experiments of getting spherical anodes. The scheme of equipment is provided in Fig. 2. As we can see from Fig. 2, electroforming plant is a cylindrical electrolyzer 18 cm

in diameter, 25 cm high, with usable volume of 3 liters having three sheet nickel anodes 5x8x0.4 cm in coverings installed around the perimeter.

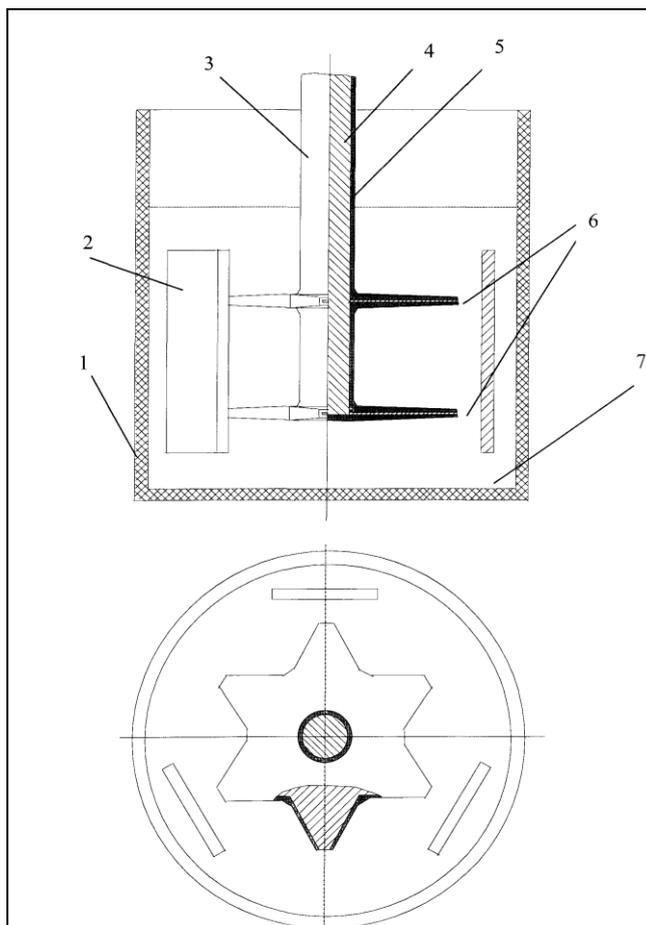


Figure 2. Spherical cathodes electroforming plant:
 1 – cylindricalelectrolyzer; 2 – nickel anodes; 3 – anode holder; 4 – steel tube;
 5 – isolator (plastisol); 6 - cathodes; 7 – electrolyte

Original cathode holder is presented as a steel tube or rod 10 mm in diameter with six-pointed “stars” made of titanium sheet ~1 mm thick fixed normally to the tube on 3 cm range from each other. Dried plastisol was used to provide electrical isolation of the holder, so the holder had isolating surface of (1-2)x1 mm. Fully assembled cathode holder has 12-24 mm² surface.

Electrolyzer filled with electrolyte is placed in the thermostat. Two glass bubblers located on the bottom are used for stirring with help of air supplied under pressure via microcompressor. Cathode electroforming was processed permanently during 8-10 hours. To lower the effect of pitting corrosion a surfactant presenter with sodium lauryl sulphate in quantities of 0.1 g/l has to be added every 10 hours of electrolyzer’s work. Current (I, A) and current density (i_k , A/dm²) necessary for producing sediment of definite mass (m, g) were found from formulas (1) and (2):

$$i_k = I/S_0, \quad (1)$$

$$m = I \cdot c \cdot t \cdot B T_{Ni} / 100, \quad (2)$$

where: i_k – cathode current density, A/dm²
 I – cathode current, A,
 S_0 – electrodeposition surface area, sm²,
 m – mass of cathode sediment, g,
 c – Eq of Nickel, g/(A/h),
 t – duration of electrodeposition process, h,
 CE_{Ni} – current output for nickel, %.

After defining volume of specimen and its weighing, diameter of specimen was calculated via formula (3) for spherical shape with same volume and mass:

$$K_c = (d_0/D_s)^3 \times 100 \% \quad (4)$$

Average of four measures was taken as a final result of experiments.

5 Results

Experiments gave cathode sediments of spherical shape (Fig. 3) 0.9-1.2 cm in diameter with high quality surface and cross-section ($K_c = 80.2-96.53\%$)

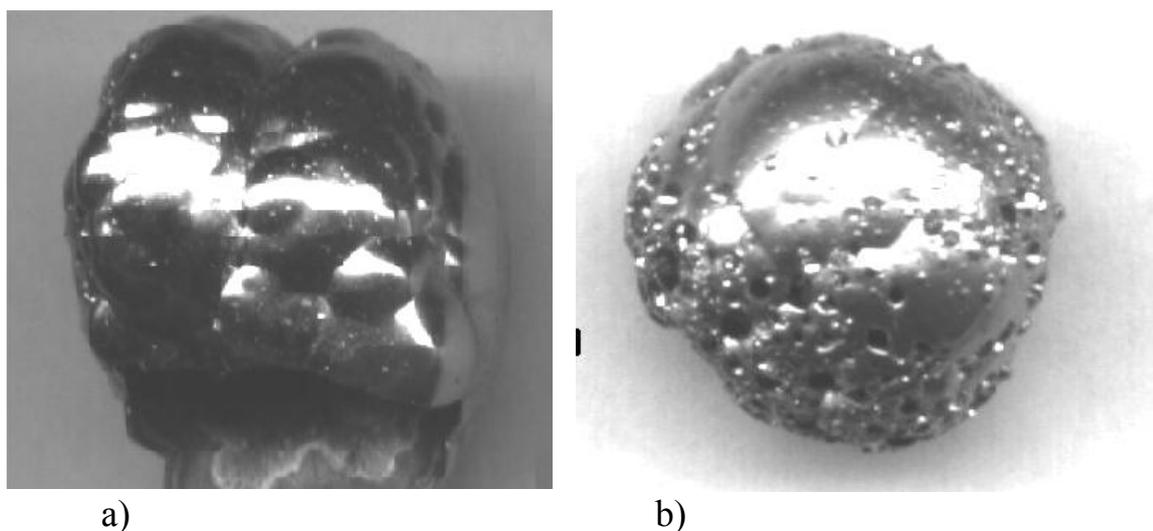


Figure 3. Spherical cathode sediments generated from Watts type electrolyte at 1 A/dm² (a) and 4 A/dm² (b)

These cathode sediments were used as soluble nickel anodes for manufacturing galvanic surfaces. Recent data shows increase in anode dissolved mass to 98-99% and decrease in energy consumption by 25-30%.

6 Discussion

As it can be seen in Fig. 3, nickel sediments generated at 1 and 4 A/dm² were hit by pitting corrosion and dendrite impurities all over the surface. Despite, defects of surface were significantly minimized by rectifying and dissipating abilities of

electrolytes. Maximum concentration of pitting corrosion was observed on the side of sediment turned to the bottom of electrolyzer reasoned by difficulties with removing of hydrogen from that area. Electroforming at higher current densities (more than 4 A/dm²) is accompanied by intensive growth of dendrites (Fig. 3 b).

Assuming these statements, we can see that it is better to use current densities less than 4 A/dm² for electroforming of high quality spherical cathode sediments from Watts type electrolyte.

7 Conclusions

A model of sediment evolution in the absence of secondary current distribution is developed. Most intensive sediment generation goes on directions from cathode periphery to anode, as it was discovered from modeling of electroforming process. It was shown that sediments' generation speeds decrease reaching extremal point in direction from periphery to center, so plateau forms in the center of sediment body, turning into point by finishing of electroforming process.

Sediment cross-section at ideal charge distribution conditions, as experiments confirmed, has regular elliptic shape. It is shown that the most important factors in the electroforming process of cathode sediment are: the scattering and leveling ability of the electrolyte.

Cathode holder and electrolyzer for spherical sediments electroforming of original construction were engineered and produced. Cathode sediments 0.9-1.2 cm in diameter with good quality of cross-section and surface were generated. Produced sediments were used as soluble nickel anodes in galvanic surface manufacturing. Also increase in dissolution of anode load mass up to 98-99% and decrease by 25-30% in energy consumption were experimentally stated.

Acknowledgment

The publication has been prepared with the support of the «RUDN University Program 5-100».

References

1 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2015-2016. // Electroplating and surface treatment. - 2017. - Vol. XXVI - №2. - P. 20-28.

2 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2015-2016. // Electroplating and surface treatment. - 2017. - Vol. XXV - №3. - P. 8-20.

3 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2014-2015. // Electroplating and surface treatment. - 2016. - Vol. XXIV - №2. - P. 14-21.

4 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2014-2015. // Electroplating and surface treatment. - 2017. - Vol. XXIV - №4. - P. 12-23.

5 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2013-2014. // Electroplating and surface treatment. - 2015. - Vol. XXIII - №2. - P. 20-28.

6 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2013-2014. // Electroplating and surface treatment. - 2015. - Vol. XXIII - №3. - P. 10-23.

7 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2012-2013. // Electroplating and surface treatment. - 2014. - Vol. XXII - №2. - P. 17-23.

8 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2012-2013. // Electroplating and surface treatment. - 2014. - Vol. XXII - №3. - P. 17-33.

9 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2011-2012. // Electroplating and surface treatment. - 2013. - Vol. XXI - №2. - P. 14-19.

10 Elinek V. T. Electroplating success. Review of the world special literature for 2011-2012. // Electroplating and surface treatment. - 2013. - Vol. XXI - №3. - P. 18-31.

11 Elinek V. T., An der MurrSteinheim. Electroplating success. Review of the world special literature for 2010-2011. // Electroplating and surface treatment. - 2012. - Vol. XX - №3. - P. 26-33.

12 Elinek V. T., An der MurrSteinheim. Electroplating success. Review of the world special literature for 2010-2011. // Electroplating and surface treatment. - 2012. - Vol. XX - №4. - P. 13-28.

13 Jelinek T.W. Advances in metal finishing technology: an appraisal literature 2015/2016. // Galvanotechnik. – 2017, 108. – №1. – P. 50-66.

14 Jelinek T.W. Advances in metal finishing technology: an appraisal literature 2014/2015. // Galvanotechnik. – 2016, 107. – №1. – P. 42-57.

15 Jelinek T.W. Advances in metal finishing technology: an appraisal literature 2013/2014. // Galvanotechnik. – 2015, 106. – №1. – P. 33-52.

16 Jelinek T.W. Advances in metal finishing technology: an appraisal literature 2012/2013. // Galvanotechnik. – 2014, 105. – №1. – P. 18-37.

17 Jelinek T.W. Advances in metal finishing – a review of the international literature 2011/2012. // Galvanotechnik. – 2013, 104. – №1. – P. 20-38.

18 Jelinek T.W. Advances in metal finishing technology: an appraisal literature 2010/2011. // Galvanotechnik. – 2012, 103. – №1. – P. 26-47.

19 Zadiranov A.N. Research, development and introduction of technologies for processing of nickel and copper industrial wastes to produce finished metal products: dis ... Dr. tech. sciences. - M., 2004. -333 p.

20 Kruglikov S.S. Features of the distribution of the rate of electrodeposition of metals and alloys in the processes of forming electrodeposited layers during the coating of components of electronic devices. Production of S-type nickel anodes by electrolysis of nickel-containing raw materials. // Electroplating and surface treatment. - 2017. – Vol. XXV. - №1. - P. 41-54.

21 Danilov F.I., Sknar I.V., SknarYu.E. The technology of electrodeposition of brilliant electroplating Ni-Fe alloy from methanesulfonic electrolytes. // Electroplating and surface treatment. - 2012. – Vol. XX. - №4. - P. 29-33.

22 Vinogradov S.N., Sevostyanov N.V. Electrodeposition of copper-nickel alloys from sulfosalicylate-ammonia electrolyte and their physicomachanical properties. // Electroplating and surface treatment. - 2010. – Vol. XVIII. - №1. - P. 22-27.

23 Kudryavtsev, V. N. Passivation of Nickel anodes.// Electroplating and surface treatment. - 2010. – Vol. XVIII. - №3. - P. 13.

24 Karakuri A. V. Research of features of formation and properties of coatings of iron with refractory metals grey cast iron SCH18. Technological audit and production reserves. // - 2017. - Vol. 1. - № 3 (33). - P. 19-28.

25 Balakay VI, Arzumanova A.V., K. V. Murzenko, Burylov I. F., V. F. KukoZ. Study of properties of Nickel coatings deposited from chloride electrolyte.// Electroplating and surface treatment. - 2009. – Vol. XVII. - №4. - P. 32-38.

УДК 621.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ В ПРОЦЕССАХ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК

MODELING OF CHANGE OF STEEL MICROSTRUCTURE IN THE PROCESSES OF FORGING LARGE FORGINGS

Жбанков Я. Г., Алиева Л.И., Малий К.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск, Украина

yzhbankov@gmail.com

Zhbankov I.G., Aliieva L.I., Malii K.V.

DonbassState Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

yzhbankov@gmail.com

Аннотация: В работе проведены экспериментальные исследования определения влияния горячей пластической деформации на структуру стали 40Х. Установлена степень влияния уровня деформации на размер зерна в зависимости от вида термической обработки заготовки. Предложен метод моделирования микроструктуры металла в процессе горячего пластического деформирования. На основе метода конечных элементов проведено моделирование процесса осадки заготовки плоскими плитами. Получено распределение величины размера зерна в поперечном сечении поковки, полученной осадкой.

Ключевые слова: ковка, микроструктура, моделирование, осадка, термическая обработка.

Abstract: The work carried out experimental studies to determine the effect of hot plastic deformation in AISI 5140 H steel structure. Influence degree of deformation level in grain size depending on the type of heat treatment in the billet is considered. Simulation method of metal microstructure in hot plastic deformation process is defined. Based on the finite element method, simulation of upsetting process with flat plates is investigated. Grain size distribution in cross section of billet in upsetting process is determined.

Key words: forging, microstructure, modeling, upsetting, heat treatment.

Введение. Повышение механических характеристик изделий металлургического производства, повышение мелкозернистости их микроструктуры, что в конечном итоге влияет и на качество изделий, является одним из основных направлений развития современного производства. Особенно это важно для изделий ответственного назначения, изделий подверженных повышенным нагрузкам.

В тяжелом машиностроении к большинству деталей предъявляются повышенные требования по надежности, которые заключаются в высокой прочности, износостойкости и долговечности. Эти параметры в свою очередь зависят от химического состава материала, из которого они изготавливаются и от структуры металла. Основное влияние на структуру металла, безусловно, оказывает термическая обработка, однако и пластическая деформация в связке с термообработкой имеет большое значение, что подтверждается многочисленными исследованиями [1-6]. Посредством пластической деформации при определенных условиях можно существенно влиять на размер зерна металла, на распределение карбидов и других включений в структуре металла, на наличие или отсутствие пор в металле.

Моделированию температурных процессов при горячем пластическом деформировании уделяется достаточно много внимания в работах современных исследователей [7-9]. Значительный прогресс в направлении моделирования процессов изменения размера зерна, при горячей пластической деформации, совершили западные и китайские ученые. Для описания изменений микроструктуры металла во время горячей обработки давлением используется ряд зависимостей. Зависимости, описывающие изменение микроструктуры во время статической рекристаллизации, метадинамической и динамической зависимости для описания роста зерна без рекристаллизации.

В работе [10] китайских ученых FeiChen, Zhenshan и др., описаны экспериментальные и теоретические исследования изменения микроструктуры специальной роторной стали 30Cr2Ni4MoV в процессе горячей пластической деформации и последующей выдержки при высокой температуре. Установлено, что режим деформирования оказывает существенное влияние на микроструктуру деформированной заготовки. Кроме того существенное влияние оказывается и на механические свойства металла в процессе деформирования.

В работе [11] польские ученые J. Sinczak, J. Majta и другие исследовали изменения микроструктуры стали с содержанием 0,4% С и 1,3% Mn в процессековки крупных поковок. В своей работе они отметили важность разработки технологического процессаковки таким образом, чтобы поковка, которая получится в результате, имела высокие механические свойства. Для этого они предлагают математическое моделирование структуры металла с целью разработки рационального технологического режима и приводят полуэмпирические формулы для расчетов размеров зерна стали в процессе горячего деформирования.

В работе [12] корейскими учеными H.S. Jeong, J.RCho и H.C. Park проведено исследование влияния горячего пластического деформирования на структуру специального сплава Nimonic 80A, который используется для аэрокосмической, морской и энергетической отрасли промышленности. В своей работе они провели математическое моделирование с экспериментальным подтверждением влияния таких параметров процесса горячего деформирования как степень деформации и скорость деформации на структуру металла. Проведенные экспериментальные исследования показали хорошую сходимость теоретических решений, отклонение находится в пределах 10%. Данная математическая модель подходит в большей степени для процессов горячей объемной штамповки относительно мелких изделий, т.к. не учитывает статическую рекристаллизацию, протекающую в крупных поковках.

Экспериментальное исследование влияния деформации на микроструктуру стали. Для подтверждения вышеупомянутых утверждений проведены экспериментальные исследования по осадке цилиндрических образцов из стали 40X, диаметром 18 мм и высотой 20 мм. Образцы изготавливались из одного куска проката и перед деформированием проходили отжиг, который заключался в выдержке образцов при температуре 880 °С в течении 5 минут и охлаждении вместе с печью. Деформирование происходило после того как холодные образцы помещали в печь нагретую до 1100 °С и выдерживали в течении 11 минут. Деформировали осадкой на различную высоту, степени деформации 0%, 32%, 47,5%, 63,5% (рис. 1), после чего одни образцы помещали в печь с температурой 1050 °С и медленно охлаждали (отжиг), вторые образцы охлаждали на воздухе на керамической подкладке (нормализация), третьи образцы проходили специальную обработку в сыпучем графите.

При погружении заготовки в сыпучий графит вокруг заготовки образуется оболочка из графита, имеющая высокую температуру. В результате этого между наружной поверхностью заготовки и внутренней поверхностью оболочки, контактирующей с заготовкой, обеспечивается плотный температурный контакт. Высокая температура оболочки снижает ее теплопроводность, а поэтому возможное выделение внутреннего тепла за счет превращений будет аккумулироваться в зоне превращения, что при отсутствии потерь тепла, будет обеспечивать постоянство температуры до завершения превращений. После чего из образцов изготавливались шлифы, и исследовалась

их микроструктура. Т.к. при осадке в заготовке наблюдается неравномерное распределение деформаций, и их наибольшая величина локализована в центральной ее части, то микроструктуру образцов исследовали именно в этой зоне. Фотографии микроструктуры приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что наибольшая величина зерна в заготовках прошедших отжиг, наименьшая в заготовках, прошедших нормализацию и специальную обработку в сыпучем графите. Кроме того видно, что с увеличением степени осадки зерно в образцах дробиться. Данное исследование подтверждает выдвинутое ранее утверждение о влиянии горячей пластической деформации на структуру металла.

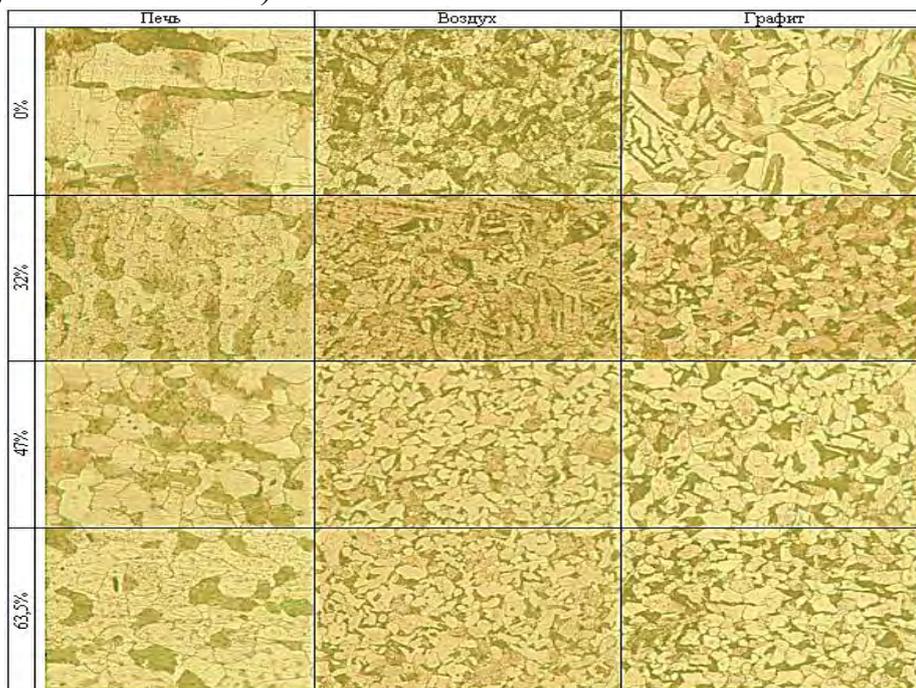
Таким образом, при изготовлении крупногабаритных изделий ковкой из слитков, технологический процесс необходимо организовывать так, чтобы деформационный и температурный режим максимально способствовали получению качественного изделия, т.е. получению необходимой структуры металла. Вследствие чего большое влияние приобретает возможность моделирование преобразований в микроструктуре металла.



Рисунок 1 - Общий вид цилиндрических образцов после осадки

Математическое моделирование изменения микроструктуры стали в процессе пластического деформирования. Для описания изменений микроструктуры металла во время горячей обработки давлением используется ряд зависимостей. Зависимости, описывающие изменение микроструктуры во время статической рекристаллизации, метадинамической и динамической и зависимости для описания роста зерна без рекристаллизации.

Таблица 1 - Микроструктура осаженных на различную высоту образцов стали 40Х (увеличение x100)



Статическая рекристаллизация протекает в том случае если интенсивность деформации в металле меньше критической ε_c . Критическая деформация обычно является функцией от пиковой деформации ε_p , т.е. деформации при которой напряжение течения металла принимает максимальное значение. Значение ε_p обычно определяется экспериментально и, как правило, является функцией скорости деформации, температуры и начального размера зерна металла.

$$\varepsilon_p = a_1 d_0^{n_1} \dot{\varepsilon}^{m_1} \exp\left(\frac{Q_1}{RT}\right) + c_1; \quad \varepsilon_c = a_2 \varepsilon_p.$$

Для описания зависимости между объемом рекристаллизовавшейся фракции металла и временем рекристаллизации используют уравнение Avrami:

$$X_{srx} = 1 - \exp\left[-\beta_s \left(\frac{t}{t_{0.5}}\right)^{K_s}\right]; \quad t_{0.5} = a_3 d^{h_3} \varepsilon^{n_3} \dot{\varepsilon}^{m_3} \exp\left(\frac{Q_3}{RT}\right).$$

$t_{0.5}$ обозначает время, за которое протекает 50% рекристаллизации. Размер зерна после рекристаллизации является функцией начального размера зерна, деформации, скорости деформации и температуры.

$$d_{srx} = a_6 d_0^{h_6} \varepsilon^{n_6} \dot{\varepsilon}^{m_6} \exp\left(\frac{Q_6}{RT}\right) + c_6.$$

Метадинамическая рекристаллизация протекает в том случае если

полученная металлом деформация больше критической ε_c . Метадинамическая рекристаллизация моделируется также как и статическая, но с некоторым отличием в константах материала.

$$X_{mrx} = 1 - \exp \left[-\beta_m \left(\frac{t}{t_{0.5}} \right)^{K_m} \right]; t_{0.5} = a_4 d^{h_4} \varepsilon^{n_4} \dot{\varepsilon}^{m_4} \exp \left(\frac{Q_4}{RT} \right);$$

$$d_{mrx} = a_7 d_0^{h_7} \varepsilon^{n_7} \dot{\varepsilon}^{m_7} \exp \left(\frac{Q_7}{RT} \right) + c_7.$$

Динамическая рекристаллизация по своей сути комплексный процесс во время, которого происходит одновременная генерация и аннигиляция дислокаций рекристаллизацией. Динамическая рекристаллизация моделируется феноменологически как функция деформации при фиксированных температуре и скорости деформации. В данном случае также используется уравнение Avrami для описания зависимости объема рекристаллизованной фракции металла от интенсивности деформации.

$$X_{drx} = 1 - \exp \left[-\beta d \left(\frac{\varepsilon - a_{10} \varepsilon_p}{\varepsilon_{0.5}} \right)^{K_d} \right]; \varepsilon_{0.5} = a_5 d_0^{n_5} \dot{\varepsilon}^{m_5} \exp \left(\frac{Q_5}{RT} \right) + c_5.$$

$\varepsilon_{0.5}$ – обозначает деформацию, при которой протекает 50% рекристаллизации. Размер зерна при динамической рекристаллизации определяется по следующей зависимости:

$$d_{drx} = a_8 d_0^{h_8} \varepsilon^{n_8} \dot{\varepsilon}^{m_8} \exp \left(\frac{Q_8}{RT} \right) + c_8.$$

Моделирование роста зерен выполняется в том объеме металла, который не имеет деформации, т.е. либо до горячей деформации либо после того как рекристаллизация завершилась. С этой целью используется классическая феноменологическая зависимость описывающая рост зерна:

$$d_{gg} = \left[d_0^m + a_9 t \exp \left(\frac{-Q_9}{RT} \right) \right]^{1/m}.$$

В работе [13] приведена модель изменения размера зерна в процессе горячей пластической деформации стали Mn18Cr18N. Модель учитывает динамическую, статическую и метадинамическую рекристаллизацию, а также рост зерен во время выдержки.

Соотношения, описывающие *динамическую рекристаллизацию* следующие. Параметр Zener-Holloman:

$$Z = \dot{\varepsilon} \cdot \exp \left(\frac{Q}{R \cdot T} \right),$$

где Q – энергия активации (478,6 кДж/моль); R – газовая постоянная (8,314 Дж/моль*К); T – температура деформации, К; $\dot{\varepsilon}$ – скорость деформации, с⁻¹.

Критическая степень деформации, при достижении которой начинается динамическая рекристаллизация:

$$\varepsilon_c = 3.7 \cdot 10^{-5} \cdot d^{0.071} \cdot Z^{0.2},$$

где d – исходный размер зерна (350 мкм).

Степень деформации, при которой рекристаллизуется 50% деформируемого металла:

$$\varepsilon_{05} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot d^{0.117} \cdot \dot{\varepsilon}^{0.103} \cdot \exp\left(\frac{89748}{R \cdot T}\right).$$

Размер зерна после завершения динамической рекристаллизации:

$$d_{drx} = 1.159 \cdot 10^6 \cdot Z^{-0.277}.$$

Объем динамически рекристаллизовавшегося металла:

$$X_{drx} = 1 - \exp\left(-0.693 \cdot \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_c}{\varepsilon_{0.5}}\right)^{1.6}\right),$$

где ε – интенсивность деформации.

Соотношения, описывающие статическую рекристаллизацию следующие.

Время протекания половины статической рекристаллизации:

$$t_{05} = 8.47 \cdot 10^{-16} \cdot d^{1.99} \cdot \varepsilon^{-3.323} \cdot \exp\left(\frac{249300}{R \cdot T}\right).$$

Часть металла прошедшая статическую рекристаллизацию (в долях от 1):

$$X_{srx} = 1 - \exp\left(-0.693 \cdot \left(\frac{t}{t_{0.5}}\right)^{1.702}\right).$$

Размер зерна после завершения статической рекристаллизации:

$$d_{srx} = 2.98 \cdot 10^5 \cdot d^{0.79} \cdot \varepsilon^{-1.74} \cdot \exp\left(\frac{158500}{R \cdot T}\right).$$

Когда рекристаллизация завершается, т.е. объем рекристаллизовавшейся части металла составляет 0,95 и выше, начинается рост зерен, за счет уменьшения площади их границ в единице объема. Функция для определения роста зерна следующая:

$$d_t^{5.9} - d_0^{5.9} = 2.2 \cdot 10^{26} \cdot t \cdot \exp\left(\frac{486809}{R \cdot T}\right).$$

В работе проведено моделирование процесса осадки заготовки плоскими плитами методом конечных элементов [14-17]. Исходная заготовка диаметром 1000 мм, высотой 1500 мм, материал заготовки сталь Mn18Cr18N, начальная температура 1100 °С. Температура инструмента 200 °С, коэффициент трения по закону Зибеля 0,35, скорость перемещения инструмента 20 мм/с. Осадку заготовки проводили на 60%.

В результате моделирования получены поля распределения интенсивности логарифмических деформаций и скорости деформации по поперечному сечению заготовки (рисунок 2).

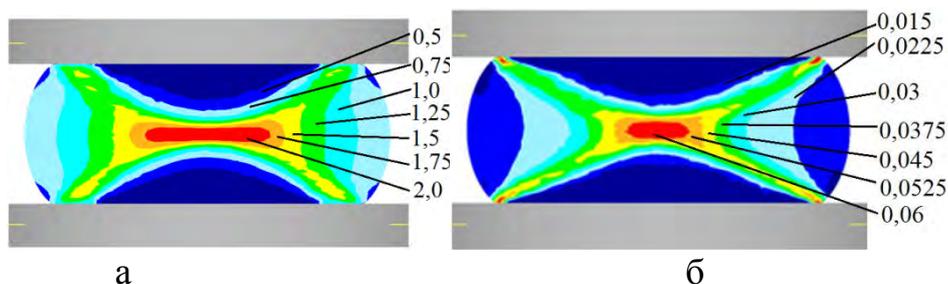


Рисунок 2 - Поля распределения интенсивности логарифмических деформаций (ϵ_i) (а) и скорости деформации ($\dot{\epsilon}_i$) (б) в поперечном сечении заготовки

Для точек указанных на рисунке 3 проведен расчет изменения микроструктуры металла. Для расчета рассматривалась четверть заготовки.

В таблице 2 приведены результаты расчета. Расчеты проводились по формулам приведенным выше. Анализ результатов расчета позволяет сделать вывод о том, что в поковке полученной осадкой в области зоны затрудненных деформаций зерно металла будет крупнее нежели в центральной части поковки. Размер зерна отличается в 2,5-3 раза, что говорит об анизотропии механических свойств металла.



Рисунок 3 - Схема расположения отслеживаемых точек в поперечном сечении заготовки

Таблица 2 - Результаты расчета размеров зерна в отслеживаемых точках заготовки

№	I-I				II-II				III-III			
	ϵ_i	$\dot{\epsilon}_i, c^{-1}$	T, °C	m, МКМ	ϵ_i	$\dot{\epsilon}_i, c^{-1}$	T, °C	m, МКМ	ϵ_i	$\dot{\epsilon}_i, c^{-1}$	T, °C	m, МКМ
P1	0,61	0,037	1100	101	0,52	0,0076	1100	107	0,57	0,009	1100	103
P2	0,94	0,0002	1000	308	0,77	0,013	1100	101	0,8	0,012	1100	128
P3	0,04	0,0002	1000	260	1,17	0,03	1100	108	1,09	0,017	1100	117
P4	0,006	0,0002	1000	266	0,74	0,025	1100	111	1,6	0,027	1100	103
P5	0,0014	0,0001	1000	269	0,35	0,009	1100	154	2,15	0,048	1100	101
P6	0,0001	0,0001	1000	317	0,23	0,0001	1100	370	2,4	0,059	1100	101

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить степень влияния уровня деформации и вида термической обработки на размер зерна заготовки из стали 40X в процессе осадки. Так установлено, что горячая пластическая деформация позволяет снизить размер зерна заготовки. Наибольшая степень влияния деформации на размер зерна заготовки наблюдается при последовательной нормализации.

Предложена методика расчета микроструктуры металла в процессе горячего пластического деформирования. Проведен расчет микроструктуры поковки из стали Mn18Cr18N полученной осадкой.

Список литературы

1 *Dobrzański L.A.* Influence of hot-working conditions on a structure of high-manganese austenitic steels / *L.A. Dobrzański, A. Grajcar, W. Borek* // *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. - VOLUME 29. ISSUE 2. August 2008, pp. 139-142.

2 *Mirzadeha H.* EBSD study of a hot deformed austenitic stainless steel / *H. Mirzadeha, J.M. Cabreraa, A. Najafzadehb, P.R. Calvillo* // *Materials Science and Engineering A* 538 (2012) pp. 236– 245.

3 *Xuyue Yang* Isochronal Annealing Behavior of Magnesium Alloy AZ31 after Hot Deformation / *Xuyue Yang, Hiromi Miura, Taku Sakai* // *Materials Transactions*, Vol. 46, No. 12 (2005) pp. 2981 to 2987.

4 *Барыкин Н.П.* Влияние технологических параметров радиально-сдвиговой прокатки на структуру стали 45 / *Н.П. Барыкин, Н.В. Лопатин* // *Кузнечно-штамповочное производство*, 2007, №4 – С. 17-20.

5 *Sergey Lezhnev, AbdrakhmanNaizabekov, Irina Volokitina.* Features of change of the structure and mechanical properties of steel at ECAP depending on the initial state./*Journal of Chemical Technology and Metallurgy (Болгария)*, 52, 4, 2017, 626-635.

6 *AbdrakhmanNaizabekov, Sergey Lezhnev, Evgeniy Panin, Irina Volokitina.* The role of preliminary heat treatment in the formation of ultrafine-grained structure in the implementation of the combined process "rolling – equal channel angular pressing"/ *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications, Switzerland, 2017, Vol. 879, 1093-1098.

7 *MarkovOleg.* Development of the metal rheology model of high-temperature deformation for modeling by finite element method / *Oleg Markov, Oleksiy Gerasimenko, Leila Aliieva, Alexander Shapoval* // *«EUREKA: Physics and Engineering»*, 2019, N 2. – p. 52 – 60. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00877.

8 *VolodymyrKukhar, AndriiPrsyazhnyi, Elena Balalayeva, Oleksandr Anishchenko.* (2017). Designing of induction heaters for the edges of pre-rolled wide ultrafine sheets and strips correlated with the chilling end-effect, *Modern Electrical and Energy System (MEES'2017)*, Kremenchuk, Ukraine, KremenchukMykhailoOstrohradskyi National University, November 15–17, 2017.

9 A.B.Naizabekov, S.N. Lezhnev, E.A.Panin, A.S. Arbuz, T.A.Koinov Simulation of radial-shear rolling of austenitic stainless steel AISI-321./Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 54, 5, 2019, 1086-1094

10 J. M. Zhang, Z. Y. Gao, J. Y. Zhuang, and Z. Y. Zhong, "Grain Growth Model of IN718 During Holding Period after Hot Deformation", Journal of Materials Processing Technology, 101 (2000), 25-30.

11 Recrystallization of 30Cr2Ni4MoV ultra-super-critical rotor steel during hot deformation. Part III: Metadynamic recrystallization. Fei Chen, Zhenshan Cui, Dashan Sui, Bo Fu // Materials Science and Engineering A 540 (2012) 46– 54

12 Prediction of mechanical properties of heavy forgings J. Sinczak, J. Majta, M. Glowacki, M. Pietrzyk // Journal of Materials Processing Technology 80–81 (1998) 166–173

13 *Wen-wu HE* Simulation and Analysis on Microstructure Evolution of Large Generator Retaining Ring during Multi-fire Forging / *Wen-wu HE, Jian-sheng LIU, Hui-qin CHEN, Hui-guangGuo* // Advanced Materials Research Vols. 97-101 (2010)

14 Aliev Igramotdin. Forging of shafts, discs and rings from blanks with inhomogeneous temperature field / Igramotdin Aliev, Yaroslav Zhbakov, Sergey Martynov // *Journal of chemical technology and metallurgy* – Volume 51. – Issue 4. – Temirtau, Kazakhstan, 2015. – P. 393-400.

15 Zhbakov I. G. Calculation of recovery plasticity in multistage hot forging under isothermal conditions / Yaroslav G. Zhbakov, Alexander V. Perig, Leila I. Aliieva // *Springer Plus*. – 2016. 5:1881. DOI: 10.1186/s40064-016-3570-x.

16 Zhbakov Yaroslav G. New schemes of forging plates, shafts, and discs / Yaroslav G. Zhbakov, Alexander V. Perig, Leila I. Aliieva // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. - 2015. -ISSN 0268-3768 (Print). ISSN 1433-3015 (Online) – Access: DOI: 10.1007/s00170-015-7377

17 Markov Oleg. Development of a new process for expanding stepped tapered rings / Oleg Markov, Oleksiy Gerasimenko, Leila Aliieva, *Alexander Shapoval, Maksim Kosilov*// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. 2/ 1 (98), - p. 39–46. doi: <https://DOI: 10.15587/1729-4061.2019.160395>.

УДК 621.777

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛОС И ПЛИТ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ

STUDY OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF STRIPS AND PLATES FROM THE ALLOY OF THE Al-Mg SYSTEM, ECONOMICALLY ALLOYED WITH SCANDIUM

**Баранов В.Н., Сидельников С.Б., Зенкин Ю.И., Белоконова И.Н.,
Лопатина Е.С., Якивчук О.В., Ворошилов Д.С.**

ФГАОУ ВОСибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

sibdrug@mail.ru

*Baranov V.N., Sidelnikov S.B., Zenkin Yu.I., Belokonova I.N.,
Lopatina E.S., Yakiviyuk O.V., Voroshilov D.S.
Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia
sibdrug@mail.ru*

Аннотация: проведено исследование структуры и свойств деформированных полуфабрикатов из сплава системы Al–Mg, экономно легированного скандием. Для проведения экспериментальных исследований при листовой прокатке использовали лабораторный стан ДУО 330 с длиной бочки валка 520 мм. В качестве опытного был выбран сплав алюминия с магнием, легированный скандием и цирконием. Для горячей и холодной прокатки слитков толщиной 28 и 60 мм были использованы режимы деформации, разработанные ранее, и составлена методика проведения исследований. Она состояла из следующих этапов: подготовка слитков из опытного сплава к прокатке, включающая фрезерование граней плоских слитков и их гомогенизацию; горячая прокатка полос до толщины 10 мм; холодная прокатка полос до толщины 1 и 3 мм, а также плит до толщины 31,5 мм; отжиг холоднодеформированных полуфабрикатов; оценка структуры и свойств литых, деформированных и отожженных полуфабрикатов на всех этапах исследований. Исследования структуры и свойств полученных полуфабрикатов показало, что при реализации разработанных режимов обжатий при прокатке и термообработке возможно получение требуемого уровня пластических и прочностных характеристик, сопоставимого с уровнем свойств промышленного сплава 01570.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, магналии, скандий, горячая прокатка, холодная прокатка, плиты, полосы, отжиг, структура, механические свойства.

Abstract: this article represent the results of study the structure and properties of deformed semi-finished products from an alloy of the Al–Mg system, economically alloyed with scandium. To conduct experimental studies during sheet rolling, the DUO 330 laboratory mill with a roll barrel length of 520 mm used in this work. An alloy of aluminum with magnesium alloyed with scandium and zirconium chosen as an experimental one. For hot and cold rolling of ingots with a thickness of 28 and 60 mm, the deformation modes developed earlier used, and a research methodology was compiled. It consisted of the following stages: preparation of ingots from the experimental alloy for rolling, including milling of faces of flat ingots and their homogenization; hot rolling of strips to a thickness of 10 mm; cold rolling of strips to a thickness of 1 and 3 mm, as well as plates to a thickness of 31.5 mm; annealing of cold-formed semi-finished products; assessment of the structure and properties of cast, deformed and annealed semi-finished products at all stages of research. The study of the structure and properties of the obtained semi-finished products showed that when implementing the developed compression regimes during rolling and heat treatment, it is possible to obtain the required level of plastic and

strength characteristics comparable to the level of properties of industrial alloy 01570.

Key words: aluminum alloys, magnalias, scandium, hot rolling, cold rolling, plates, strips, annealing, structure, mechanical properties.

Введение

В настоящее время наибольший объем потребления алюминия приходится на строительство и транспорт – более 50% всего мирового использования металла. На долю машиностроения приходится всего 9 %, однако развитие и применение передовых технологий в этом сегменте промышленности является стратегически важной задачей, так как к автомобильной и судовой технике предъявляются высокие требования по надежности конструкций и экономическим показателям[1]. Основной объем полуфабрикатов, потребляемых данными отраслями, составляют деформированные полуфабрикаты в виде листов, полос и плит, получаемые с применением горячей и холодной прокатки.

Алюминиевые сплавы, которые целесообразно применять для производства этих полуфабрикатов, должны обладать хорошими литейными свойствами, свариваемостью, пластичностью и коррозионной стойкостью при достаточном уровне прочности[2]. Такие свойства имеют сплавы системы Al–Mg(магналии), причем уровень прочности этих сплавов в значительной мере зависит от содержания в них магния и легирующих компонентов. Высокая стойкость магниевых сплавов к коррозии объясняется образованием на поверхности плохо растворимой оксидной пленки. Наиболее широкое распространение в промышленности получили сплавы с содержанием магния от 1 до 5 %. Однако ресурс прочностных характеристик этих сплавов уже исчерпан. В связи с этим в последнее время исследования направлены на изучение магниевых, легированных скандием[3-15]. Так, компанией РУСАЛ совместно с учеными Сибирского федерального университета разработан сплав алюминия с магнием (5%), в котором содержание скандия составляет 0,11–0,12% и проведены исследования режимов обработки и свойств деформированных полуфабрикатов, полученных из этого сплава [16-20]. Актуальность исследований подтверждается тем, что данная работа выполнена по проекту 03.G25.31.0265 «Разработка экономнолегированных высокопрочных Al-Sc сплавов для применения в автомобильном транспорте и судоходстве» в рамках Программы реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства, утвержденных постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218.

Целью работы является получение листового проката из сплавов системы Al-Mg, экономно легированных скандием, и оценка структуры и свойств металла. При этом одной из задач исследований являлось достижение требуемого уровня прочностных и пластических свойств, который должен был соответствовать уровню

свойств деформированных полуфабрикатов из известного сплава 01570 с содержанием скандия до 0,35%, широко применяемого в промышленности [4, 5].

Методика проведения исследований

Исследования проводились в лаборатории кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета с использованием стана горячей прокатки ДУО 330 (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики листопрокатного стана ДУО 330

Параметр	Величина параметра стана
Мощность электродвигателя, кВт	90
Напряжение питания сети трехфазное, В	380
Частота тока, Гц	50
Длина бочки валков, мм	520
Диаметр валков, мм	330
Максимальный зазор между валками, мм	70
Частота вращения валков, об/мин	10
Максимальное усилие прокатки, МН	1,55
Максимальный момент прокатки, МН·м	0,82

При разработке режимов прокатки использовали авторские методики, программные средства и данные по реологическим свойствам опытного сплава [20].

Химический состав опытного сплава приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав сплава

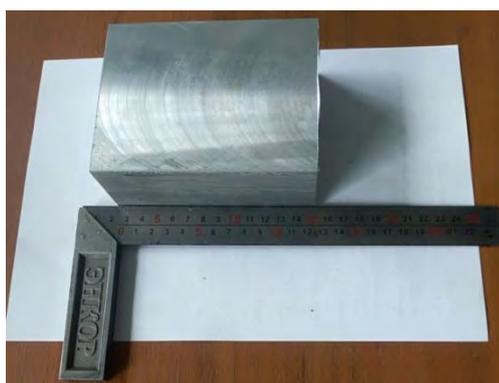
Содержание элемента, масс.%											
Mg	Mn	Si	Sc	Zr	Ti	Cr	Fe	Cu	Zn	Ni	Al
5,27	0,49	0,13	0,11-0,12	0,13	0,02	0,15	0,16	0,011	0,01	0,006	Основа

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Фрезерованные заготовки из опытного сплава (рисунок 1, а), прошедшие гомогенизацию по двухступенчатому режиму [18], нагревали до температуры 450 °С и подвергали горячей прокатке до заданной толщины. Для получения листового проката толщина заготовки равнялась 28 мм, а толщина горячекатаной полосы - 10 мм. Далее холодной прокаткой получали плоские полуфабрикаты толщиной 3 и 1 мм (рисунок 1, б). Для холоднокатаных плит толщина заготовки составляла 60 мм, а толщина проката – 31,5 мм.

По ходу эксперимента отбирали образцы для исследования структуры и механических свойств листов. Пробоподготовку образцов для металлографических исследований осуществляли по общепринятой

методике. Микроструктурный анализ проводили на световом микроскопе CarlZeissAxioObserver A1m с использованием программного пакета AxioVision.

На каждом из технологических переделов отбирали темплеты и изготавливали из них образцы для определения механических свойств металла, которые находили с применением метода статических испытаний на растяжение при комнатной температуре на универсальной испытательной машине Walter+BaiAGLFM 400 kN («Walter + Bai AG», Швейцария). При определении прочностных и пластических свойств образцов каждый раз фиксировали изменение длины рабочей части образца, а также соответствующее этому изменению значение растягивающей силы.



a



б

Рисунок 1 - Вид фрезерованных заготовок для прокатки (а) и полос после холодной прокатки (б)

Результаты и их обсуждение

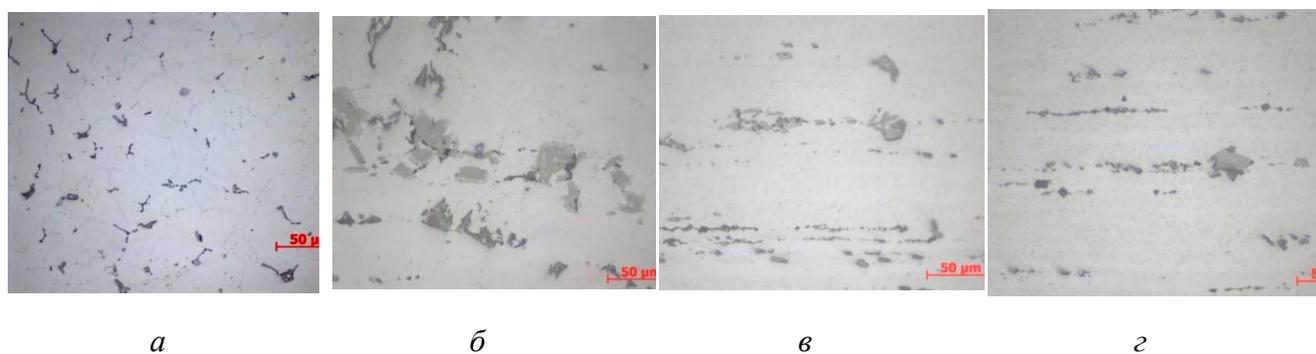
Предварительный анализ результатов исследований показал, что для получения полуфабрикатов заданной толщины необходимо учитывать следующие факторы. Назначение больших степеней пластической деформации при прокатке приводят к искажению кристаллической структуры металла и росту плотности дислокаций и вакансий. При горячей прокатке изменяется тонкая структура, и формируются субзерна, что обеспечивает разупрочнение сплавов по сравнению с холодной деформацией. При холодной прокатке изменяется структурное состояние металла, в результате чего зерна вытягиваются в направлении деформации, образуя волокнистое строение. Увеличение степени деформации при получении полуфабрикатов приводит к их упрочнению и снижению пластичности. Для получения оптимального комплекса свойств деформированных изделий применяли рекристаллизационный отжиг. В зависимости от химического состава сплава рекристаллизационные процессы могут начинаться при разных температурах. Большинство легирующих элементов повышают температуру начала рекристаллизации сплава и тормозят развитие рекристаллизационных процессов. При нагреве магниевых, легированных скандием, происходит распад твердого раствора с образованием дисперсных когерентных выделений фазы Al_3Sc , оказывающих значительное упрочняющее действие и повышающих

температуру рекристаллизации деформированного полуфабриката. Максимальное упрочнение достигается при нагреве до 300–400°C, более высокие температуры приводят к коагуляции фазы Al_3Sc и разупрочнению. Добавка Sc совместно с Zr позволяет сохранить в полуфабрикатах после термообработки нерекристаллизованную структуру и получить за счет этого значительный эффект структурного упрочнения.

Анализ структуры гомогенизированных слитков под прокатку, показал, что она представлена кристаллами α -твердого раствора и включениями интерметаллидных фаз, расположенных по границам дендритных ячеек и зерен (рисунок 2, *а*). Данные фазы имеют характерный вид скелетов, прожилок и частиц неправильной формы. Внутри зерен твердого раствора формируется субзеренная структура, что характерно для сплавов системы Al-Mg.

Для изучения возможности получения требуемого комплекса механических свойств проводили металлографический анализ образцов из опытного сплава толщиной 3 мм, полученных из заготовки толщиной 10 мм.

Микроструктура деформированных образцов (рисунок 2, *б*) состоит из вытянутых зерен α -твердого раствора и включений интерметаллидов, расположенных в виде строчек по границам зерен. В микроструктуре полос после горячей прокатки выявлены достаточно крупные частицы светло-серого цвета в форме пластин и кристаллов, имеющих разветвленную форму, размером 12-45 мкм при толщине 10 мм.



а – слиток после гомогенизации толщиной 28 мм; *б*–полоса после горячей прокатки толщиной 10 мм, *в*–полоса после холодной прокатки толщиной 3 мм; *г* – полоса после прокатки и отжига толщиной 3 мм, $\times 500$

Рисунок 2 - Микроструктура полуфабрикатов из опытного сплава в различном состоянии

Микроструктура металла полуфабрикатов, полученных холодной прокаткой, также включает кристаллы серого цвета в форме многогранников и кристаллы темного цвета в виде протяженных раздробленных пластин, расположенных вдоль направления деформации и кристаллы неправильной формы темного цвета (рис. 2, *в*). Исследование структуры в поляризованном свете показало, что деформированные и отожженные полуфабрикаты (рис. 2, *г*) имеют преимущественно волокнистое строение.

Сравнительные результаты исследований свойств литых, деформированных и отожженных полуфабрикатов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Механические характеристики образцов из опытного сплава в литом, деформированном и отожженном состояниях

Полуфабрикат	Толщина, мм	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Слиток после гомогенизации	28	312	183	9,8
Полоса после горячей прокатки	10	369	266	16,0
Полоса после холодной прокатки и отжига	3	390	277	14,0
Плита после холодной прокатки	31,5	-	388	8,0

В качестве общих закономерностей изменения механических свойств можно отметить, что с увеличением суммарной степени деформации временное сопротивление разрыву и предел текучести металла растут, а относительное удлинение снижается, что соответствует общим представлениям теории обработки металлов давлением. Применение отжига полуфабрикатов из опытного сплава после холодной прокатки при температуре 350 °С в течение 3 часов дает возможность получить высокие значения пластических свойств металла, наряду с требуемыми характеристиками прочности, которые сравнимы с механическими свойствами полуфабрикатов из промышленного сплава 01570. Установлено также, что применение более высоких температур отжига для исследуемых сплавов обеспечивает повышение пластичности металла, однако при этом происходит снижение величины прочностных характеристик.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования по изучению структуры и свойств полос и плит из сплава системы Al-Mg, экономно легированного скандием, позволили получить следующие результаты. Установлена принципиальная возможность получения в лабораторных условиях листовых полуфабрикатов различной толщины (до 1-3 мм) с применением деформационных режимов горячей и холодной прокатки, а также режимов отжига. Структура и свойства используемых слитков позволяет применять большие величины пластической деформации и достигать требуемого уровня пластических и прочностных свойств у листового проката из опытного сплава с достаточно низким содержанием скандия, сопоставимых с уровнем свойств деформированных полуфабрикатов из промышленного сплава 01570.

Список литературы

- 1 Горбунов Ю.А. Применение изделий из алюминиевых сплавов при производстве и ремонте наземного и водного транспорта в РФ // Технология легких сплавов. 2015. № 1. С. 87-92.
- 2 Белов Н. А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов. М.: Изд. Дом МИСиС, 2010.
- 3 Филатов Ю.А. Алюминиевые сплавы системы Al – Mg – Sc для сварных и паяных конструкций // Цветные металлы. 2014. - №1. С. 80 – 86.
- 4 Филатов Ю.А., Плотников А.Д. Структура и свойства деформированных полуфабрикатов из алюминиевого сплава 01570С системы Al–Mg–Sc для изделия РКК «Энергия» // Технология легких сплавов. 2011. № 2. С. 15–26.
- 5 Бронз А.В. , Ефремов В.И., Плотников А.Д., Чернявский А.Г. Сплав 1570С – материал для герметичных конструкций перспективных многоцветных изделий РКК «Энергия» // Космическая техника и технологии. – 2014. №4 (7). – С. 62 – 67.
- 6 Pereira Pedro Henrique R., Wang Ying Chun, Huang Yi, Langdon Terence G. Influence of grain size on the flow properties of an Al-Mg-Sc alloy over seven orders of magnitude of strain rate. *Materials Science & Engineering*. 2017. A685. P. 367–376.
- 7 Mondol S., Alamb T., Banerjee R., Kumar S., Chattopadhyay K. Development of a high temperature high strength Al alloy by addition of small amounts of Sc and Mg to 2219 alloy. *Materials Science & Engineering*. 2017. A687. P. 221–231.
- 8 Malopheyev S., Kulitskiy V., Kaibyshev R. Deformation structures and strengthening mechanisms in an Al-Mg-Sc-Zr alloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017. 698. P. 957–966.
- 9 Li Mengjia, Pan Qinglin, Shi Yunjia, Sun Xue, Xiang Hao. High strain rate superplasticity in an Al–Mg–Sc–Zr alloy processed via simple rolling. *Materials Science & Engineering*. 2017. A687.P.298–305.
- 10 Buranova Yu, Kulitskiy V., Peterlechner M., Mogucheva A., Kaibyshev R., Divinski S., Wilde G. Al₃(Sc, Zr) - based precipitates in AlMg alloy: Effect of severe deformation. *Acta Materialia*. 2017. № 124. P. 210–224.
- 11 Zhemchuzhnikova D, Kaibyshev R. Effect of Grain Size on Cryogenic Mechanical Properties of an Al-Mg-Sc Alloy. *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 922. P. 862-867.
- 12 Marquis E.A., Seidman E.A. Nanoscale structural evolution of Al₃Sc precipitates in Al (Sc) alloys. *Acta Materialia*. 2001. Vol. 49. P. 1909-1919.
- 13 Fuller C. B., Seidman D. N. Temporal evolution of the nanostructure of Al(Sc,Zr) alloys: Part II coarsening of Al₃(Sc_{1-x}Zr_x) precipitates. *Acta Materialia*. 2005. Vol. 53. No 20. P. 5415–5428.
- 14 Ryset J, Ryum N. Scandium in aluminum alloys. *International Materials Reviews*. 2005. Vol. 50. №. 1, P. 19-44.

15 Яшин В.В., Арышенский В.Ю., Латушкин И.А., Тептерев В.С. Обоснование технологии изготовления плоского проката из алюминиевых сплавов системы Al – Mg – Sc для аэрокосмической промышленности // Цветные металлы. – 2018, №7. С. 75 – 82.

16 Baranov V.N., Sidelnikov S.B., Frolov V.F., Zenkin E.Yu., Orelkina T.A., Konstantinov I.L., Voroshilov D.S., Yakivyuk O.V., Belokonova I.N. Investigation of mechanical properties of cold-rolled, annealed and welded semi-finished products from the test alloys of Al-Mg system, economically alloyed with scandium. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 411. P. 1-5.

17 Baranov Vladimir, Sidelnikov Sergey, Zenkin Evgeny, Frolov Viktor, Voroshilov Denis, Yakivyuk Olga, Konstantinov Igor, Sokolov Ruslan, Belokonova Irina. Study of strength properties of semi-finished products from economically alloyed high-strength aluminium-scandium alloys for application in automobile transport and shipbuilding. Open Engineering. 2018. № 8. P. 69–76.

18 Baranov Vladimir, Sidelnikov Sergey, Zenkin Evgeniy, Yakivyuk Olga. Physical Modeling Technological Regimes of Production Deformed Semi-Finished Products from Experimental Aluminium Alloys Alloyed by Scandium. Materials Science Forum. 2018. Vol. 918. P. 54-62.

19 Mann V. Kh., Sidelnikov S.B., Konstantinov I. L., Baranov V. N., Dovzhenko I. N., Voroshilov D. S., Lopatina E. S., Yakivyuk O.V., Belokonova I. N. Modeling and Investigation of the Process of Hot Rolling of Large-Sized Ingots From Aluminum Alloy of the Al-Mg System, Economically Alloyed by Scandium. Materials Science Forum. 2019. Vol. 943. P. 58–65.

20 Sidelnikov S.B., Yakivyuk O.V., Baranov V.N., Konstantinov I.L., Dovzhenko I.N., Lopatina E.S., Voroshilov D.S., Samchuk A.P., Frolov V.A. Computer simulation, analysis of force and temperature-speed parameters of the process of combined machining of Al-Mg-Sc alloys // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 544. 012018. P. 1-5.

УДК 621.77.014

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

MATHEMATICAL MODEL OF THE EXTRACTION PROCESS IN PARALLEL CHANNELS

Сосенушкин Е.Н., Сосенушкин А.Е., Яновская Е.А., Пряничников М.Ю.
Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва, Российская Федерация
sen@stankin.ru

Аннотация: для построения математической модели выдавливания в параллельных каналах матрицы рассмотрена новая схема сочетания каналов. Силовые и деформационные параметры интенсивного деформирования по данной схеме выдавливания определялись энергетическим методом верхней оценки. Произведено сопоставление расчетных данных по схемам известных РКУП ПК и предложенной схемы выдавливания в параллельных каналах.

Ключевые слова: математическая модель, параллельные каналы матрицы, энергетический метод, верхняя оценка, силовые параметры.

Abstract: To build a mathematical model of extrusion in parallel matrix channels, an approximate channel arrangement is considered. To determine the force and deformation parameters of intense deformation according to this extrusion scheme, the energy method of the upper estimate is used.

A comparison of the calculated data according to the schemes of well-known ECAP PK and the proposed extrusion scheme in parallel channels

Key words: Mathematical model, parallel channels of the matrix, energy method, upper bound, power parameters.

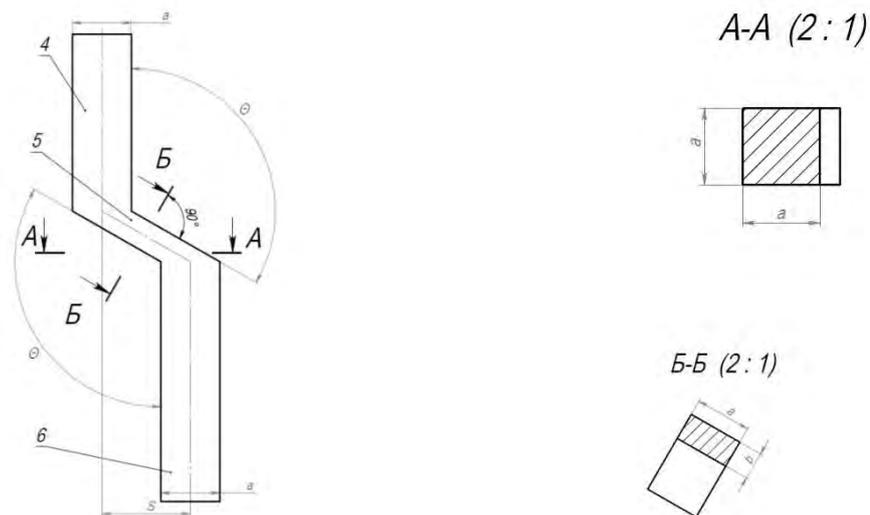
Известно множество способов интенсивного пластического деформирования (ИПД), в основе которых лежит схема равноканального углового прессования (РКУП) [1]. Наряду с кручением под высоким давлением [2], РКУП в настоящее время является одной из востребованных технологий получения объемных заготовок из конструкционных металлов с субмикроструктурной (СМК) и наноструктурой (НС) [3]. Повышение потенциальной энергии твердого тела за счет деформационного фрагментирования структуры [4] ведет к увеличению уровня физико-механических свойств конструкционных металлов и особенно прочностных характеристик с одновременным сохранением весьма высокой пластичности [5,6]. Это позволяет без ущерба сплошности материалов проводить их дальнейшее формоизменение способами пластического деформирования в изотермических условиях или в условиях низкотемпературной сверхпластичности [7]. Расширение области применения таких материалов послужит новым толчком для развития машиностроительной отрасли на основе повышения производительности [8] и уменьшения металлоемкости изделий [9], а также увеличения ресурса изделий при эксплуатации [10].

Перечисленным особенностям соответствует новая схема выдавливания заготовок в параллельных каналах (рисунок 1) [11, 12], являющейся модификацией РКУП в параллельных каналах [13]. В сечении Б-Б (см. рисунок

1), ширина промежуточного канала уменьшается до размера $b = a \cdot k$, где коэффициент $k = 1 - 2 \cos^2 \frac{\theta}{2}$ зависит от угла пересечения каналов θ .

Для определения силовых и деформационных параметров интенсивного деформирования по данной схеме выдавливания воспользуемся энергетическим методом верхней оценки.

Рассмотрим пластическую область вблизи линии пересечения приемного и промежуточного каналов, разбив очаг деформации на жесткие блоки в виде треугольников, как показано на рисунке 2.



4 – приемный канал; 5 – промежуточный канал; 6 – выходной канал; θ – угол пересечения каналов; b – ширина промежуточного канала; s – межосевое расстояние

Рисунок 1 – Геометрия каналов матрицы

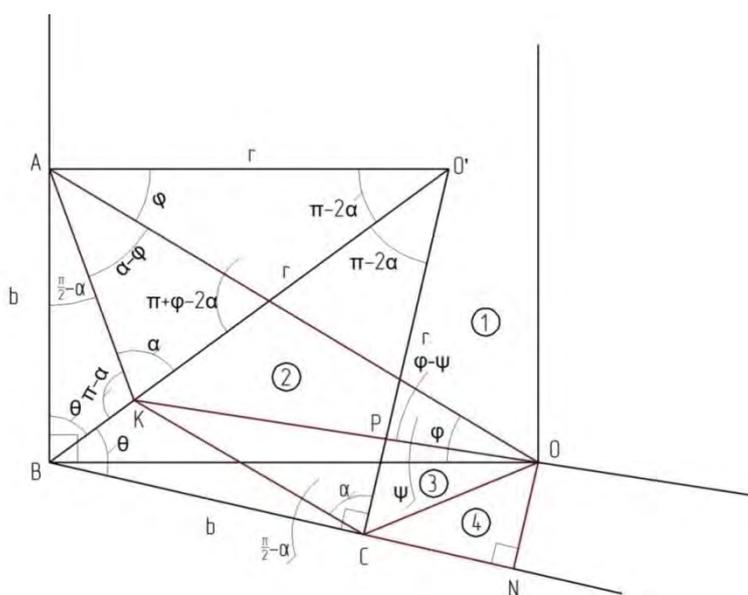


Рисунок 2 – Схема разбиения пластической области на жесткие блоки

Для учета радиуса сопряжения каналов r , проходящего через точки А, К, С, заменим дуги одноименными хордами АК и КС. Так как значение параметра r мало по сравнению с остальными линейными размерами, погрешность возникающая при учете размеров незначительна. Линейные размеры стыков стыка жестких блоков, которые являются линиями разрыва скоростей перемещений, вычисляются из геометрических соображений, и алгебраических преобразований. Таким образом были определены длины линий разрыва скоростей перемещений.

С помощью приведенной схемы разбиения пластической области на жесткие блоки построен годограф скоростей перемещений, который изображен на рисунке 3. С помощью годографа далее определяются векторы скоростей перемещений и компоненты их нормальных составляющих. Для этого также определяются геометрические параметры годографа.

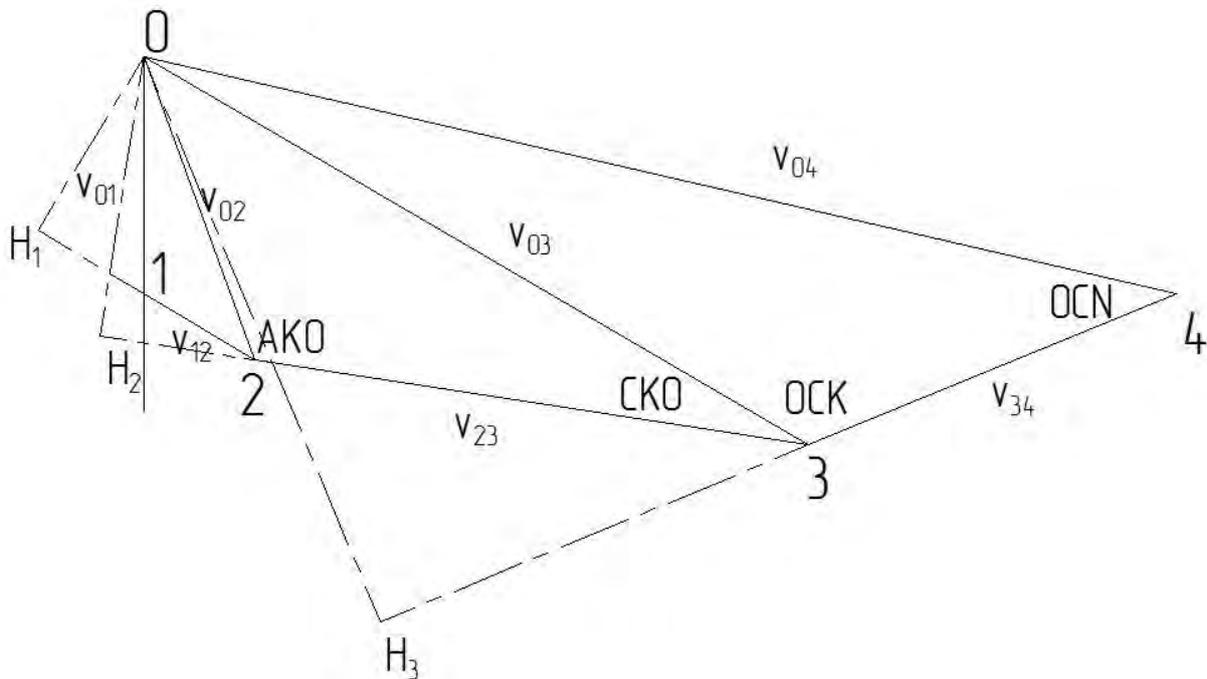


Рисунок 3 – Годограф скоростей перемещений

$$l_{20} = l_{30} \Rightarrow AK = KC = \frac{r \sin \theta}{\cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right)}; \quad (1)$$

$$l_{12} = AO = \sqrt{a^2 + r^2 \operatorname{ctg}^2 \theta} = a \sqrt{1 + \frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta}; \quad (2)$$

$$l_{23} = KO = \sqrt{r^2 \cdot \frac{(1 - \sin \theta)^2}{\sin^2 \theta} + a^2 - 2ar(1 - \sin \theta)};$$

$$l_{23} = KO = a \sqrt{\frac{r^2}{a^2} \cdot \frac{(1 - \sin \theta)^2}{\sin^2 \theta} + 1 - \frac{2r}{a}(1 - \sin \theta)}. \quad (3)$$

$$l_{40} = CN = a \cdot \sin 2\theta - r \cdot \operatorname{ctg} \theta = a \cdot \left(\sin 2\theta - \frac{r}{a} \operatorname{ctg} \theta \right); \quad (4)$$

$$l_{34} = CO = a \sqrt{1 - \frac{4r}{a} \cos^2 \theta + \frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta}. \quad (5)$$

Итоговые формулы для определения компонентов скоростей перемещений:

$$v_{12} = \frac{v_{01} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}{\sin(\alpha - \varphi)} = \frac{v_{01} \cos \alpha}{\sin(\alpha - \varphi)} = \frac{v_{01} \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} - \operatorname{arctg} \frac{r \operatorname{ctg} \theta}{a}\right)}. \quad (6)$$

$$v_{02} = \frac{v_{01}}{\sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) - \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) \frac{r}{a} \operatorname{ctg} \theta}. \quad (7)$$

$$v_{23} = \frac{v_{02} \cdot \sin \angle 203}{\sin \angle CKO} = \frac{v_{01} \cdot \sin(\angle AKO + \angle CKO)}{\sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta + 1} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} - \operatorname{arctg} \frac{r \operatorname{ctg} \theta}{a}\right)}. \quad (8)$$

$$v_{04} = \frac{v_{01}}{\cos 2\theta} \cdot \frac{\sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta + \left(1 - \frac{4r}{a}\right) \cos^2 \theta + \sin^2 2\theta}}{\sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta - \frac{4r}{a} \cos^2 \theta + 1}}. \quad (9)$$

Вектор скорости v_{34} относительного скольжения жесткого блока 3 и 4 (см. рисунок 3):

$$v_{34} = v_{03} \left(\frac{\sin \angle KCO}{\operatorname{tg} \angle OCN} - \cos \angle KCO \right). \quad (10)$$

Нормальные составляющие векторов скоростей перемещений по годографу скоростей (см. рис. 3).

$$v_{12}^n = OH_1 = v_{02} \sin(\alpha - \varphi) = \frac{v_{01}}{\sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta + 1}}. \quad (11)$$

$$v_{23}^n = \frac{v_{01}}{\sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta + 1 - \frac{2r}{a}(1 - \sin \theta)}}. \quad (12)$$

$$v_{34}^n = \frac{v_{01} \cdot \sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta + 1 - \frac{2r}{a}(1 - \sin \theta)}}{\sqrt{\frac{r^2}{a^2} \operatorname{ctg}^2 \theta + 1 - \frac{4r}{a} \cos^2 \theta}}. \quad (13)$$

Согласно методу верхней оценки для вычисления удельной силы интенсивного деформирования выдавливанием в параллельных каналах необходимо из вычисленных компонентов составить уравнение баланса мощности:

$$P \cdot a \cdot v_{01} = k(l_{12}v_{12} + l_{23}v_{23} + l_{34}v_{34} + l_{02}v_{02} + l_{03}v_{03} + l_{04}v_{04}) + 2kml_{3a2} \cdot v_{01}, \quad (14)$$

где $k = \frac{\sigma_s}{\sqrt{3}}$ - постоянная пластичности; $\tau_k = 2mk$ - касательные напряжения на контактной поверхности.

Суммарные сдвиговые деформации вычисляются как сумма

$$\gamma = \gamma_{12} + \gamma_{23} + \gamma_{34}. \quad (15)$$

Определим слагаемые, входящие в уравнение (15), как $\gamma_{ij} = \frac{v_{ij}}{v_{ij}^n}$.

С учетом 2-х очагов деформации при интенсивном пластическом деформировании в параллельных каналах значение суммарной сдвиговой деформации необходимо удвоить:

$$\gamma = 2 \left(\gamma_{12} + \gamma_{23} + \gamma_{34} \right).$$

Интенсивность линейных деформаций, накопленных за один цикл выдавливания в параллельных каналах:

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma}{\sqrt{3}}. \quad (16)$$

Установлена взаимосвязь безразмерной удельной силы интенсивного пластического деформирования выдавливанием в параллельных каналах по предложенной схеме с геометрическими параметрами каналов. На рисунке 4 показано влияние радиуса сопряжения каналов при различных углах их пересечения. При уменьшении угла пересечения каналов и радиуса их сопряжения безразмерная удельная сила возрастает, при этом характер изменения силы нелинейный.

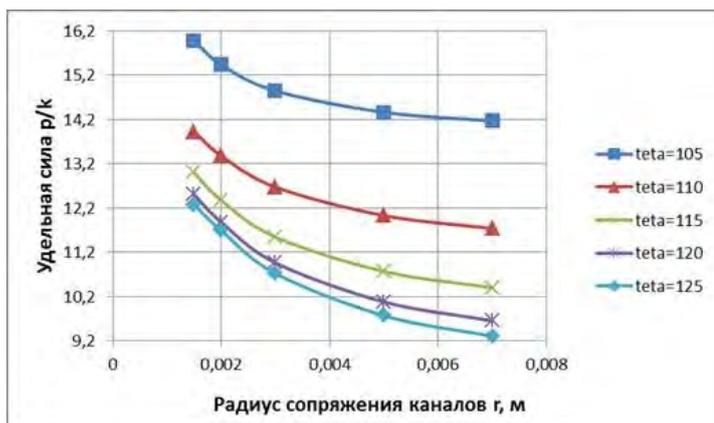


Рисунок 4 – Изменение безразмерной удельной силы деформирования при варьировании управляющими параметрами r и θ

Влияние угла пересечения каналов при фиксированных радиусах сопряжения каналов показано на рисунке 5.

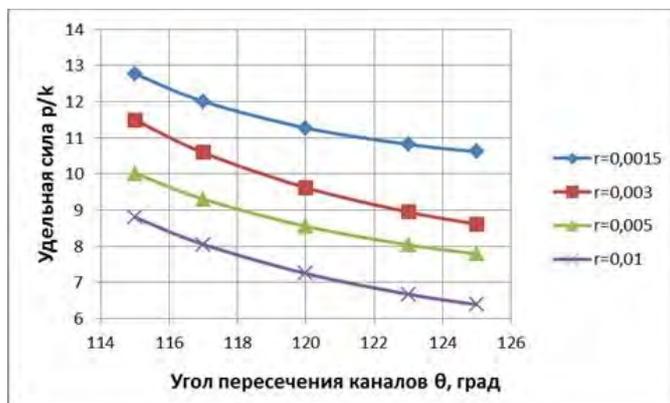


Рисунок 5 – Изменение безразмерной удельной силы интенсивного деформирования в параллельных каналах от угла пересечения каналов

При увеличении фактора трения безразмерная удельная сила возрастает по линейному закону, как показано на рисунке 6.

Поскольку радиусы сопряжения каналов малы по сравнению с размерами каналов, их значения незначительно влияют на величину силовых параметров. В диапазоне изменения радиуса от 1,5 до 5,0 мм существенных изменений безразмерной удельной силы не наблюдается. Математическая модель позволила выявить влияние на суммарные деформации сдвига за один проход

заготовки через параллельные каналы управляющих параметров – радиуса сопряжения каналов и угла их пересечения.

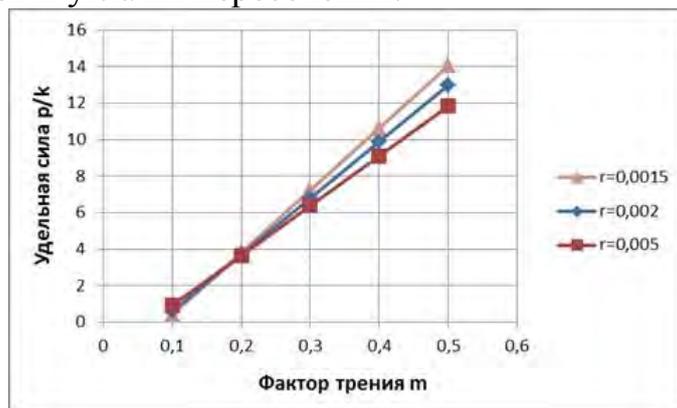
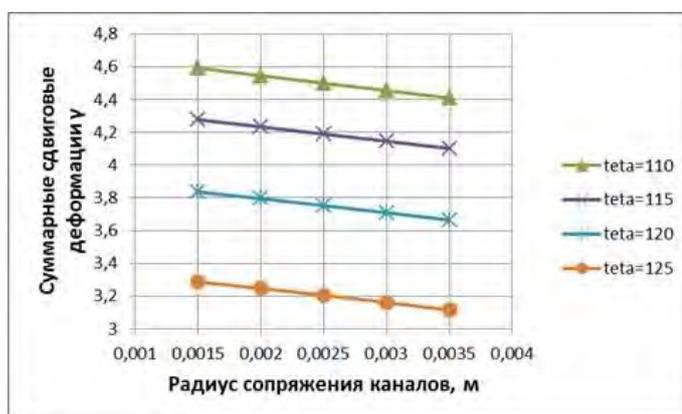
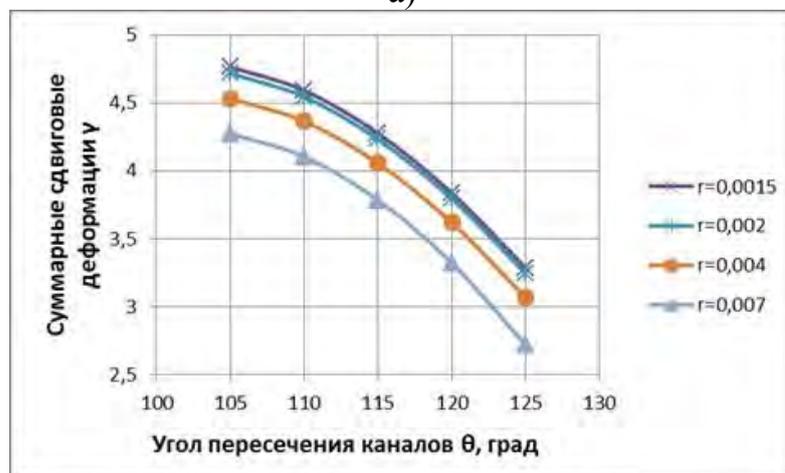


Рисунок 6 – Влияние фактора трения на силовые параметры процесса выдавливания в параллельных каналах



а)



б)

a – радиуса сопряжения каналов; θ – угла пересечения каналов

Рисунок 7 – Влияние геометрических параметров каналов на суммарные деформации сдвига за один переход

С увеличением радиуса сопряжения каналов и угла их пересечения суммарные деформации сдвига уменьшаются. Также выявлена зависимость накопленной

интенсивности деформаций за один переход от тех же управляющих параметров. Графики на рисунке 8 показывают эту зависимость. Так как параметры деформированного состояния заготовки являются зависимыми величинами, то характер их изменения схож. И в этом случае с увеличением радиуса сопряжения каналов и угла их пересечения накопленная интенсивность деформации уменьшается.

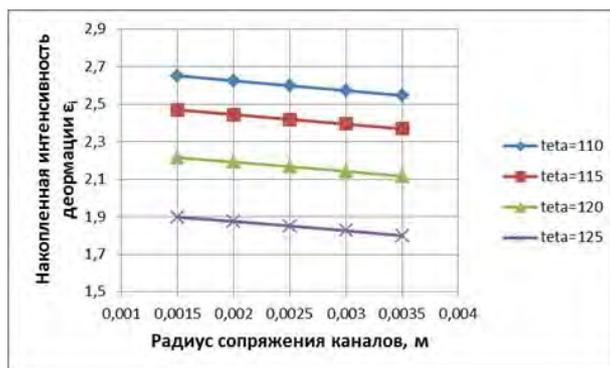
В результате при исследовании математической модели технологического процесса выдавливания в параллельных каналах были получены основные уравнения для расчета силовых и деформационных параметров с учетом геометрических параметров каналов матрицы и условий трения. При использовании энергетического метода верхней оценки была установлена взаимосвязь энергосиловых и деформационных параметров процесса выдавливания в параллельных каналах с учетом условий трения на контактных поверхностях, геометрии каналов, включающей угол пересечения и ширину каналов, радиусы сопряжения и межосевое расстояние приемного и выходного каналов. Сопоставление расчетных данных по схемам известных РКУП ПК и предложенной схемы выдавливания в параллельных каналах выявило следующее. Безразмерная удельная сила интенсивного пластического деформирования при факторе трения $m=0,5$ меньше при реализации новой схемы деформирования. При РКУП ПК $\frac{P}{k}=7,8$, а по предложенной схеме

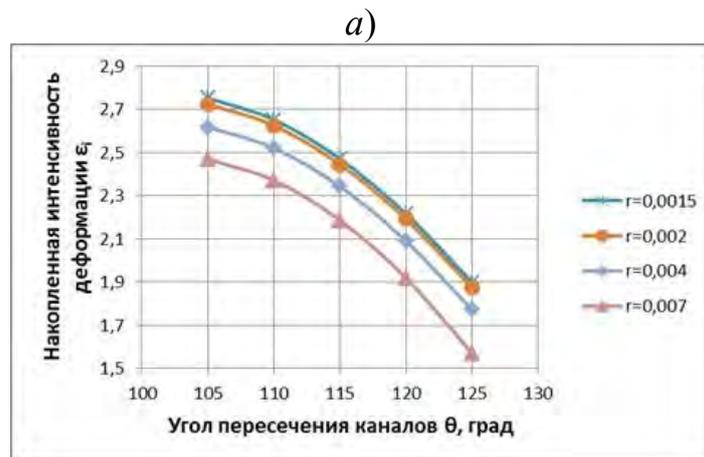
$\frac{P}{k}=6,0$, что в 1,3 раза ниже. При одинаковых радиусах сопряжения каналов $r=1,5$ мм и факторе трения $m=0,5$ в диапазоне изменения углов сопряжения

$100^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$, безразмерная удельная сила изменяется при РКУП ПК $6,5 \leq \frac{P}{k} \leq 6,0$,

а при реализации новой схемы интенсивного пластического деформирования $6,4 \leq \frac{P}{k} \leq 5,6$, что меньше от 0,1 до 0,4 единиц. Показатели деформированного

состояния заготовки при РКУП ПК: суммарные деформации сдвига $\gamma=4,4$; интенсивность накопленных деформаций $\varepsilon_i=2,54$. При интенсивном деформировании по новой схеме - $\gamma=4,59$; $\varepsilon_i=2,65$, что является более высокими значениями: суммарные деформации сдвига γ и интенсивность накопленных деформаций ε_i выше в 1,04 или на 4,2%.





б)

a – радиуса сопряжения каналов; θ – угла пересечения каналов

Рисунок 8 – Влияние геометрических параметров каналов на накопленную интенсивность деформации за один переход

Список литературы

- 1 Сегал, В.М. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М.Сегал, В.И.Резников, В.И. Копылов и др. Минск: Наука и техника, 1994. 232 с.
- 2 Бриджмен, П. Исследования больших пластических деформаций и разрыва. Влияние высокого гидростатического давления на механические свойства материалов / П. Бриджмен / М.: Изд. Иностранной литературы, 1955. 444 с.
- 3 Сосенушкин, Е.Н. Совершенствование процессов интенсивной пластической деформации / Е.Н. Сосенушкин, Л.М. Овечкин, А.Е. Сосенушкин // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2012. №1(18). С.22-25.
- 4 Сосенушкин, Е.Н. Влияние кинематики течения металла на эволюцию микроструктуры и свойства заготовок при равноканальном угловом прессовании / Е.Н. Сосенушкин, Л.М. Овечкин, В.Н. Климов, А.Е. Сосенушкин, И.Ю. Сапронов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. №11. 2012. С.19-22.
- 5 Сосенушкин, Е.Н. Процесс интенсивной пластической деформации для получения наноструктурных материалов / Е.Н. Сосенушкин, А.В. Попов / Сб. Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении. Краматорск: ДГМА, 2007. С.10-13.
- 6 Сосенушкин, Е.Н. Показатели эффективности процесса равноканального углового прессования / Е.Н. Сосенушкин, Л.М. Овечкин, А.Е. Сосенушкин / Заготовительные производства в машиностроении. 2015. №12. С. 23-28.
- 7 Чумаченко, Е.Н. Сверхпластичность: материалы, теория, технологии / Е.Н. Чумаченко, О.М. Смирнов, М.А. Цепин / М.: КомКнига, 2005. 320 с.
- 8 Боткин, А.В. Интенсивная пластическая деформация цилиндрической

заготовки из сплава 6061 равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах / А.В. Боткин, М.Ю. Мурашкин, Г.И. Рааб, Р.З. Валиев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2009. №4. С.33-38.

9 Рыбин, Ю.И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением / Ю.И.Рыбин, А.И. Рудской, А.М. Золотов / СПб.: Наука, 2004. 644 с.

10 Котелкин, А.В. Оценка технического состояния сварных соединений по уровню остаточных напряжений / А.В. Котелкин, А.Д. Звонков, Е.Н. Сосенушкин, Д.Б. Матвеев, И.Г. Роберов, А.В. Лютцау / Заготовительные производства в машиностроении. 2015. №7. С. 10-14.

11 Sosenushkin, E.N. Simulation of the equal channel angular extrusion technology / E.Sosenushkin, A. Sosenushkin // Machines, technologies, materials 2012. Pp. 110-112.

12 Патент РФ на изобретение №2509621 Штамп для углового прессования/ Сосенушкин Е.Н., Цфас Г.М., Яновская Е.А. и др. Оpubл. 20.03.2014. Бюл. №8.

13 Sosenushkin, E.N. Angular Pressing in parallel channels / E.N. Sosenushkin, A.E. Sosenushkin, E.A. Yanovskaya // International virtual journal for science, technic sandin novations for the industry. Machines. Technologies. Materials. Year VII. Issue 11. 2013. ISSN 1313-0226. pp. 5-8.

УДК 669.2

PRODUCING NICKEL COMPOSITE MATERIALS REINFORCED WITH ULTRAFINE POWDERS

ПОЛУЧЕНИЕ НИКЕЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ПОРОШКАМИ

Zadiranov A.N., Malkova M. Y., Abu-NijimRamzi

Engineering academy, Peoples` Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Zadiranov@mail.ru

Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Абу-НиджимРамзи

*Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Москва
Россия*

Zadiranov@mail.ru

Abstract: The purpose of this study was to develop a composite microporous precipitation on a Nickel substrate from the electrolytes-suspensions with the use of powders of nanosize fraction. As a result of the research, composite materials on a metal substrate (MMC) from electrolytes-suspensions with additives of ultrafine powders (UDP) of nanosize fraction obtained from waste of metallurgical industry were obtained and experimentally studied. It has been established that with the use of

UDP in the composition of electrolyte suspensions, MMCs are produced, reinforced with ultrafine one-dimensional elements. The effect of the concentration of additives of UDP on the porosity of the substrates and their electrochemical properties (corrosion resistance, electrochemical activity) was established. It is shown that porosity, corrosion resistance and electrochemical activity of MMC are determined by the size of ultrafine elements and their concentration in the electrolyte suspension. The costs of organic additives in electrolytes providing the required surface quality of MMC were determined and optimized.

Key words: composite materials, Nickel, electrolytes-suspensions, ultrafine powders, metallurgical waste.

Аннотация: Цель работы - получение композиционных микропористыхосадков на никелевой подложке из электролитов-суспензий с применением порошков фракцией наноразмеров. В результате проведенных исследований получены и экспериментально исследованы композиционные материалы на металлической подложке (КММП) из электролитов-суспензий с добавками ультрадисперсных порошков (УДП) наноразмерной фракции, полученных из отходов металлургической промышленности. Установлено, что с применением УДП в составе электролитов-суспензий производятся КММП, армированные ультрадисперсными одномерными элементами. Установлено влияние концентрации добавок УДП на пористость подложек и их электрохимические свойства (коррозионная стойкость, электрохимическая активность). Показано, что пористость, коррозионная стойкость и электрохимическая активность КММП определяются крупностью ультрадисперсных элементов и их концентрацией в электролите-суспензии. Определены и оптимизированы расходы органических добавок в электролиты, обеспечивающие требуемое качество поверхности КММП.

Ключевые слова: композиционные материалы, никель, электролиты-суспензии, ультрадисперсные порошки, металлургические отходы.

1 Introduction

Recent observations of highly technological industries show that traditional composites are replaced by disperse-strengthened composites with nano-sized reinforcing materials [1-16]. Such composites have absolutely new exploitation properties.

Metal composite materials (or MCM) are presented as microporous metal base with solid particles included in it. The major advantage of MCM is corrosion resistance. In manufacturing of MCM disperse particles of oxides, carbides, nitrides, borides and other heat-resistant materials are used as strengthening phase.

MCM can be synthesized by various means, and electrochemical ones stand in a single group. Reinforcing particles are usually about 3-5 microns in size, so substrate is several millimeters thick. Moreover, the more stable the size of the fraction of reinforcing elements, the higher the physico-chemical and physico-mechanical properties of the product.

It was interesting to reduce the size of the reinforcing particles MCM to a fraction of nanometer sizes with the aim of obtaining MCM characterized by new exploitation properties and economy of substrate material. In this regard, the aim of the study was to obtain composite materials on a Nickel substrate by electrochemical method with the use of kaolin and bentonite powders by nanosize fraction as a dispersion-strengthening phase.

2 Materials and Methods

For MCM synthesis, nickel suspended Watts-type electrolytes based on methanesulphonic acid and nickel acetate were designed. The electrolytes' formulas and technical features are provided in Table 1.

Table 1 - Chemical formulas of nickel-containing suspended electrolytes and conditions of experiments

Component	1	2	3-1	3-2
NiSO ₄ ·7H ₂ O, g/l	300	-	-	250
NiCl ₂ ·6H ₂ O, g/l	60	60	14	14
Ni(CH ₃ SO ₃) ₂ , g/l	-	300	-	-
Ni(CH ₃ COO) ₂ ·4H ₂ O, g/l	-	-	125	125
H ₃ BO ₃ , g/l	30	40	35	40
Sacharine, g/l	1	1	1	1
2-butine-1.4-diol	0.5	0.5	0.5	0.5
Bentonite, g/l	1-1.5	1-1.5	1-1.5	1-1.5
Caolinite, g/l	1-3	1-3	1-3	1-3
pH	4-4.1	4.5	4.5	4-4.1
Experiment time, min	6	8	6	7
Temperature, °C	45-50	50	50	50
Current density, A/dm ²	1-2	3-5	15-20	15-20

Nickel composite sediments were synthesized via electroplating method from nickel suspended electrolytes. All the suspended electrolytes contain ultra-disperse powders of caolinite and bentonite fractions 100±30 nm that deposited on the substrate along with nickel.

Powders with nano-sized fractions were produced from pure caolinite and bentonite via orbital-type mill [17-19].

Substrate was chromeplated with use of various electrolytes in various conditions (Table 1). Electroplating process was executed with usage of existing standard methods of cathodic sediments production.

Sediments' structure was provided by photographs made through "MIM-8M" and "NEOFOT" microscopes at 2000x zoom.

Cathodic polarization curves were built via "P-5848" potentiostat registering experiment data on "KSP-4" potentiometer tape.

3 Experimental

Cathodic electroplating sediments were worked out on “Parker”-type facility, which is schematically presented in Fig. 1[20]. Deposition was carried out on a cathode with an area of 1 cm², from Watts-type electrolytes, methanesulphonic acid and nickel acetate(3-1 – acetate-chloride, 3-2 – sulphate-acetate-chloride).

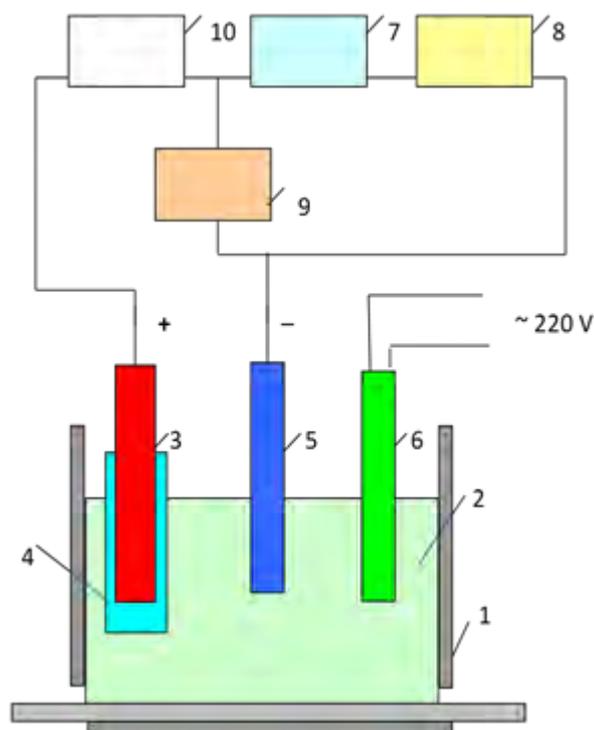


Fig. 1. Electroplating facility:

1- electrolyzer; 2- electrolyte; 3- anode; 4- anode bag; 5- cathode (titanium); 6- electric heater; 7- power supply; 8- ammeter; 9- voltmeter; 10- control unit

For getting metal anode activity data anodic polarization curves of nickel dissolution were built for sulphate solution that does not contain chlorine ions and has the following contents(g/l): NiSO₄·7H₂O – 360; H₃BO₃ – 40. Four nickel samples were used during the experiment: 1 is an S-type nickel manufactured by INCO Corporation, 2 – nickel of NPAN type (anodic non-passivating nickel), 3 – N0-type nickel, 4 – MCM on nickel substrate synthesized in this work. Chemical formulas and contents of the samples are presented in Table 2.

Table 2 - Chemical contents of various nickel types

Nickel type	Contents, %						
	Ni	Co	C	Cu	Zn	Fe	S
MCM	99.67	0.03	0.005	0.005	0.001	0.1	0.002
N0	99.93	0.01	0.01	0.02	0.001	0.01	0.001
NPAN	99.37	0.03	0.005	0.005	0.001	0.03	0.01
“S”- nickel	99.92	0.05	0.004	0.003	0.0003	0.0005	0.02

Corrosion tests of metallic sediments were processed by methods of cuprum-salt-vinegar spray at 50°C, 96% moisture and pH of 3.3. Areas of corrosion were then estimated visually using special etalons. Corrosion ratio was calculated via ASTM standard.

4 Results

Results are presented as illustrations (Figures 2-5) and Table3.

Table 3 - Results of MCM sedimentation from nickel suspended electrolytes

Parameter	Units	Ratio			
		1	2	3-1	3-2
Contents					
bentonite (1)	g/l	1	1	1	1
caolinite (3)	g/l	3	3	3	3
caolinite+bentonite (3:1)	g/l	4	4	4	4
Porosity					
bentonite	pcs.	$3.72 \cdot 10^4$	$3.91 \cdot 10^4$	$3.88 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$
caolinite	pcs.	$30.6 \cdot 10^4$	$32.33 \cdot 10^4$	$32.65 \cdot 10^4$	$39.07 \cdot 10^4$
caolinite+bentonite	pcs.	$39.88 \cdot 10^4$	$40.41 \cdot 10^4$	$41.11 \cdot 10^4$	$41.45 \cdot 10^4$
ASTM ratio					
caolinite+bentonite (1:2)	units	6	6	6	6
caolinite+bentonite (1:1)	units	9	9	9	9
ChangeU _{стаH}					
caolinite+bentonite (1:1)	mV	30	28	29	30
caolinite+bentonite (1:3)	mV	20	21	23	20
I _{cr.}	A/dm ²	0.05	0.07	0.05	0.05
I _{f.p.}	A/dm ²	0.0003	0.00035	0.0003	0.0003

Microscope pictures of composite surfaces are presented in Fig. 2. It is established that the character of the location of porosity classifies the received CMEs to the category of randomly reinforced ones. It is showed that metallic sediments' porosity is estimated $4 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^5$ pores/cm² depending on caolinite and bentonite quantities(g/l).



Fig. 2. Microphotographs of composite sediment on nickel substrate. Containment of nano-fraction powder mixture (g/l): a) bentonite – 2; b) caolinite – 2; c) bentonite – 1, caolinite – 3

6 Discussion

Quantity and quality evaluation of synthesized MCMs was processed during the research. Quality was estimated by means of ASTM standards. Corrosion tests provided in Fig. 3 showed that composite microporous sediments on nickel substrate were hit by corrosion only after 7 testing cycles. After 10 tests the ASTM ratio fell down to 3 units. Microporous chromium electrochemical sediments synthesized on the nickel substrate from electrolyte containing 1 g/l of caolinite and 2 g/l of bentonite were affected by corrosion after 8 testing cycles. 12 testing cycles gave the result of 6 units in ASTM. And using of composite nickel substrate manufactured from electrolyte with 3 g/l of caolinitenano-fraction powder and 1 g/l of bentonitenano-fraction powder showed no decrease in ASTM ratio even after 10 cycles of corrosion tests.

Electrochemical activity of produced samples was used as a quantity evaluation. The activity was defined by polarization curves of metal dissolution in electrolyte.

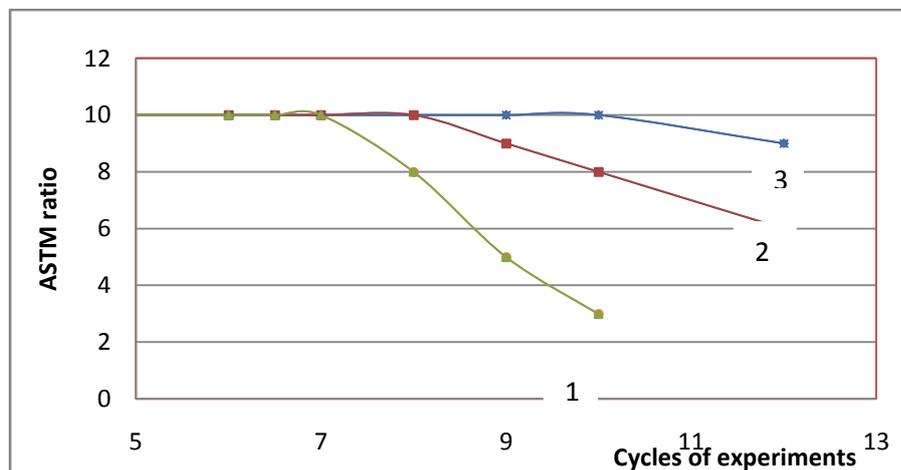


Fig. 3. Change of corrosion ratio during the tests of electrochemical

- 1 – cuprum-nickel-chrome shining;
- 2 – cuprum-nickel-chrome composite (1 g/l of caolinite+2 g/l of bentonite);
- 3 – cuprum-nickel-chrome composite (1 g/l of caolinite+3 g/l of bentonite)

Figure 4 illustrates that there is an increase in standard electrochemical potential of multi-layer electrochemical materials in time (salt spray method), so electrochemical activity decreases, therefore, the material's corrosion resistance becomes higher, and the more porous (containing of nano-fraction powders in electrolyte) the material is, the more is the change.

Quality MCM surface esteem showed that suspended electrolytes containing 1 g/l of caolinite and 3 g/l of bentonite are the most quality efficient in porosity.

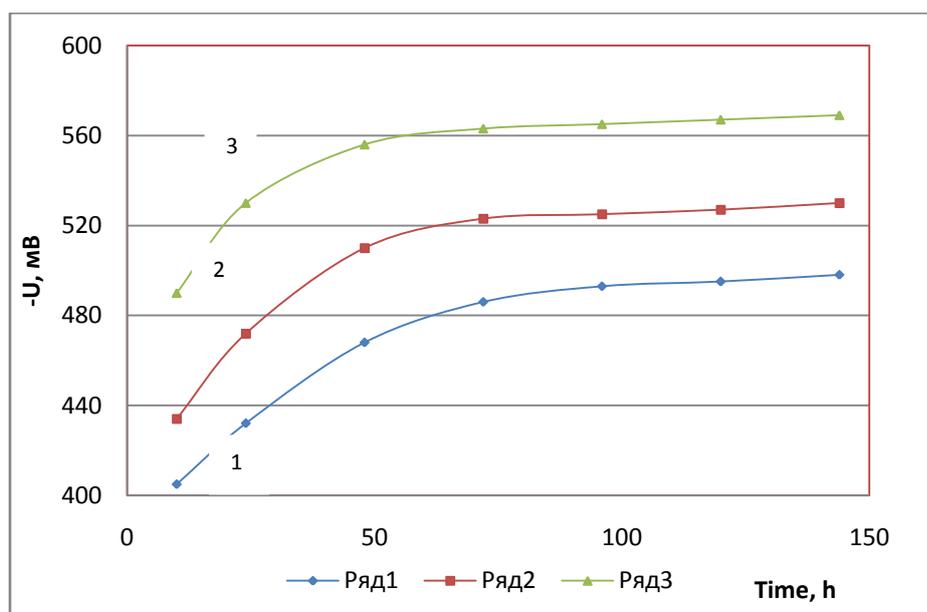


Fig. 4. Standard potential change in time of multi-layer electrochemical materials (salt spray method):
 1 – cuprum – nickel – nickel composite
 (1 g/l of caolinite+3 g/l of bentonite) – chrome shining;
 2 – cuprum – nickel – nickel composite
 (1.5 g/l of caolinite+1.5 g/l of bentonite) – chrome shining;
 3 – cuprum – nickel – chrome shining.

Electrochemical properties of MCM were compared with the ones of various nickel types. Anodic polarization curves (Fig. 5) show that INCO's nickel is the most active when dissolving in sulphate electrolyte. Critical anode current density ($i_{cr.}$) for this template is 22 A/dm^2 , and area of potentials for active dissolution is between 100 and 150 mV (a-b area). Passivation of the sediment goes at 300-1250 mV (c-d area) with the current density ($i_{f.p.}$) of 0.02 A/dm^2 . The sample dissolves at potentials of overpassivation (1250-1650 mV, d-f area) changing by area of oxygen synthesis potentials after 1700 mV (m-n area).

For NPAN-type nickel (curve 2) $i_{cr.} = 4 \text{ A/dm}^2$, and for N0-type nickel $i_{cr.} = 05 \text{ A/dm}^2$ at the potential of 150-250 mV. For this nickel type $i_{f.p.}$ is very low and is equal to 0.001 A/dm^2 . At the overpassivation potentials the curve becomes more electropositive in comparison with curves 1 and 3.

The lowest critical current density (0.05 A/dm^2) belongs to nickel substrate MCM. For MCM $i_{f.p.}$ is estimated as 0.0003 A/dm^2 . Curve 4 is even more electropositive at overpassivation potentials compared with curves 1-3.

Therefore, using polarization curves, we can state that electrochemical activity of MCM on nickel substrate (at anodic dissolution) in sulphate (non-chlorine) electrolyte is very low.

Experimentally confirmed that caolinite and bentonite additives in nickel electrolytes can provide manufacturing of composite materials with new exploitation properties.

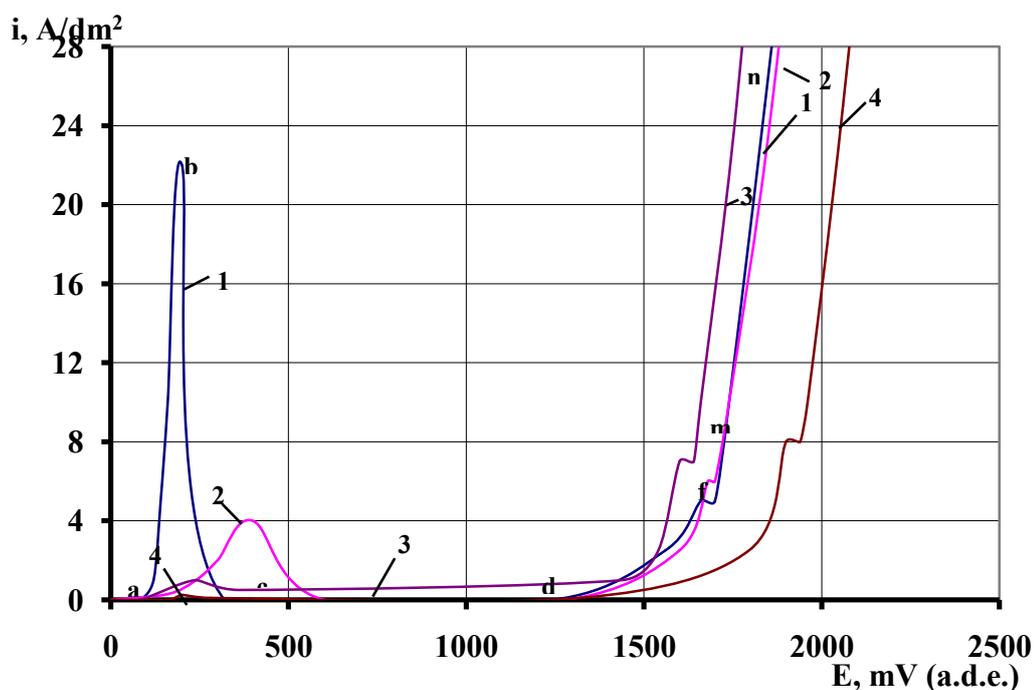


Fig.5. Anodic polarization curves of nickel in solution
(g/l): NiSO₄·7H₂O -360, H₃BO₃ - 40.

Conclusions

1. New MCMs from nickel suspended electrolytes with nano-fraction caolinite and bentonite powder additives were synthesized and experimentally researched.

2. Contents of nickel suspended electrolytes with nano-fraction powder additives based on Watts type electrolytes, methanesulphonic acid and nickel acetate were offered.

3. Dependence between concentrations of nano-fraction powders, porosity and electrochemical properties of sediments was established. Optimal concentrations of nano-fraction powders in suspended electrolyte guaranteeing creation of composites with new exploitation properties were defined.

Acknowledgment

The publication has been prepared with the support of the «RUDN University Program 5-100».

References

1 Zadiranov A.N., Koltunov I.I., Malkova M.Yu. Nanotechnologies in metallurgy. Textbook. - Moscow, 2012. -224 p.

2 Gorelov S.M., Tsupak T.E., Yarovaya O.V. Preparation and properties of composite coatings based on Nickel with nanosized Zirconia. // Electroplating and surface treatment. - 2014. – V. XXII. - №4. - P. 32-36.

3 Tkachev A.G., Litovka Yu.V., Dyakov I.A., Kuznetsova O.A. Obtaining of nano-modified nickel electroplating coatings. // Electroplating and surface treatment. - 2010. – V. XVIII. - №1. - P. 17-21.

4 Kozenkov O.D., Ptashkina T.V., Kosilov A.T. Stability of ultradispersed diamond and carbon nanotube suspensions in water and aqueous electrolytes for the fabrication of composite electrochemical coatings. // *Inorganic Materials*. – 2015. – V. 51. – № 3. – P. 230-235.

5 Zheleznov E.V., Kuznetsov V.V. Composite chromium coatings with ultrafine particles BN and WC, obtained from electrolytes based on Cr (VI). // *Electroplating and surface treatment*. - 2017. - V XXV. - №1. - P. 34-40.

6 Tseluikin V.N. On the structure and properties of composite electrochemical coatings. A review. // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. – 2016. – V. 52. – № 2. – P. 254-266.

7 Tseluikin V.N. Nanoparticle modified composite coatings: structure and properties. // *Russian nanotechnology*. - 2014. - V. 9. - № 1-2. - Pp. 25-35.

8 Kozenkov O.D, Ptashkina T.V., Kosilov A.T. Density and microhardness of composite coatings containing carbon nanomaterials. // *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. - 2015. - V. 11. - № 1. - P. 56-60.

9 Kozenkov O.D, Ptashkina T.V., Kosilov A.T., Zhilyakov D.G. Wear resistance of composite electrochemical coatings hardened with carbon nanomaterials. // *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. - 2015. - V. 11. - № 5. - P. 135-138.

10 Kubrak P.B., Drozdovich V.B., Zharsky I.M., Chaevsky V.V. Electrochemical deposition and properties of composite Nickel coatings containing carbon nanomaterials. // *Electroplating and surface treatment*. - 2012. – V. XX. - №2. - P.43-49.

11 Tseluikin V.N., Koreshkova A.A. On the corrosion properties of composite coatings zinc - carbon nanotubes. // *Corrosion: materials, protection*. - 2014. - № 3. - P. 31-34.

12 Dyakov I.A., Litovka Yu.V., Tkachev A.G. The use of carbon nanotubes "Taunit" in electroplating. Monograph / Saratov, 2018.

13 Dyakov I.A. Nano-modified galvanic coatings. // *Nanotechnology*. - 2013. - № 1 (33). - P. 60-68.

14 Solovyova N. D., Shevchenko T. Yu., Ekimov I.A. Electrodeposition of composite coatings zinc - carbon nanotubes. // *Questions of electrical technology*. - 2015. - № 1 (6). - P. 42-46.

15 Gorelov S.M., Gaidukova A.M., Yarovaya O.V., Savelyeva V.A., Kudryavtsev V.N. Electrodeposition of Nickel from dilute electrolytes in the presence of a Sol of zirconium oxide. // *Advances in chemistry and chemical technology*. - 2012. - V. 26. - № 7 (136). - P. 129-133.

16 Litovka Yu.V., Dyakov IA, Kuznetsova OA, Tkachev AG, Popov D.Yu., Stolyarov R.A. Nanomodified galvanic chrome coating. // *Electroplating and surface treatment*. - 2011. - V. XIX. - № 4. - P. 29-33.

17 Zadiranov A.N., Plotnikova O.G., Malkova M.Yu. Production of nano-sized powders by grinding foundry waste. // *Foundry*. - 2012. - №9. - P. 29-31.

18 Malkova M.Yu., Paretsky V.M., Plotnikova O.G., Zadiranov A.N. The use of mechanochemically activated nanopowders in the preparation of solutions for the laying of metallurgical units. // Electrometallurgy. - 2013. - №9. - P. 41-43.

19 Zadiranov A.N., Plotnikova O.G., Boldin A.N. The use of refractory clay fractions of nanoscale to obtain high-quality forms. // Foundry. - 2011 - №6. - P. 31-34.

20 Zadiranov A.N. Research, development and introduction of technologies for processing of nickel and copper industrial wastes to produce finished metal products: dis ... Dr. tech. sciences. - M., 2004. -333 p.

УДК 621.77

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШЕЕК ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

RECOVERY WORN SURFACES OF THE NECKS OF ROLLS BY LASER METAL DEPOSITION

Быков В.А., Брык А.В., Глебов Л.А., Радионова Л.В., Самодурова М.Н.
*Южно-Уральский государственный университет (Национальный
Исследовательский Университет), Челябинск, Российская Федерация*
vitality.bykov.97@gmail.com

Bykov V.A., Bryk A.V., Glebov L.A., Radionova L.V., Samodurova M.N.
*South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian
Federation*
vitality.bykov.97@gmail.com

Аннотация: В данной работе представлены результаты исследования возможности восстановления изношенных шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления (ПЛС). Проведен подбор порошкового материала для восстановления. Разработаны режимы по нанесению порошка из стали марки 03X17H14M2 на подложку методом прямого лазерного сплавления: мощность, скорость подачи порошка, скорость перемещения лазерного излучения по поверхности, расход порошка. Представлены результаты металлографических исследований и распределение микротвердости в наплавленном слое. Качество восстановленной поверхности соответствует требуемым параметрам, а твердость наплавленного слоя соответствует ГОСТ 3541-79 и составляет 34,2 HSD.

Ключевые слова: прокатный валок, аддитивные технологии, лазерная наплавка, нержавеющая сталь, прямое лазерное сплавление, восстановление деталей.

Abstract: This paper presents the results of a study of the possibility of restoring worn necks of rolling rolls by direct laser fusion (DLF). The selection of

powder material for recovery was carried out. Modes have been developed for applying powder from steel grade 03Cr17Ni14Mo2 to a substrate by direct laser fusion: power, powder feed rate, speed of movement of laser radiation on the surface, powder consumption. The results of metallographic studies and the distribution of microhardness in the deposited layer are presented. The quality of the restored surface meets the required parameters, and the hardness of the deposited layer corresponds to GOST 3541-79 and is 34.2 HSD.

Key words: rolling roll, additive technology, laser surfacing, stainless steel, direct laser fusion, restoration of parts

Введение

При прокатке детали прокатного стана в процессе эксплуатации подвергаются изнашиванию. Изнашивание заключается в разрушении и отделении материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

В процессе эксплуатации прокатных валков происходит износ не только рабочей части валка, но и повреждение шеек валков вызванного разрушением подшипниковых опор. Валки с поврежденными шейками не пригодны к дальнейшей эксплуатации, хотя рабочий слой их бочек еще не выработан.

Попытки восстановления валков с поврежденными шейками по традиционными методами приводили к тому, что тепловое воздействие при нагреве, электродуговой наплавке и термической обработке оказывало отрицательное влияние на твердость активного закаленного слоя бочки, которая уменьшалась на 10–12 HSD и становилась неравномерной по ее длине. Это приводило к снижению стойкости валков и в отдельных случаях валки становились непригодными для дальнейшей эксплуатации [1,2].

В настоящее время лазерная наплавка широко применяется при восстановлении изношенных поверхностей и получения многофункциональных покрытий деталей самого различного назначения.

Преимущества лазерной наплавки, по сравнению с традиционными способами [3]:

- высокая концентрация энергии в пятне нагрева создает возможность проведения процесса при повышенных скоростях;
- формирование наплавочного слоя с малым коэффициентом перемешивания (0,05–0,15) в результате незначительного подплавления;
- минимальное термическое воздействие на основной металл;
- малые остаточные деформации наплавленных деталей;
- повышенные свойства наплавленных слоев.

Целью настоящей работы является изучение возможности использования метода прямого лазерного сплавления для восстановления изношенной поверхности шейки прокатного валка.

Материалы и методика исследований

Лаборатория «Механики, лазерных процессов и цифровых производственных технологий» Южно-Уральского государственного университета располагает комплексом КЛС [4] на базе LaserClad 4 C R120, оснащенного иттербиевым волоконным лазером ЛС-4 и промышленным робот-манипулятором KUKAKR-120. В данной установке реализован метод коаксиальной подачи порошка.

Для проведения исследований шейки валков из стали марки X2CrNiMo17-12-3 (наш аналог 02X17H14M3) предоставлены компанией SMSGroup. В данной работе для восстановления шеек прокатного валка был выбран порошковый материал наиболее близкий по химическому составу к основному материалу валка из представленного на рынке, а именно 30.46.2 компании GTV химического состава согласно сертификата, указанного в табл. 1, который соответствует нержавеющей стали аустенитного класса марки 316L или российской марки 03X17H14M2.

Перед тем как наплавлять порошковый материал на шейку прокатного валка, был проведен подбор режимов наплавки на образцах из материала аналогичного материалу валка. Для выбора и отработки режимов наплавки на подложку наплавлялись металлические валики. Режимы лазерной наплавки приведены в таблице 2. Внешний вид полученных образцов приведен на рисунке 1.

Таблица 1- Химический состав порошкового материала марки 03X17H14M2

Химический состав, %					
Fe	Cr	Ni	C	Mo	Si
Основа	17	12,5	0,1	2,5	1

Таблица 2 - Режимы лазерной наплавки при нанесении валиков

№ режима	Мощность P, Вт	Скорость перемещения V, м/с	Подача порошка W, %	Диаметр пятна, d, мм	Масса подложки до наплавки, кг	Смещение, мм	Расход порошка, г/мин
1	900	0,01	9±0,3	2	0,564	1	13,5
2	1000	0,01	8±0,3			1,2	12
3	1200	0,01	12±0,3			1	18
4	1000	0,02	8±0,3			1,2	12
5	1000	0,02	10±0,3			1	15
6	1200	0,01	10±0,3			1	15



Рисунок 1 - Внешний вид наплавленных валиков

Меняя подачу порошка, скорость движения пятна, мощность подаваемого луча и другие параметры варьировался наплавленный слой. В ходе работы необходимо было подобрать такие режимы наплавки, которые обеспечили бы минимальную пористость, отсутствие трещин и позволили получить поверхность с твердостью согласно ГОСТ 3541-79 не менее 30 HSD.

Для определения качества поверхности, полученных в ходе работы образцов, было проведено металлографическое исследование и измерение микротвердости наплавленных валиков.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследований установлено, что режим №4 не соответствовал требованиям, так как произошло капельное формирование поверхности (рисунок 2). Режим №5 приводил к растеканию наплавленного слоя (рисунок 3). Остальные режимы подходили под заданные требования, но наиболее удачным из них был именно режим №2, который позволял получить удобную для наплавления высоту валика.



Рисунок 2 - Капельное формирование поверхности наплавленного слоя (x100)



Рисунок 3 - Растекающийся по поверхности наплавленный слой (x100)

Исследования микрошлифов образцов, полученных по режиму №2 показали, что качество поверхности соответствует требуемым характеристикам, а именно позволяют получить минимальную пористость, а именно менее 0,01% (рисунок 4); исключить образование трещин (рисунок 5).

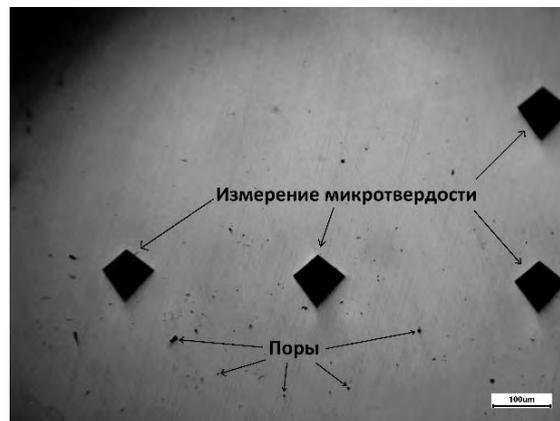


Рисунок 4 - Микрошлиф наплавленного слоя для определения пористости



Рисунок 5 - Микроструктура наплавленного слоя (x100)

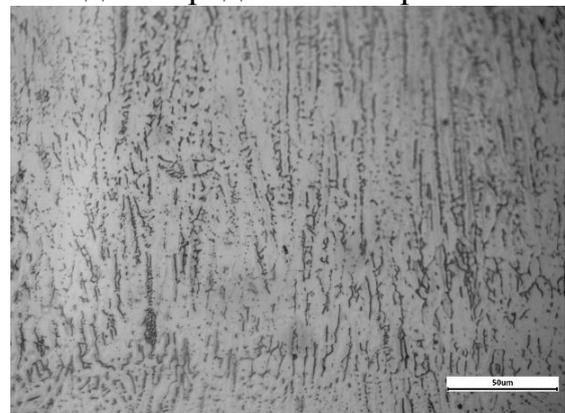


Рисунок 6 - Микроструктура наплавленного слоя (x500)

Твердость шеек валков соответствует ГОСТ 3541-79, где твердость по Шору должна составлять 30–55 HSD. После измерения микротвердости средний результат составляет 34,2 HSD (рисунки 7 и 8).



Рисунок 7 - Схема измерения микротвердости (x50)

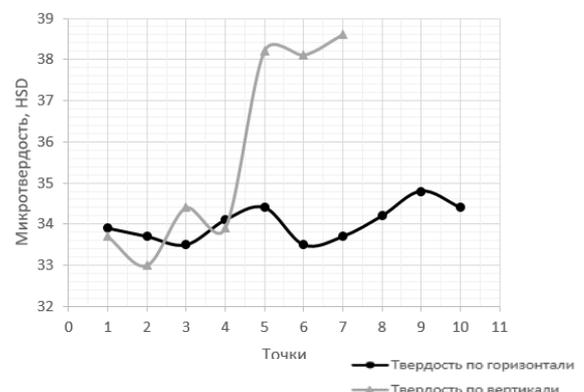


Рисунок 8 - Результаты измерения микротвердости

Следует отметить, что для нанесения покрытия на поверхность валка, необходимо было задать траекторию движения оптического лазера, повторяющую геометрию поверхности изделия. Для этого была написана специальная программа движения робота. Для этого были взяты геометрически схожие цилиндрические образцы. Проведя несколько пробных наплавов на цилиндрическом образце и скорректировав движение робота, было получено требуемое по толщине покрытие (рисунок 9). Отработав режим дальнейшим этапом, было наплавка порошкового материала на шейку прокатного валка. Шейки прокатных валков после наплавки приведены на рисунке 10. Восстановленные шейки прокатных валков переданы заказчику (SMSGroup) для проведения испытаний на износостойкость.



Рисунок 9 - Цилиндрический образец после наплавки



Рисунок 10 - Готовое покрытие шеек прокатных валков

Заключение

В ходе исследований показана возможность восстановления изношенных поверхностей прокатного оборудования, а именно шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления. При использовании качественного порошка из нержавеющей стали марки 316Lc размерами частиц от 61 до 151 мкм пористость наплавленного слоя не превышала 0,01%, трещины отсутствуют, средняя твердость наплавленного слоя соответствует ГОСТ 3541-79 и составляет 34,2 HSD.

Список литературы

1 Ли Р.И., Жильцов А. П. Технологии восстановления деталей металлургических машин и оборудования: учеб. пособие/ Р.И. Ли, А. П. Жильцов – Липецк: ЛГТУ, 2007 – 316с.: ил. – ISBN – 978 – 5 – 88247 – 318 – 0.

2 Патент РФ №2005100436/02, 11.01.2005 Способ восстановления шеек чугунных валков // Патент России №2283709. 2006 Бюл. №17. / Скорохватов Н.Б., Синев О.В., Смирнов В.С., Митюшов С.Н., Тяпаев О.В., Трайно А.И.

3 Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.: ил. – ISBN 5-7038-2701-9.

4 Быков В.А. Восстановление изношенной поверхности шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления / Радионова Л.В., Самодурова М.Н. // MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2019 Материалы IV международной молодежной научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Корчунова. Магнитогорск, 2019. С. 120-122.

УДК 621.7.01

GRAIN SIZE INFLUENCE ON 100CR6 STEEL TRANSFORMATION IN DCCT DIAGRAM

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА НА ТРАНСФОРМАЦИЮ СТАЛИ 100CR6 В ДИАГРАММЕ DCCT

Vojtěch Ševčák¹, Rostislav Kawulok¹, Ivo Schindler¹, Jiří Kliber¹, Lukáš Pindor²

¹VŠB-TU Ostrava, Faculty of Materials Science and Technology

²TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., Czech Republic

Vojtech.sevcak@vsb.cz

Войтех Шевчак¹, Ростислав Кавулок¹, Иво Шиндлер¹, Иржи Клибер¹, Лукаш Пиндор²

¹ВШБ-ТУ Острава, Факультет материаловедения и технологии

²TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a. s., Тршинец, Чехия

Vojtech.sevcak@vsb.cz

Abstract: this paper is focused on the effect of grain size on DCCT diagram of steel 100Cr6 used for bearings. The effect will be evaluated on austenite-pearlite transformation after different austenitization temperatures and true strain $\epsilon=0.35$. The tests were performed on plastometer Gleeble 3800 at VSB-TUO. The austenitization temperatures for obtaining different grain sizes were 850 °C, 980 °C and 1100 °C. The grain sizes were 9.8 for 850°C, 20.7 for 980°C and 42.3 for 1100°C. The effect of different austenitic grain sizes had little effect on the pearlite start temperature. Pearlite start temperature was in the margin of error for the 980°C and 1100°C curve.

Key words: 100Cr6, DCCT, Grain size, Pearlite

Аннотация: В данной работе рассматривается влияние размера зерна на диаграмму DCCT стали 100Cr6, используемой для подшипников. Будет оценено влияние аустенит-перлитного превращения после различных температур аустенитизации и истинной деформации $\epsilon=0,35$. Испытания проводились на пластометре Gleeble 3800 фирмы VSB-TUO. Температуры аустенитизации для получения различных размеров зерен составляли 850 °C, 980 °C и 1100 °C. размеры зерен составляли 9,8 для 850°C, 20,7 для 980°C и 42,3 для 1100°C. Влияние различных размеров аустенитных зерен мало повлияло на начальную температуру перлита. Начальная температура перлита находилась в пределах погрешности для кривой 980°C и 1100°C.

Ключевые слова: 100Cr6, DCCT, размер зерна, перлит

1 Introduction

There are more types of transformation diagrams. They can be divided in two main types, first is TTT (Time temperature Transformation) diagram and the second CCT (Continuously Cooling Transformation) diagram. First type describes austenite transformation during an isothermal dwell and the second describes effect of cooling rate on the transformation [1, 2]. For this works experiment was used DCCT (Deformation Continuously Cooling Transformation) type that includes previous deformation.

Austenite transformation kinetics during cooling is influenced by many factors. The most important factors are the chemical composition and the rate of cooling of the steels. However transformation of austenite is influenced also by austenitization temperature, initial structure, austenitic grain size and previous amount of deformation [3-6].

The subject of this paper was to evaluate the influence of austenite grain sizes caused by the austenitization temperature on the construction of DCCT diagram of 100Cr6 steel and thus contribute to the extension of knowledge of the austenite transformation kinetics during cooling of the bearing steels.

2 Materials and Methods

100Cr6 steel has a good hot formability, is suitable for direct quenching, in a soft annealed condition it is well machinable, suitable for components with a very hard and wear-resistant surface. Primarily, this steel is intended for the production of

bearing balls and rollers. As can be seen from the chemical composition of the 100Cr6 steel, which is presented in Table 1, it is a hyper-eutectoid high carbon and low alloyed steel.

Table 1. Chemical composition of investigated 100Cr6 steel

C	Mn	Si	P	S	Cr
0.994	0.38	0.324	0.011	0.001	1.45

For the experiment was used optical dilatometric module of the platometer Gleeble 3800. The material was turned into samples with length of 86 mm and diameter of 6 mm. The samples were put inside the module in platometer and heated up to 850 °C, 980 °C or 1100 °C with a heating rate of 10 °C/s. After the sample reached desired temperature there was a 10 min delay. The delay was followed by cooling to temperature of deformation (850 °C) and then cooled with set cooling rates. The deformation was 0.35 with a strain rate 1 s⁻¹. The obtained results were confronted with optical metallography.

The initial state of the investigated steel was deformed as it was prepared from the rolled rods with 12 mm in diameter.

Example of dilatometrically tested specimen after true strain $\epsilon=0.35$ is given in Figure 1.

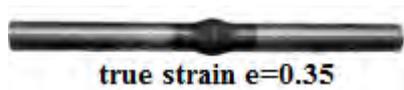


Figure 1. Examples of tested specimens after true strain $\epsilon=0.35$

3 Grain size

Grain sizes were obtained by quenching three samples (each for one austenitization temperature) directly after the 10 minute delay at austenitization temperature. The samples were then etched to determine the grain size. Table 2 shows the results for each temperature.

Table 2: Measured grain sizes for three austenitization temperatures before deformation

Austenitization temperature (°C)	850	980	1100
Grain size (µm)	9.8	20.7	42.3

4 DCCT diagram

There are several CCT diagrams of the investigated steel 100Cr6, but minimum with the effect of deformation and grain size in the literature[7,8].

Figure 2 shows complete DCCT diagram of 100Cr6 steel after austenitization temperature 850 °C. Only the austenite-pearlite and austenite-martensite transformations were found in this DCCT diagram.

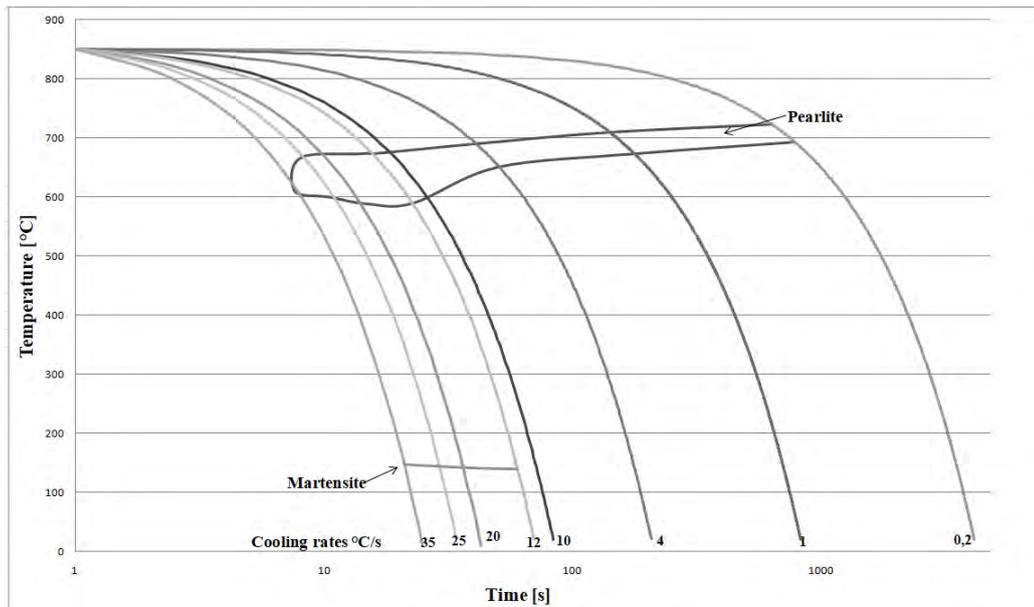


Figure 2. DCCT diagram of the 100Cr6 steel – after true strain $\epsilon = 0.35$

To determine the effect of grain sizes the tests were focused on the pearlite transformation. There weren't complete diagrams for all three temperatures. Figure 3 shows the pearlite section of diagram for all three austenitization temperatures.

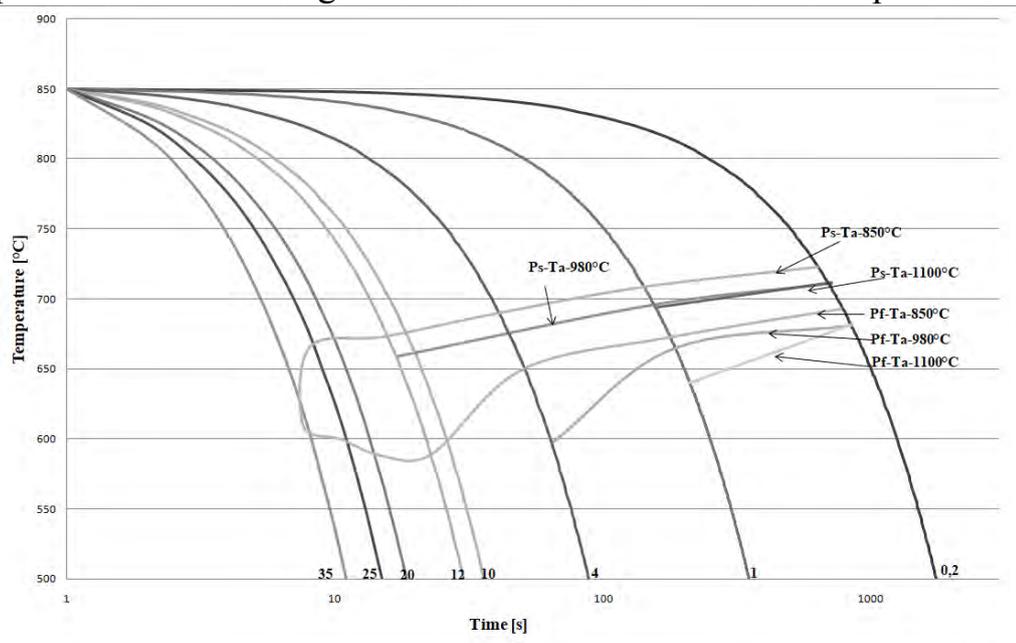


Figure 3. DCCT diagram of the 100Cr6 steel after austenitization at 850, 980 and 1100 °C

On Figure 3 there are pearlite start and pearlit finish curves for temperatures 850, 980 and 1100 °C. As can be seen, pearlite start temperature is different only for the smallest grain, bigger grain obtained after austenitization at 980°C and 1100°C had the same temperature.

As for pearlite finish transformation it seem that the effect of grain size is shifting the curves to longer times.

Figure 4 shows diagram of steel P620Q after different austenitization temperatures, however the grain sizes prior to the deformation weren't measured.

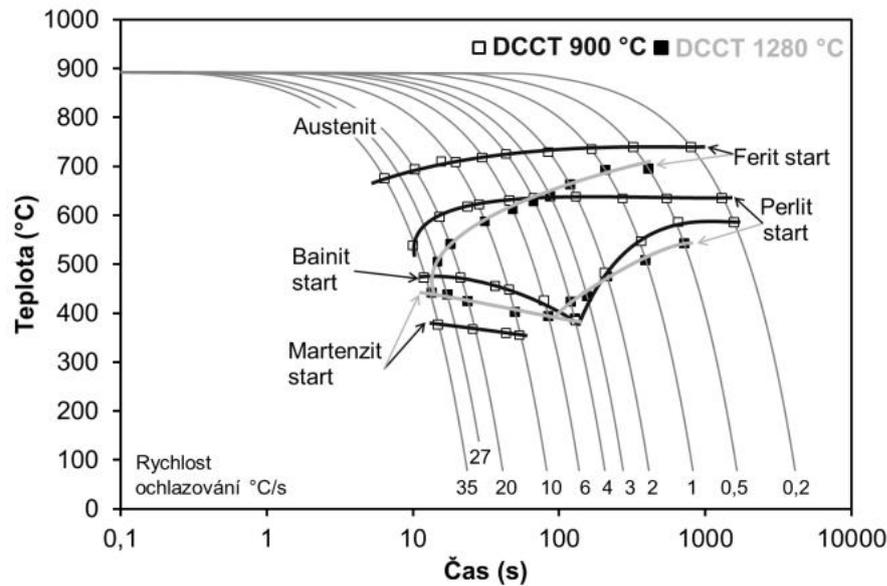


Figure 3. DCCT diagram of the P620Q steel after austenitization at 900 and 1280 °C [9]

5 Conclusions

Based on the experiments, three variants of DCCT diagrams were constructed for the 100Cr6 steel, which can contribute to effective production, in terms of controlled forming and heat treatment.

The influence of grain size prior to the deformation on the transformation diagrams of the investigated bearing steel has been studied. The diagram shows that larger grains before the deformation shifts the pearlitic curves towards lower temperatures and to later times, but this effect is larger between 9.8 μm and 20.7 μm than that of 20.7 μm and 42.3 μm grains. The compared diagram is for different steel, but shows the shifts in similar way.

The effect of the grain size prior to cooling and should have bigger influence on CCT diagram which doesn't have deformation and thus recrystallization during cooling should not appear. The effect on CCT diagram will be investigated.

ACKNOWLEDGEMENTS

The article was created thanks to the project No. CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008399 from the EU and CR financial funds provided by the Operational Programme Research, Development and Education, Call 02_17_049 Long-Term Intersectoral Cooperation for ITI, Managing Authority: Czech Republic - Ministry of Education, Youth and Sports and within the students' grant projects SP2019/86 and SP2019/43 supported at the VŠB – TU Ostrava by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

References:

- 1 Kawulok, R.; Schindler, I.; Kawulok, P.; Rusz, S.; Opela, P.; Kliber, J.; Solowski, Z.; Čmiel, K.M.; Podolinsky, P.; Maliń, M.; Vańek, Z.; Vančura, F. Transformation kinetics of selected steel grades after plastic deformation. *Metalurgija* 2016, 55, 357–360.
- 2 Verlinden, B.; Driver, J.; Samajdar, I.; Doherty, R.D. Thermo-mechanical processing of metallic materials, 1st ed.; Elsevier: Oxford, England, 2007; 528 p.
- 3 Kawulok, R.; Schindler, I.; Mizera, J.; Kawulok, P.; Rusz, S.; Opěla, P.; Podolinsky, P.; Čmiel, K.M. Transformation diagrams of selected steel grades with consideration of deformation effect. *Arch. Metall. Mater.* 2018, 63, 55–60.
- 4 Xie, H.J.; Wu, X.C.; Min, Y.A. Influence of Chemical Composition on Phase Transformation Temperature and Thermal Expansion Coefficient of Hot Work Die Steel. *J. Iron Steel Res. Int.* 2008, 15, 56–61.
- 5 Mun, D.J.; Shin, E.J.; Choi, Y.W.; Lee, S.J.; Koo, Y.M. Effects of cooling rate, austenitizing temperature and austenite deformation on the transformation behavior of high-strength boron steel. *Mater. Sci. Eng. A.* 2012, 545, 214–224.
- 6 Aranda, M.; Kim, B.; Rementeria, R.; et al. Effect of prior austenite grain size to pearlite transformation in a hypoeutectoid Fe-C-Mn steel. *Metall. Mater. Trans. A*, 2014, 4, 1778–1786.
- 7 Ellerman, A.; Scholtes, B. The strength differential effect in different heat treatment conditions of the steels 42CrMoS4 and 100Cr6. *Mater. Sci. Eng. A.* 2015, 620, 262–272.
- 8 Perez, M.; Sidoroff, C.; Vincent, A.; Esnouf, C. Microstructural evolution of martensitic 100Cr6 bearing steel during tempering: From thermoelectric power measurements to the prediction of dimensional changes. *Acta Mater.* 2009, 57, 3170–3181.
- 9 Něvčák, V., R. Kawulok, P. Kawulok, I. Schindler, et al. Studium vlivu deformace a vysokoteplotní austenitizace na transformační kinetiku oceli P620Q. *Hutnické listy.* 2018, 71(6), 23-28.

УДК 536+669.18

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСНОВНОСТИ ШЛАКА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХРОМА МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

STUDY OF INFLUENCE OF TEMPERATURE AND SLAG BASICITY ON THE INTERPHASE DISTRIBUTION OF CHROMIUM BY THE METHOD OF THERMODYNAMIC SIMULATION

Салина В.А., Жучков В.И., Заякин О.В.

Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

valentina_salina@mail.ru

Аннотация: Приведены результаты термодинамического моделирования межфазного распределения хрома. Химический состав исходной оксидной системы, %¹: 25-37,5 CaO; 25-12,5 SiO₂; 25 Cr₂O₃; 5 FeO; 14 MgO; 3 MnO; 3 Al₂O₃. В качестве восстановителя использовали кремний ферросилиция ФС20 (20% Si), ФС45 (45% Si), ФС65 (65% Si), расход которого составил 110% от стехиометрически необходимого для восстановления Fe, Mn и Cr. Для моделирования использовали программный комплекс HSC Chemistry 6.12, разработанный Outokumpu (Финляндия). Расчеты выполнены с применением модуля «Equilibrium Composition» в интервале температур 1500-1700°C с шагом 50°C и давлении газовой фазы, равном 1 атм. Показано, что повышение t процесса от 1500 до 1700°C при $(CaO)/(SiO_2)=2$ увеличивает коэффициент распределения хрома L_{Cr} , а увеличение $(CaO)/(SiO_2)$ от 1 до 3 при $t=1600^\circ C$ приводит к уменьшению L_{Cr} . Определены степень полезного использования кремния полезного v_{Si} и химический состав металла. Результаты моделирования могут быть использованы для определения межфазного распределения хрома при получении нержавеющей стали.

Ключевые слова: оксидная система, ферросилиций, восстановление, межфазное распределение хрома, температура, основность шлака, состав металла, термодинамическое моделирование.

Abstract: The results of thermodynamic simulation of interphase distribution of chromium are presented. The chemical composition of the initial oxide system, %¹: 25-37.5 CaO; 25-12.5 SiO₂; 25 Cr₂O₃; 5 FeO; 14 MgO; 3 MnO; 3 Al₂O₃. Silicon ferrosilicon FeSi20 (20% Si), FeSi45 (45% Si), FeSi65 (65% Si) was used as a reducing agent; its consumption was 110% of the stoichiometrically necessary for the reduction of Fe, Mn, and Cr. The HSC Chemistry 6.12 software package developed by Outokumpu (Finland) was used for the simulation. The calculations were performed using the «Equilibrium Composition» module in the temperature range of 1500-1700°C with a step of 50°C and the pressure of the gas phase 1 atm. It was shown that an increase in the process t from 1500 to 1700°C at $(CaO)/(SiO_2)=2$ increases the distribution coefficient of chromium L_{Cr} , and an increase in $(CaO)/(SiO_2)$ from 1 to 3 at $t=1600^\circ C$ leads to a decrease in L_{Cr} . The degree of useful use of silicon v_{Si} and the chemical composition of the metal are determined. The results of thermodynamic simulation can be used to determine the interphase distribution of chromium in the production of stainless steel.

Key words: oxide system, ferrosilicon, reduction, inter-phase distribution of chromium, temperature, slag basicity, metal composition, thermodynamic simulation.

Хром является переходным металлом, имеющим высокую температуру плавления и обладающим особыми антикоррозионными свойствами при нагреве. В качестве легирующей добавки хром входит в большую часть легированных марок стали. Содержание хрома в стали зависит от назначения и предъявляемых к ней требований и колеблется от долей до 30-40%. В сочетании с никелем, марганцем и другими элементами хром является основным компонентом нержавеющей марки стали, придавая им высокую жаропрочность и жаростойкость на воздухе и в агрессивных средах [1-4].

Нержавеющая сталь является одним из важнейших и востребованных продуктов черной металлургии. Согласно данным Международного форума по нержавеющей стали (InternationalStainlessSteelForum) ее мировой объем производства в 2018 году составил 50,73 млн т, что на 5,5% больше, чем в 2017 году [5]. Основным прогрессивным способом получения нержавеющей стали является процесс аргоно-кислородного рафинирования (АКР). Важным этапом этого процесса является восстановительный период, во время которого окислившийся в процессе продувки хром, находящийся в шлаке (~ 25% Cr₂O₃), восстанавливается кремнием ферросилиция [6-8].

В литературе приведены данные об изучении термодинамической активности CrO и CrO_{1,5} в шлаках систем CaO-SiO₂-CrO_x [9] и MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO [10], а также о металлотермическом процессе получения феррохрома [11-15].

В работах [9, 12] авторы получили новые данные об активности и окислительно-восстановительном равновесии оксидов хрома, измеренные при $P_{O_2} = 6,95 \times 10^{-11}$ атм и температуре 1600°С для системы CaO-SiO₂-CrO_x. Определено влияние основности, MgO и Al₂O₃ на коэффициент активности оксида хрома.

Авторами работы [10] изучена активность оксида хрома в шлаках системы MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO при температуре 1600°С в восстановительных условиях и растворимость MgO·Cr₂O₃. Установлено, что для расплава MgO-SiO₂, который насыщен 2MgO·SiO₂, растворимость MgO·Cr₂O₃ увеличивается с уменьшением парциального давления кислорода и коэффициента активности оксида хрома $\gamma_{Cr_2O_3}$.

Авторами работы [13] проведен термодинамический анализ возможности получения низкоуглеродистого феррохрома из руд различных месторождений. Определено, что отношение (Cr₂O₃)/(FeO) в руде должно быть не менее 3,0 для получения товарного низкоуглеродистого феррохрома с содержанием Cr ≥ 65 %. Из большинства руд Уральских месторождений возможно получение низкоуглеродистого феррохрома с пониженным содержанием хрома (50-60%) [14].

Результаты влияния основности шлака, количества и качества восстановителей на процесс восстановления хрома из шлака в контакте с расплавленной сталью при 1600°С представлены в работе [15]. Установлено, что степень восстановления хрома при использовании сплава, содержащего, %: 44 Si; 9 Mg; Fe-остальное, составляет около 81%, а при применении

ферросилиция (75% Si) – 88%. Выявлено, что восстановительная способность Mg в ~ 3 раза выше, чем Si.

Авторами работы [16] исследовано влияние равновесного распределения марганца и хрома между шлаком $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}_{\text{насыщ}}\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-MnO}$ и нержавеющей сталью Fe-Cr-Mn в температурном интервале от 1550 до 1600°С в атмосфере аргона. Повышение основности шлака приводит к возрастанию коэффициента активности MnO, но к уменьшению коэффициента активности Cr_2O_3 при температуре 1600°С, что не согласуется с ранее полученными данными авторов работы [10].

Термодинамическое моделирование процесса восстановления хрома кремнием ферросиликоникеля при увеличении содержания CaO до основности 3,15 проведено авторами работы [17]. Установлено, что рациональная основность шлака составляет 1,86-1,9, а расход восстановителя – $1,05m_{\text{восст}}$. (где $m_{\text{восст}}$ – количество восстановителя, стехиометрически необходимого для восстановления железа, марганца и хрома). Степень восстановления хрома составила 95,1% при температуре 1700°С. В работе [18] изучено влияние температуры на степень восстановления Fe, Cr, Al, Mg при расходе ферросиликоникеля $1,05m_{\text{восст}}$. Химический состав полученного комплексного ферросплава, %: 50,4 Cr; 3,3 Ni; 1,97 Si; Fe – остальное.

Обзор литературных данных и существующих технологий показал, что металлотермические процессы восстановления элементов хромсодержащих оксидных систем, в том числе кремнием ферросилиция, слабо изучены. Необходимо исследовать влияние концентрации кремния ферросилиция на процесс восстановления хромосистемы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO-MnO-Al}_2\text{O}_3$.

Целью настоящей работы является изучение влияния температуры процесса (1500-1700°С) и основности шлака $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ на коэффициент распределения хрома L_{Cr} при использовании в качестве восстановителя кремния ферросилиция $[\text{Si}]_{\text{ФС}}$: ФС20 (20% Si), ФС45 (45% Si), ФС65 (65% Si) методом термодинамического моделирования.

Термодинамическое моделирование силикотермического восстановления хрома из оксидной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO-MnO-Al}_2\text{O}_3$ проведено по следующим вариантам:

1) изучение влияния температуры (t) процесса (1500-1700°С) на коэффициент распределения хрома (L_{Cr}) при основности шлака $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ равной 2;

2) определение влияния основности шлака $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ от 1 до 3 на коэффициент распределения хрома (L_{Cr}) при температуре (t) 1600°С;

3) определение степени полезного использования кремния (v_{Si}) при различном ферросилиции: ФС20, ФС45, ФС65 и основности шлака $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)=2$ и температуре (t) 1600°С.

Состав исходной многокомпонентной оксидной системы представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Состав исходной оксидной системы, %

№ п/п	Cr ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	(CaO)/(SiO ₂)
1	25	25	25	14	3	5	3	1
2	25	33,5	16,5	14	3	5	3	2
3	25	37,5	12,5	14	3	5	3	3

В качестве восстановителя использовали ферросилиций различных марок: ФС20 (20% Si), ФС45 (45% Si) и ФС65 (65% Si). Расход кремния-восстановителя $[Si]_{\text{ФС}}$ составил 110% от стехиометрически необходимого для полного восстановления железа, марганца и хрома.

Для проведения термодинамического моделирования использовали PKHSC Chemistry 6.12, разработанный Outokumpu, и основанный на минимизации энергии Гиббса и вариационных принципах термодинамики [19]. Равновесный состав многокомпонентной оксидной и металлической систем определяли с применением подпрограммы «EquilibriumCompositions» в интервале температур 1500-1700°C с шагом 50°C и давлении газовой фазы, равном 1 атм. Для вычисления использовали алгоритм программы минимизации энергии Гиббса «GIBBS». В базу данных ПК HSC Chemistry 6.12 введено химическое соединение – двухвалентный оксид хрома (CrO) с соответствующими термодинамическими характеристиками и скорректированы существующие в базе данных термодинамические константы соединения хромита кальция – CaCr₂O₄[20]. Газовая фаза системы содержала 2,24 м³ N₂ в качестве нейтральной добавки для ускорения вычислительной процедуры поиска равновесного состава. Расчеты проведены в приближении к идеальному раствору.

Результаты термодинамического моделирования процесса восстановления элементов из оксидной системы CaO-SiO₂-Cr₂O₃-FeO-MgO-MnO-Al₂O₃ ферросилицием представлены в виде следующих графических зависимостей:

- 1) изменение коэффициента распределения хрома (L_{Cr}) от температуры (t) (1500-1700°C) при основности шлака (CaO)/(SiO₂) равной 2 (рисунок 1);
- 2) изменение коэффициента распределения хрома (L_{Cr}) от основности шлака (CaO)/(SiO₂) при температуре (t) 1600°C (рисунок 2);
- 3) изменение степени полезного использования кремния (θ_{Si}) от концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{\text{ФС}}$ при основности шлака (CaO)/(SiO₂)=2 и температуре (t) 1600°C (рисунок 3).

На рисунке 1 показано изменение коэффициента распределения хрома (L_{Cr}) от температуры (t) при основности шлака (CaO)/(SiO₂) равной 2 и использовании в качестве восстановителя кремния ферросилиция: ФС20, ФС45 и ФС65.

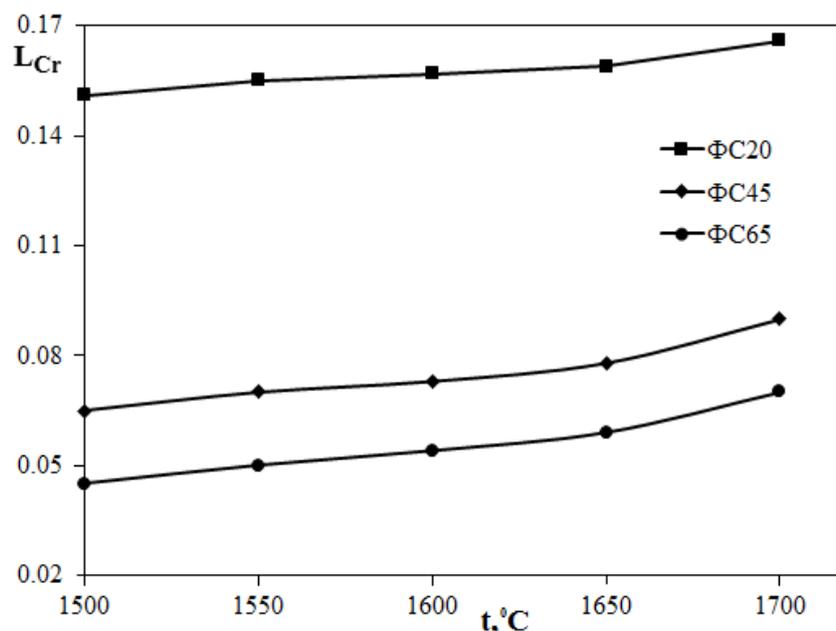


Рисунок 1 – Изменение коэффициента распределения хрома (L_{Cr}) от температуры (t) при основности шлака $(CaO)/(SiO_2)=2$

Коэффициент распределения хрома (L_{Cr}) между шлаком и металлом определяли по формуле $L_{Cr}=(Cr)/[Cr]$ [21]. Определено, что повышение температуры процесса увеличивает коэффициент распределения хрома L_{Cr} при использовании всех марок ферросилиция. Данную зависимость можно объяснить тем, что реакция восстановления хрома кремнием экзотермическая и протекает с выделением тепла [22]. Так, при повышении температуры с 1500 до 1700°С коэффициент распределения хрома L_{Cr} увеличился на 9,9% (с 0,151 до 0,166) при применении восстановителя ФС20, на 38,5% (с 0,065 до 0,09) при ФС45 и на 55,6% (с 0,045 до 0,07) при ФС65. Коэффициент распределения хрома L_{Cr} уменьшается при повышении содержания кремния в ферросилиции во всем диапазоне температур. Оптимальный интервал температуры процесса восстановления хрома кремнием – 1600-1650°С, при которых степень восстановления хрома – 79,5-79,6% для ферросилиция ФС20, 82,8-81,8% - для ФС45 и 84,5-83% для ФС65 соответственно.

На рисунке 2 представлено изменение коэффициента распределения хрома (L_{Cr}) от основности шлака $(CaO)/(SiO_2)$ при температуре (t) 1600°С и использовании в качестве восстановителя кремния ферросилиция: ФС20, ФС45, ФС65. Результаты моделирования процесса восстановления хрома показали, что с повышением основности шлака от 1 до 3 коэффициент распределения хрома L_{Cr} уменьшается. Так, коэффициент распределения хрома L_{Cr} при повышении основности шлака $(CaO)/(SiO_2)$ с 1 до 3 и при использовании в качестве восстановителя ФС20 уменьшился на 54,2% (с 0,253 до 0,116), при применении ФС45 на 52,2% (с 0,115 до 0,055) и при ФС65 на 50,6% (с 0,083 до 0,041).

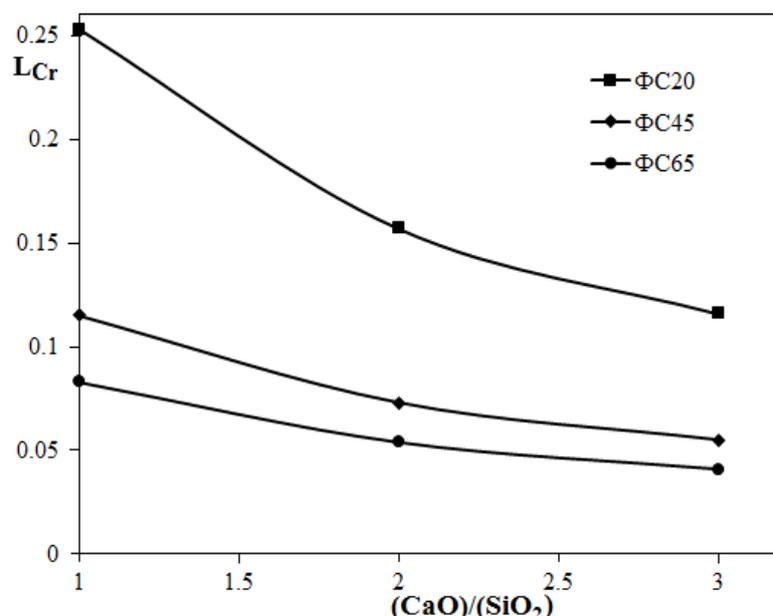
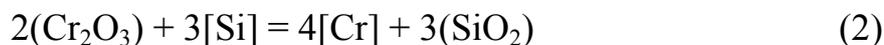


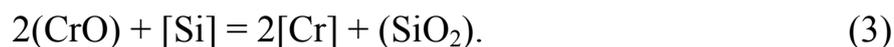
Рисунок 2 – Изменение коэффициента распределения хрома (L_{Cr}) от основности шлака $(CaO)/(SiO_2)$ при температуре (t) $1600^{\circ}C$

При восстановлении хрома из его оксидов (Cr_2O_3 и CrO) повышение содержания CaO способствует увеличению количества хрома в металле. Реакции восстановления оксида хрома кремнием имеют вид [22]:



Добавление в шихту CaO способствует смещению реакции восстановления (1) в сторону образования хрома, т.е. снижению активности образующегося $SiO_2 - a_{(SiO_2)}$ и повышению активности $Cr_2O_3 - a_{(Cr_2O_3)}$, что согласуется с данными авторов работ [9, 10]. Присутствие оксида кальция в процессе восстановления хрома кремнием способствует связыванию образующегося SiO_2 в силикат кальция.

В шлаке содержится хром в двухвалентной форме (CrO), поэтому имеет место реакция (3), которая в значительной степени определяет равновесное содержание кремния в металле [22]:



На рисунке 3 приведена зависимость степени полезного использования кремния (v_{Si}) от концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{ФС}$ при основности шлака $(CaO)/(SiO_2)=1, 2, 3$ и температуре (t) $1600^{\circ}C$. Повышение концентрации кремния ферросилиция $[Si]_{ФС}$ с 20 до 65% и основности шлака $(CaO)/(SiO_2)$ с 1 до 3 способствует увеличению степени полезного использования кремния v_{Si} . Так, при повышении $[Si]_{ФС}$ с 20 до 65% и основности шлака $(CaO)/(SiO_2)=1$ степень использования кремния v_{Si} увеличилась на 8% (с 82,61 до 89,21%), при

основностишлака $(CaO)/(SiO_2)=2$ степень использования кремния v_{Si} увеличилась на 4,6% (с 89,07 до 93,18%) и при основностишлака $(CaO)/(SiO_2)=3$ степень использования кремния v_{Si} увеличилась на 3,2% (с 92,06 до 95,03%).

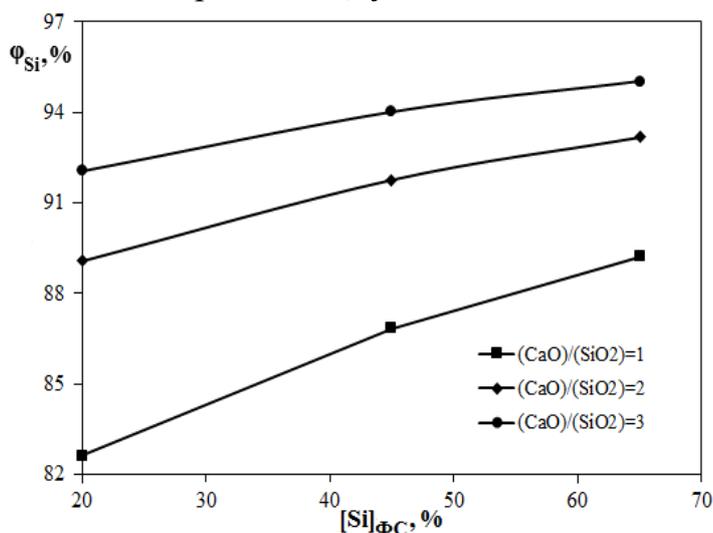


Рисунок 3 – Изменение степени полезного использования кремния (v_{Si}) от концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{ФС}$ при основности шлака $(CaO)/(SiO_2)=1, 2, 3$ и температуре (t) $1600^{\circ}C$

Химический состав металла, соответствующий образующемуся в восстановительный период АКР-процесса при температуре $1600^{\circ}C$, приведен в таблице 2. Он зависит от содержания исходных шихтовых материалов, степени восстановления элементов и их улета в газовую фазу. Согласно термодинамической прочности оксидов восстановление элементов происходит в следующем порядке: Fe, Mn, Cr. Содержание хрома в металле повышается с увеличением основности шлака $(CaO)/(SiO_2)$ и концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{ФС}$. Содержание железа в сплаве уменьшается с увеличением основности шлака $(CaO)/(SiO_2)$ и концентрации $[Si]_{ФС}$ за счет разбавления металлической фазы хромом. Концентрации марганца и алюминия в сплаве увеличиваются с повышением основности шлака и содержания кремния в ферросилиции.

Таблица 2 - Химический состав металла при температуре $1600^{\circ}C$, %

Основность шлака $(CaO)/(SiO_2)$	Элемент, %				
	ФС20				
	Cr	Fe	Mn	Si	Al
1	22,90	71,55	2,72	2,83	0,00016
2	25,40	69,54	3,33	1,73	0,00025
3	26,56	68,66	3,54	1,24	0,00035
	ФС45				
1	42,94	47,49	5,65	3,91	0,00053
2	45,87	45,57	6,21	2,34	0,00078
3	47,17	44,77	6,39	1,67	0,00104
	ФС65				
1	54,02	34,39	7,50	4,09	0,00084
2	56,79	32,92	7,84	2,45	0,00121
3	58,00	32,31	7,95	1,74	0,00161

Таким образом, результаты термодинамического моделирования процесса восстановления хрома из оксидной системы $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-MnO-FeO}$ показали, что коэффициент распределения хрома увеличивается при повышении температуры процесса с 1500 до 1700°C и уменьшается при увеличении основности шлака $(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)$ с 1 до 3 при температуре 1600°C. Определены степень полезного использования кремния (v_{Si}) и химический состав полученного металла. Результаты термодинамического моделирования согласуются с литературными данными и могут быть использованы для определения межфазного распределения хрома в восстановительный период процесса аргоно-кислородного рафинирования при получении нержавеющей стали.

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН и по Проекту № 18-5-2345-56 Комплексной программы Уральского отделения РАН.

Список литературы

- 1 Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов: учеб. для вузов. – М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. – 764 с.
- 2 Рысс М.А. Производство ферросплавов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Metallurgia, 1985. – 344 с.
- 3 Каблуковский А.Ф. Производство электростали и ферросплавов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 511 с.
- 4 Гриненко В.И., Поляков О.И., Гасик М.И. и др. Хром Казахстана. Справочник. – М.: Metallurgia, 2001. – 416 с.
- 5 International Stainless Steel Forum (ISSF): <https://ussa.su/news/1898>, 2019 (дата обращения: 17.05.2019).
- 6 Токовой О.К. Аргонокислородное рафинирование нержавеющей стали. – Челябинск: Издат. Центр ЮУрГУ, 2015. – 250 с.
- 7 Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В. Производство стали. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки стали. – М.: Теплотехник, 2010. Т.1. – 528 с.
- 8 Сазонов В.Н. О предыстории разработки нержавеющей сталей базовой системы легирования Fe-Cr // *Металлург*. 2018. № 8. С. 95-99.
- 9 Morita K., Sano N. Activity of chromium oxide in CaO-SiO₂ based slags at 1873 K // VII International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts (South Africa). 2004. P. 113–117.
- 10 Morita K., Inoue A., Takayama N., Sano N. The solubility of MgO·Cr₂O₃ in MgO-Al₂O₃-SiO₂-CaO slag at 1600°C under reducing conditions // *Tetsu-to-Hagane*. 1988. Vol. 74. No 6. P. 999–1005.
- 11 Zayakin O.V., Statnykh R.N., Zhuchkov V.I. Study of the possibility of obtaining non-decomposing slag during low-carbon ferrochrome production // *Metallurgist*. 2019. Vol. 62. No 9-10. P. 875-881.

12 Morita K., Mori M., Guo M., Ikaigawa T., Sano N. Activity of chromium oxide and phase relations for the $\text{CaO-SiO}_2\text{-CrO}_x$ system at 1873 K under moderately reducing conditions // *Steel research*. 1999. No 8–9. P. 319–324.

13 Танклевская Н.М., Михайлов Г.Г. Термодинамический анализ возможности получения низкоуглеродистого феррохрома из местных руд // Компьютерное моделирование физико-химических свойств стекол и расплавов: сб. тр. XII Российского семинара. – Курган: Изд-во Курган. гос. универ. 2014. – С. 42-44.

14 Zayakin O.V., Zhuchkov V.I. Promising Directions of the Application for Poor Raw Materials of the Ferroalloy Production // Theoretical and practical conference with international participation and School for young scientists «Ferroalloys: Development prospects of metallurgy and machine building based on completed Research and Development». Knowledge E. Materials Science. 2019. P. 70-76

15 Gutierrez-Paredes J., Romero-Serrano A., Plascencia-Barrera G., Vargas-Ramirez M., Zeifert B., Arredondo-Torres V. Chromium oxide reduction from slag by silicon and magnesium // *Steel research int.* 76 (2005). No 11. P. 764–768.

16 Van Ende Marie-Aline, Guo Muxing, Jones Peter Tom, Blanpain Bart, Wollants Patrick. Manganese and chromium distribution between $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO}_{\text{sat.}}\text{-CrO}_{1,5}\text{-MnO}$ slags and Fe-Cr-Mn stainless steel // *ISIJ International*. 2008. Vol. 48. No 10. P. 1331–1338.

17 Salina V.A., Zhuchkov V.I., Zayakin O.V. Thermodynamic simulation of the manufacture of Fe-Si-Ni-Cr alloys // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2019. No 2. P. 162–164.

18 Salina V.A., Zayakin O.V., Zhuchkov V.I. The thermodynamic evaluation of the interphase distribution of elements in the chromium and nickel-containing system // Theoretical and practical conference with international participation and School for young scientists «Ferroalloys: Development prospects of metallurgy and machine building based on completed Research and Development». Knowledge E. 2019. P. 126-133.

19 Roine A. Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical reactions and Equilibrium software with extensive thermochemical database. – Pori: Outokumpu research OY, 2002.

20 Глушко В.П. Термические константы веществ. – М.: Академия наук СССР. 1979. Вып. IX. – 574 с.

21 Бигеев А.М., Бигеев В.А. *Металлургия стали*. Учеб. для вузов, 3-е изд. перераб. и доп. – Магнитогорск: МГТУ, 2000. – 544 с.

22 Гасик М.И., Лякишев Н.П. *Физикохимия и технология электроферросплавов*. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 448 с.

УДК 622.271.333; 624.131

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ

THE ANALYSIS OF PIT WALL STABILITY RATING BASED ON COMPUTER-AIDED COMPUTATIONAL METHODS

Кольцов П.В.¹, Иванов Ю.С.¹, Пыхтеева Н.Ф.²

¹ОАО «Уралмеханобр» НЧОУ ВО «ГУ УГМК», г. Екатеринбург, Россия;

²ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Kpavel@umbr.ru

Koltsov P.V., Ivanov Y.S., Pykhteeva N.F.

¹JSC Uralmekhanobr, Ekaterinburg, Russia; ²Ural Federal University named after
the first President of Russia B. N. Eltsin, Ekaterinburg, Russia

Kpavel@umbr.ru

Аннотация: В статье приведены результаты оценки устойчивости откосов бортов карьеров с использованием программного комплекса ScadOffice «Откос» и по методу многоугольника сил, рекомендованному нормативными документами, дан их сравнительный анализ. С целью увеличения достоверности и оперативности расчетов в отдельных случаях рекомендовано их совместное использование.

Ключевые слова: устойчивость, откос, карьер, борт, метод, оценка, анализ, расчет, месторождение, массив, программа, коэффициент, запас, моделирование.

Abstract: the article describes the results of the pit wall stability rating based on the software package Scad Office Slope and the force polygon method proposed in normative documents and provides their comparative analysis. The combination of both the software package Scad Office Slope and the force polygon method is recommended in specific cases to gain integrity and computational operability of calculations.

Key words: stability, slope, pit, pit wall, method, assessment, analysis, calculation, deposit, massif, software, coefficient, reserve, simulation

Проблема устойчивости откосов вообще и бортов карьеров в частности является актуальной при разработке месторождений полезных ископаемых, в гражданском строительстве и в других отраслях человеческой деятельности.

Теоретическая разработка и совершенствование методов расчета устойчивости карьерных откосов и отвалов для реальных горно-геологических условий развивалась на основе известных методов расчета (В. Феллениуса, В. В. Соколовского, С. С. Голушкевича, Г. Т. Шахунянца) и результатов

исследований деформаций откосов в натуральных и лабораторных условиях. [1, 2, 3, 4].

Основой современных методов расчета устойчивости откосов является теория предельного равновесия «сыпучей среды», включающая также и предельное равновесие связной среды с трением, к которой относится горный массив.

В настоящее время для оценки устойчивости откосов и бортов карьеров известны и широко используются два основных расчетных метода: алгебраического сложения сил и многоугольника сил (векторного сложения).

Первый из них характеризуется достаточной простотой графических построений и последующих вычислений. Областью применения метода алгебраического сложения сил является оценка устойчивости изотропных (однородных) откосов, длина (L) которых в 2-3 раза больше их высоты (H), а потенциальная поверхность скольжения имеет вид плавной кривой. В этом методе предполагается, что призма возможного обрушения деформируется как единое целое и реакции между блоками не учитываются. Это приводит к занижению расчетного соотношения удерживающих и сдвигающих сил (занижению определяемого коэффициента запаса устойчивости) на 3-20% относительно фактического. Однако при небольшой высоте откосов (до 100 м) в рыхлых породах при небольших значениях угла внутреннего трения ($\varphi < 20^\circ$) данный метод дает приемлемые результаты [5, 6].

Наиболее надежным и универсальным методом расчета устойчивости откосов в реальных горно-геологических условиях является усовершенствованный институтом ВНИМИ метод многоугольника сил (векторного сложения сил), который учитывает все внутренние и внешние силы, действующие по границам выделенных в призме возможного обрушения блоков [7]. Данный метод позволяет достаточно точно оценить устойчивость откосов бортов или их участков, особенно в сложных горно-геологических условиях, в частности: наличие в массиве разно-ориентированных контактов пород и крупных тектонических нарушений; слоистое строение прибортового массива; формирование отвалов (насыпей) на наклонном или слабом основании.

Для определения предельных устойчивых параметров бортов карьеров и уступов в однородном массиве горных пород институтом ВНИМИ на основе метода многоугольника сил разработаны и построены графики зависимости между высотой плоского откоса H и его углом α для различных физико-механических характеристик пород массива (плотность γ , угол внутреннего трения φ и сцепление C_m). По графикам можно оценить устойчивость откоса с заданными параметрами или определить максимально устойчивые параметры при заданном коэффициенте запаса [8]. Стоит отметить, что данный метод позволяет без специальной подготовки быстро получить результат. Однако обратной стороной простоты является необходимость усреднения характеристик массива, что имеет значение при сложном строении борта.

В последнее время распространяются автоматизированные методы расчета устойчивости бортов карьеров и откосов. Широко известны такие комплексы как: Rocscience (Slide), Geo (Slope), FineSoft (Geo 5) и др. Несомненным достоинством данных методов является возможность оперативного проведения многовариантных расчетов (поиск положения наиболее слабой поверхности, формируемой в прибортовом массиве, выявление наиболее слабых участков по высоте откоса), что при традиционном графическом способе требует на порядок больше затрат сил и времени исполнителя.

Однако применение программных средств оценки устойчивости требует от оператора теоретической и практической подготовки, поскольку результат автоматизированного расчета сильно зависит от опыта специалиста и может отличаться от реальности, поскольку природную среду невозможно описать классическим современным математическим аппаратом.

Совокупность сил, действующих в массиве откоса (удерживающих и сдвигающих), является сложным геомеханическим процессом, зависящим от множества независимых факторов, правильный учет которых непосредственно определяет точность результатов оценки устойчивости. К числу основных факторов, влияющих на результаты расчета устойчивости, относятся: выбор исходных физико-механических характеристик горных пород; переход от характеристик пород в образце к характеристикам в массиве; точность построения геологической модели массива; установление положения наиболее вероятной поверхности скольжения; учет влияния структурных особенностей массива (тектоника), гидрогеологических условий и внешних нагрузок и т.д. Поэтому качество моделирования исходных геомеханических условий, не зависимо от применяемой расчетной методики, имеет большое значение для оценки устойчивости откосов карьеров, выемок, отвалов или насыпей.

Программные комплексы, применяемые в настоящее время для оценки устойчивости откосов, не в полной мере соответствуют требованиям действующих нормативных документов, однако могут служить мощным вспомогательным инструментом для оперативного проведения многовариантных расчетов, что в конечном итоге ведет к повышению представительности результатов исследований.

Для оценки возможности использования автоматизированных систем по оценке устойчивости откосов бортов и склонов в рамках проведения научно-исследовательских работ было выполнено сравнение результатов «компьютерного» расчета в программе ScadOffice «Откос» с результатами «ручного» расчета по рекомендуемому нормативной документацией методу многоугольника сил (векторного сложения).

Метод многоугольника сил, используемый в качестве эталона при сравнительном анализе, достаточно подробно описан в соответствующей нормативной документации по вопросам устойчивости бортов карьеров [9, 10, 11, 12, 13].

Расчетные методики, применяемые в программе «Откос»: Федоровского – Курилло, Феллениуса, Бишопа упрощенный, Корпуса инженеров №1, Лоув и Карафайт, Янбу упрощенный, Янбу скорректированный, Спенсера, используют математический аппарат, подробно описанный как в открытых источниках, так и в руководстве пользователя программы [14, 15, 16, 17]:

Программа ScadOffice «Откос» была неоднократно использована для выполнения расчетов по оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов вскрышных пород как дополнение к традиционным методикам, регламентируемым нормативными документами.

В качестве объекта исследований были выбраны два меднорудных карьера: «Юбилейный» (ООО «Башкирская медь») и «Ново-Шемурский» (АО «Святогор»). Для исследования использованы по два характерных разреза (рис. 1, 2), ориентированных по нормали к простиранию борта. По каждому разрезу проведена оценка устойчивости борта на предельную глубину карьера.

В таблице 1 приведены результаты расчета устойчивости бортов карьера «Юбилейный», а в таблице 2 представлены данные по карьеру «Ново-Шемурский».

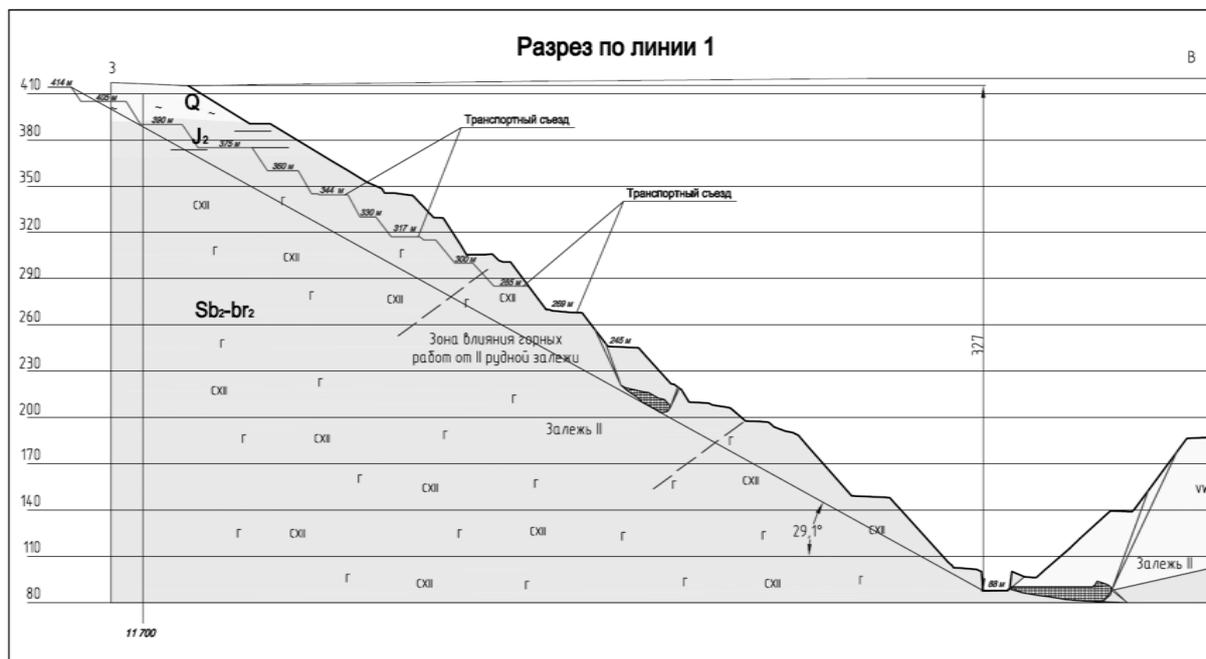


Рисунок 1 – Карьер «Юбилейный». Расчетный разрез по линии 1

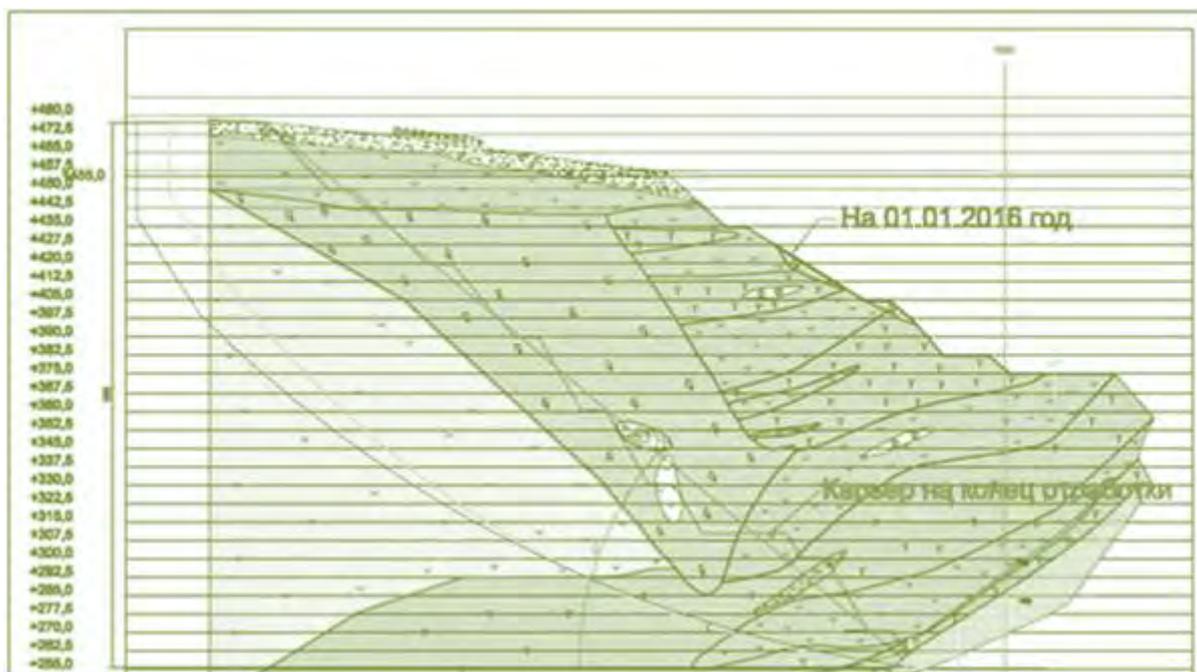


Рисунок 2 – Карьер «Ново-Шемурский». Расчетный разрез по линии 2

Таблица 1 – Результаты расчета по карьеру «Юбилейный»

Расчетный метод	Коэффициент запаса устойчивости	
	Разрез по линии 1	Разрез по линии 2
Янбу упрощенный	1,68	1,65
Спенсера	1,81	1,77
Федоровского - Курилло	1,74	1,70
Многоугольник сил (эталон)	2,20	2,10

Таблица 2 – Результаты расчета по карьеру «Ново-Шемурский»

Расчетный метод	Коэффициент запаса устойчивости	
	Разрез по линии 2	Разрез по линии 3
Федоровского - Курилло	1,95	1,30
Феллениуса	1,92	1,30
Бишопа упрощенный	2,02	1,32
Янбу скорректированный	1,95	1,32
Спенсера	2,00	1,32
Многоугольник сил (эталон)	1,96	1,37

Проведенные исследования показали, что в целом результаты программных расчетов согласуются с результатами оценки устойчивости, выполненной по методу многоугольника сил. При этом наибольшую сходимость с классическими методиками для горнотехнических условий рассматриваемых карьеров дают методы:

1. Федоровского - Курилло;
2. Феллениуса;
3. Бишопа упрощенный;
4. Янбу скорректированный;
5. Янбу упрощенный;
6. Спенсера.

В целом по результатам компьютерных расчетов получены величины коэффициента запаса устойчивости несколько меньше, чем по данным многоугольника сил, что является положительным фактором, так как дает дополнительный запас надежности. Пример моделирования борта карьера и автоматического построения поверхности скольжения, по которой проводится расчет, показан на рисунке 3.

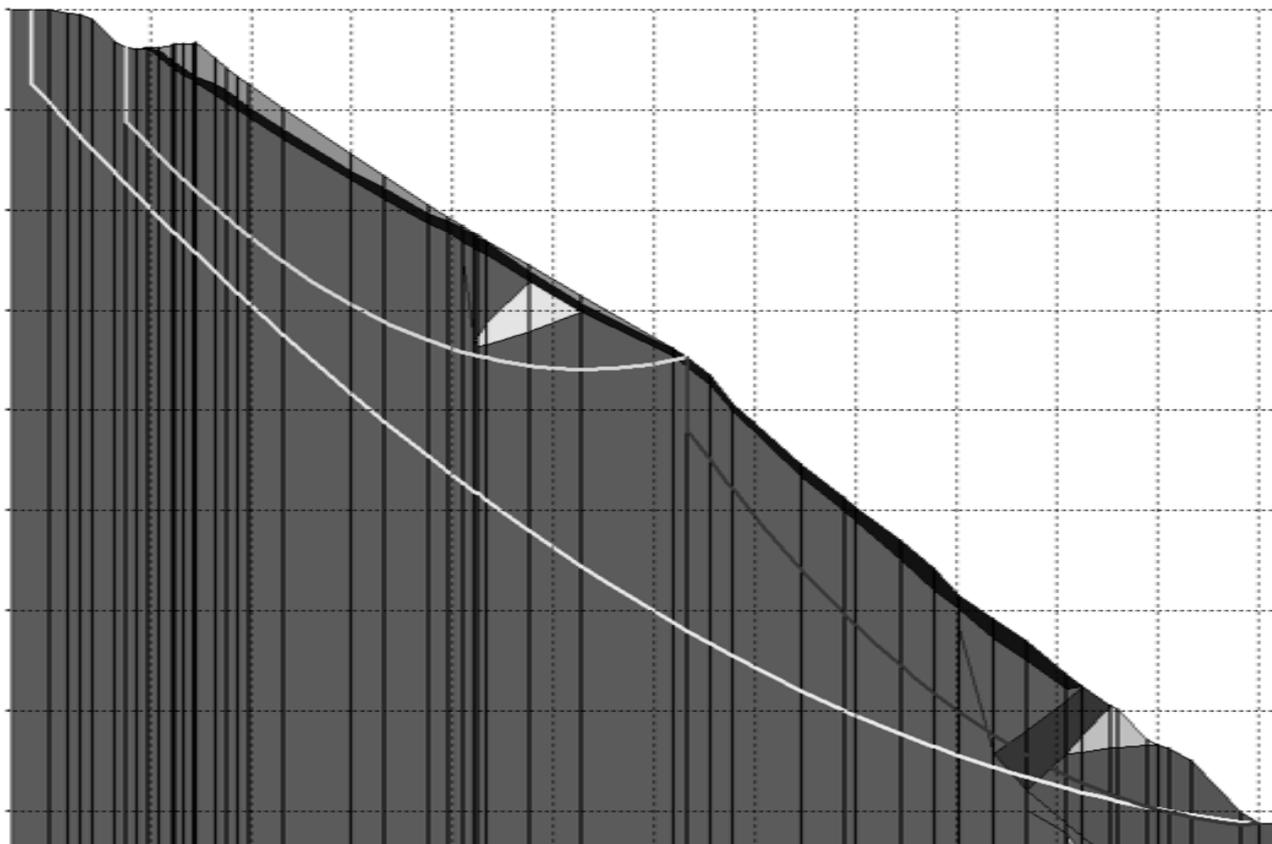


Рисунок 3 – Моделирование борта карьера в программе ScadOffice «Откос» по методу Федоровского-Курилло

В частности по карьеру «Ново-Шемурский» отклонения в значениях коэффициента запаса устойчивости не превысили 0,01-0,07, что сопоставимо с точностью его определения. Несколько большие отклонения, достигшие 0,33-

0,52, зафиксированы по карьере «Юбилейный». Здесь компьютерные вычисления и расчет многоугольником сил выполнялись разными исследователями, что объясняет различие в подходе к моделированию исходных геомеханических условий, непосредственно влияющему на результаты расчетов. Однако даже в условиях, когда для проверочного расчета привлекались сторонние эксперты, программный комплекс внес в запас устойчивости дополнительный коэффициент, повышающий безопасность дальнейшей эксплуатации опасного производственного объекта. Особенно это важно при получении коэффициентов запаса, близких к предельным (1,3 – 1,5), где ошибка в одну десятую переводит борт из категории неустойчивого в безопасный для эксплуатации. И если для нерабочих уступов, поставленных в предельное положение, деформации в начальной стадии могут быть несущественны, то ошибочное обоснование устойчивости борта с капитальным съездом в карьер может в перспективе привести к аварийным ситуациям и приостановке, либо полной остановке работы предприятия [18].

Проведенный анализ показывает, что программный комплекс ScadOffice «Откос» позволяет достаточно точно устанавливать положение наиболее вероятной поверхности скольжения и повысить эффективность выполнения работ по исследованию устойчивости откосов, так как дает возможность выполнить большее число расчетов при меньших затратах сил и времени исполнителя. Кроме того, этот метод дает возможность повысить детальность расчетов, включая оценку устойчивости достаточно большого числа локальных участков по высоте борта или откоса. Таким образом, следует отметить, что программный комплекс ScadOffice «Откос» дает приемлемые результаты расчетов и может использоваться для оценки устойчивости бортов карьеров и откосов.

Однако, применение программных комплексов для оценки устойчивости бортов карьеров или откосов не исключает необходимости реализации традиционных, регламентируемых нормативными документами, методик (многоугольника сил или алгебраического сложения сил), использование которых приобретает контрольное значение и выполняется для проверочных расчетов по наиболее характерным разрезам.

Список литературы

- 1 Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – М.: Физматгиз, 1960.
- 2 Голушкевич С.С. Статика предельных состояний грунтовых масс. – М.: Гос-техтеориздат, 1957.
- 3 Шахунянц Г.М. Основы практического расчета свободных и поддерживающих откосов. Труды МИИТ, вып.71, 1948.
- 4 Феллениус В. Статика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1933.
- 5 Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. –378 с.

6 Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии: утв. Министерством металлургии СССР 14.01.88. – М.: Унипромедь, 1989. – 128 с.

7 Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 168 с.

8 Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / Гос. НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела. – Утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.1998. – СПб., 1998. – 208 с.

9 Инструкция по безопасному ведению горных работ при комбинированной (совмещенной) разработке рудных и нерудных месторождений полезных ископаемых: РД-06-174-97: утв. Госгортехнадзором России 30.12.97. – Справочная нормативная система NormaCS (база данных на 03.07.14).

10 Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости: утв. Госгортехнадзором СССР 21.07.70. – Л.: ВНИМИ, 1971. – 187 с.

11 Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 118 с.

12 Инструкция по расчету устойчивости бортов разрезов при их ликвидации и обеспечению сохранности прилегающих к разрезам территорий: утв. Министерством угольной промышленности СССР 17.01.1977. – Л.: ВНИМИ, 1977. – 55 с.

13 Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987. – 126 с.

14 Карпиловский В.С и др. SCAD Office, Реализация СНиП в проектирующих программах – М., СКАД СОФТ, 2012. – 464 с.

15 Федоровский В.Г., Курилло С.В. Метод расчета устойчивости откосов и склонов// Геоэкология, 1997, №6. – С. 95-106.

16 Хуан Я.Х. Устойчивость земляных откосов. М.: Стройиздат, 1988.

17 M.G. Anderson, K.S. Richards, K.S. Richards. "Slope Stability: Geotechnical Engineering and Geomorphology", 1987, John Wiley and Sons, N.Y.

18 Руководство по проектированию бортов карьера, под редакцией: Джон Рид, Питер Стейси. Пер с англ. – Екатеринбург. Правовед, 2015. – 544 с.

УДК 621.778; 602.186

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО СПОСОБА ДЕФОРМИРОВАНИЯ «РКУ-ПРЕССОВАНИЕ – ВОЛОЧЕНИЕ»

COMPUTER SIMULATION OF COMBINED DEFORMATION METHOD "ECA-PRESSING – DRAWING»

*Найзабеков А.Б.¹, Волокитина И.Е.², Панин Е.А.², Лежнев С.Н.¹,
Волокитин А.В.², Tomasz Garstka³, Жумагалиев Д.Р.¹*

¹Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан; ²Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан;

*³Ченстоховский политехнический университет, Ченстохова, Польша
irinka.vav@mail.ru*

*Naizabekov A.B.¹, Volokitina I.E.², Panin E.A.², Lezhnev S.N.¹
Volokitin A.V.², Tomasz Garstka³, Zhumagaliyev D.R.¹*

*¹Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan; ²Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan; ³Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland
irinka.vav@mail.ru*

Аннотация: В данной статье представлены результаты моделирования совмещенного процесса «РКУ-прессование-волочение» в программном комплексе DEFORM. На основе проведенного моделирования можно сделать вывод, что при реализации предлагаемого совмещенного способа деформирования за счет совмещения двух способов: интенсивной пластической деформации в равноканальной ступенчатой матрице и обычного процесса волочения, реализуется благоприятная схема напряженно-деформированного состояния, позволяющая получать проволоку требуемых размеров и формы поперечного сечения с ультрамелкозернистой структурой.

Ключевые слова: моделирование, проволока, напряженно-деформированное состояние, микроструктура.

Abstract: This article presents the results of modeling of combined process "ECA-pressing - drawing" in the software package DEFORM. On the simulation basis, it can be concluded that during the implementation of the proposed combined deformation method by combining two methods: severe plastic deformation in an equal-channel step matrix and the usual drawing process, a favorable scheme of the stress-strain state is implemented, which allows to obtain a wire of the required size and shape of the cross section with an ultra-fine-grained structure.

Key words: modeling, wire, stress-strain state, microstructure.

Одним из важнейших метизов является стальная проволока, широко используемая как конструктивный элемент при производстве канатов, биметаллической сталемедной проволоки, неизолированных проводов и т.д. Данные металлоизделия определяют безопасность и надежность функционирования железных дорог, несущих строительных конструкций, телефонных проводов, кабелей, объектов оборонной промышленности, авиации и т.д. Основными показателями качества указанных металлоконструкций являются их надежность и долговечность, определяемые, главным образом, прочностными свойствами стальной проволоки. Основными свойствами проволоки (временное сопротивление разрушению, пределы текучести и

усталости, износостойкость, вязкость), как конструкционного материала, являются структурно-чувствительными, то есть могут управляться посредством целенаправленного изменения структуры. Одним из перспективных способов целенаправленного изменения структуры до субмикроструктурной и нанокристаллической являются способы интенсивной пластической деформации (ИПД) [1-5].

Проанализировав способы измельчения структуры, можно предположить, что наиболее эффективными способами при производстве проволоки являются способы, основанные на кручении. Предложенный способ непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки равноканальное угловое волочение (РКУВ) [6] использует дополнительную сдвиговую деформацию путем знакопеременного изгиба и кручения. Оборудование для реализации этого способа хорошо встраивается в линию волочильной машины. Однако данный способ требует дополнительного оборудования, а степень накопленной деформации сдвига ограничивается высокой вероятностью разрушения металла при кручении.

Известен метод Conform [7-9], представляющий собой разновидность непрерывного прессования, который нашел применение в промышленности. За последние годы было разработано и применено большое количество различных схем типа Conform.

Также к инновационным способам получения проволоки с ультрамелкозернистой структурой и повышенным уровнем механических свойств является совмещенный способ деформирования «равноканальное угловое прессование (РКУ-прессование) - волочение» [10].

Данная работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) металла при реализации совмещенный способ деформирования «РКУ-прессование - волочение» и эволюции микроструктуры металла при его реализации, осуществлённого с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM.

Уже давно стало доказанным фактом, что моделирование различных процессов деформирования в обработке металлов давлением в современных специализированных программных продуктах является перспективным приемом. Современные специализированные программные комплексы для моделирования предоставляют широчайшие возможности для работы, так как они позволяют смоделировать практически любой процесс, минуя дорогостоящие эксперименты. Моделирование позволяет исследователю заглянуть «внутрь» процесса деформирования, оценить возникающие при этом напряжения и деформации, предсказать появление новых дефектов их развитие и закрытие, а также проследить за эволюцией микроструктуры металла в процессе его деформирования. Кроме этого моделирование позволяет выявить рациональные параметры инструмента и заготовки для наилучшего протекания процесса.

В нашем случае мы осуществляли компьютерное моделирование совмещенного способа деформирования «РКУ-прессование - волочение»

стальной проволоки. В качестве материала заготовки была выбрана сталь Ст.3 (A 570 Grade 36). Реологические свойства материала были взяты из базы данных DEFORM. Материал заготовки до деформации является изотропным, в нем отсутствуют какие-либо напряжения и деформации. Заготовка, используемая для анализа, имела цилиндрическую форму диаметром 7,0 мм и длиной 300 мм и была разбита на 180 000 конечных элементов, со средней длиной ребра элемента 0,5 мм. С целью исключения застревания проволоки в каналах матрицы при моделировании было принято условие минусового допуска на диаметр проволоки и плюсового допуск на отверстие равноканальной ступенчатой матрицы. Материал равноканальной матрицы и волокна были приняты абсолютно жесткими. Модель заготовки была принята, как упругопластическая. Температура заготовки, как и температура матрицы, была выбрана равной 20°C – для получения оптимальных значений параметров НДС.

Так же для моделируемого эксперимента, были заданы значения коэффициента трения между заготовкой, матрицей $\mu=0,08$; коэффициент теплообмена с окружающей средой, равный 1; скорость волочения была равна действующей скорости на волочильном стане 1,5 м/с. Скорость прессования была установлена в соответствии с согласованием скоростей в 1,16 раз меньше скорости волочения и равна 1,29 м/с.

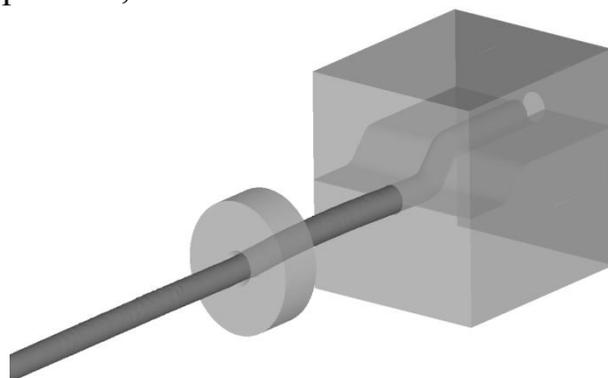


Рисунок 1 – Совмещенный процесс «РКУ-прессование-волочение»

В результате проведенного моделирования и исследования формоизменения было выявлено, что при реализации предложенной схемы совмещенного процесса «РКУ-прессование-волочение» данный процесс протекает стабильно, в равноканальной угловой матрице происходит полное заполнение стыков каналов, по всей длине заготовки не наблюдается признаков вынужденного утонения.

Для более детального анализа новой схемы совмещенного процесса «РКУ-прессование - волочение» было проведено исследование напряженно-деформированного состояния.

Для определения значений напряжения и деформации необходимо находить значения компонентов соответствующих тензоров, которые для трехмерного течения металла очень сложно визуализировать. Поэтому обычно при рассмотрении параметров НДС используют простые показатели

интенсивности деформации и напряжения, или так называемые эквивалентная деформация и эквивалентное напряжение, которые включают в себя компоненты деформации и напряжения в следующем виде[11]:

$$\varepsilon_{\text{ЭКВ}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ — главные деформации,

$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ — главные напряжения.

При реализации рассматриваемого совмещенного процесса «РКУ-прессование – волочение» в заготовке последовательно возникают 2 очага деформации, что делает данный процесс достаточно сложным. Поэтому, для изучения параметров НДС необходимо исследовать не только эквивалентную деформацию и эквивалентное напряжение, но и параметры, которые позволяют оценить долю растягивающих и сжимающих напряжений в очаге деформации. Таковыми являются максимальные растягивающие и сжимающие напряжения ζ_1 и ζ_3 . Их значения находят по следующим формулам:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2}\right)^2 + \tau_{XY}^2} \quad (3)$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_X + \sigma_Y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_X - \sigma_Y}{2}\right)^2 + \tau_{XY}^2} \quad (4)$$

Компонент ζ_2 обычно не рассматривается, поскольку он является средним арифметическим от ζ_1 и ζ_3 .

В Deform имеется возможность представления каждого из главных напряжений по отдельности. Однако, наиболее удобно оценивать данные параметры комплексно. Для этого используется параметр Гидростатическое давление или Среднее напряжение (stressmean).

При рассмотрении эквивалентного напряжения следует понимать, что данный параметр не показывает, какое напряжение действует в конкретной точке – растягивающее или сжимающее. Являясь полностью подкоренным выражением, его значение всегда положительно. Оно показывает интенсивность действия напряжения, т.е. есть ли в данной точке напряжение или нет. Его значение характеризует среднюю величину всех напряжений, действующих в данной точке [11]. Результаты распределения эквивалентных напряжений $\zeta_{\text{ЭКВ}}$ при совмещенном процессе «РКУ-прессование – волочение» представлены на рисунке 2.

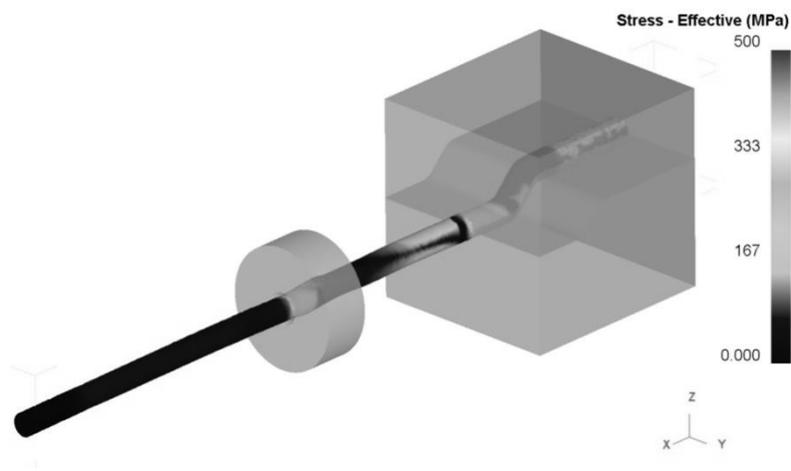


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений

При рассмотрении данного параметра видно, что максимальные значения напряжений при совмещенном способе деформирования «РКУ-прессование – волочение» сосредоточены в зоне стыков каналов матрицы. Здесь напряжение достигает значение $450 \div 470$ МПа. В очаге деформации волокна значение напряжения значительно ниже – около $190 \div 200$ МПа. На участке между матрицей и волоком имеется зона с пониженными значениями напряжений – так называемая зона разгрузки. Здесь значение эквивалентных напряжений при установившемся процессе практически не изменяются, равно $140 \div 150$ МПа и остается примерно на одном уровне с незначительными отклонениями до 4-5%. В зоне волочения (отволоки до переднего конца заготовки) наблюдается равномерное распределение напряжения, равного $80 \div 90$ МПа.

Из работы [12] известно, что знак гидростатического давления характеризует физическое состояние частицы. Когда частица подвергается растягивающему напряжению, гидростатическое давление является положительным, и наоборот, когда частица подвергается сжимающим напряжениям, гидростатическое давление отрицательно. На качество металла (на лучшую проработку структуры и заваривание внутренних дефектов) положительно влияет наличие сжимающих напряжений внутри деформируемого тела, возникающих в процессе его деформирования. Эти напряжения можно охарактеризовать распределением среднего напряжения σ_{cp} (рисунок 3).

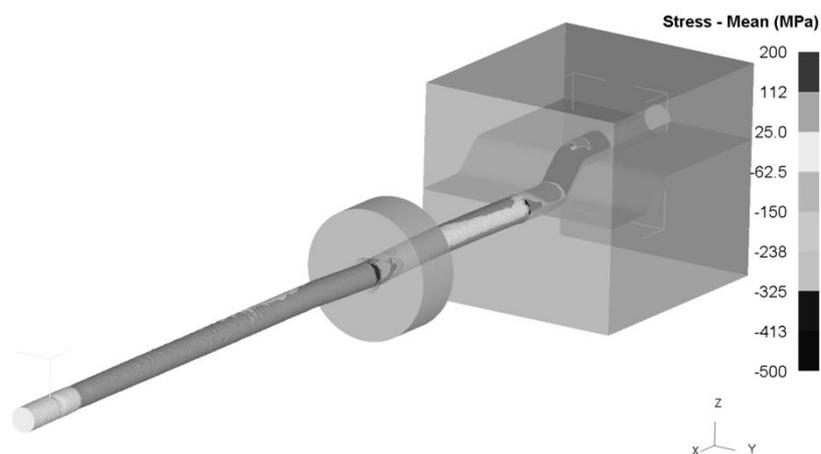


Рисунок 3 – Распределение средних напряжений

Характер распределения средних напряжений показывает, что на протяжении всей матрицы, за исключением небольших зон, преобладают сжимающие напряжения, достигающие значения -450 МПа. На выходе из матрицы в зоне разгрузки также действуют сжимающие напряжения, однако их величина значительно ниже, около -60 МПа. В очаге деформации волокна также преобладают сжимающие напряжения, их величина здесь достигает -280 МПа. Зоны растягивающих напряжений на наклонном канале расположены у верхней стенки, что объясняется повышенным значением коэффициента трения на данном участке, а также действием напряжений изгиба. Здесь их величина достигает 120 МПа. В зоне волочения (отволоки до переднего конца заготовки) наблюдается зона растягивающих напряжений, равных $80 \div 90$ МПа.

Возрастание роли напряжений сжатия в общей схеме напряженного состояния увеличивает пластичность. В условиях резко выраженного всестороннего сжатия является возможным деформировать даже очень хрупкие материалы. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Возрастание роли напряжений растяжения приводит к снижению пластичности. В условиях всестороннего растяжения с малой разностью главных напряжений, когда касательные напряжения малы для начала пластической деформации, даже самые пластичные материалы хрупко разрушаются [13].

Таким образом, схема всестороннего сжатия, обеспечиваемая в большей части матрицы, а также превышение по абсолютному значению сжимающих напряжений над растягивающими, гарантирует отсутствие макро- и микротрещин в металле и благоприятствует максимальной степени пластичности деформируемой заготовки в матрице, а затем и волоке.

При изучении деформированного состояния необходимо не только обеспечить высокий уровень эквивалентной деформации, требуемый для формирования ультрамелкозернистой структуры, но и равномерное распределение этого параметра по сечению заготовки. Поэтому рассмотрение

данного параметра проводилось в двух вариантах – на поверхности заготовки и по осевому сечению (рисунок 4).

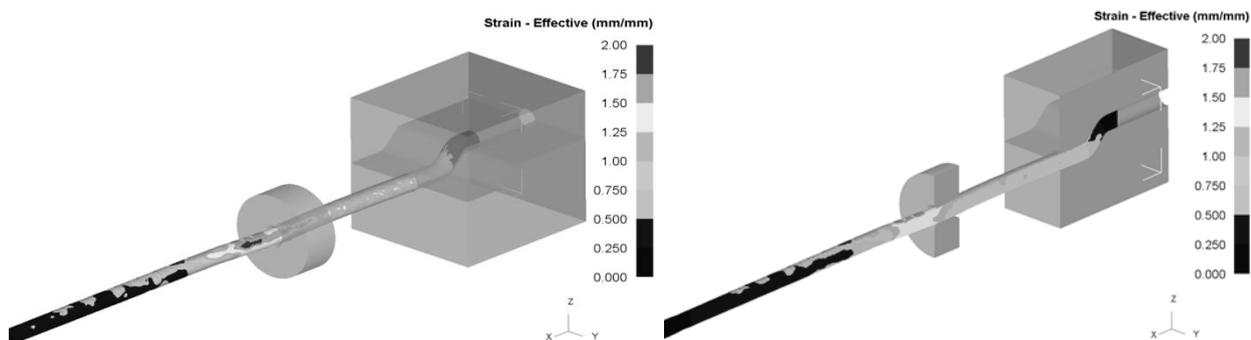


Рисунок 4 – Распределение эквивалентной деформации

В первом очаге деформации в равноканальной ступенчатой матрице заготовка проходит последовательно 2 стыка каналов, где реализуется деформация сдвига. Значение эквивалентной деформации после прохождения первого стыка достигает 0,75 в поверхностных слоях и 0,65 в центральных слоях – здесь разница значений эквивалентной деформации достигает 15%. После прохождения второго стыка значение эквивалентной деформации достигает 1,05 в поверхностных слоях и 0,95 в центральных слоях, т.е. разница значений эквивалентной деформации достигает 11 %. После стадии волочения значение эквивалентной деформации достигает 1,55 в поверхностных слоях и 1,45 в центральных слоях. Таким образом, разница значений эквивалентной деформации снижается с 15 % до 6,5 %.

С учетом того, что схема сдвига повышает интенсивность измельчения исходной структуры, были проведены исследования, оценивающие формирующуюся схему в очагах деформации. В качестве критерия оценки схемы деформации был использован коэффициент Лоде-Надаи. Данный коэффициент позволяет провести оценку природы возникающей деформации в заготовке, т.е. определить, какой тип деформации реализуется в конкретной точке – растяжение, сжатие или сдвиг. Коэффициент Лоде-Надаи был рассчитан по формуле (5) [14]:

$$\mu = 2 \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1, \quad (5)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения, МПа.

Величина коэффициента варьируется от -1 до 1. Значение от 0 до 1 соответствует сжатию; от 0 до -1 соответствует растяжению; значение коэффициента, стремящееся к 0, соответствует сдвигу [14]. Для определения коэффициента Лоде-Надаи на заготовке было создано 70 точек по продольной оси с шагом 5 мм, по которым проводились замеры параметров НДС.

Условно заготовку можно разделить на следующие зоны (рисунок 5):

- 1) зона волочения (точки 1÷27);
- 2) расстояние между зонами стыков каналов в матрице и волоки (точки 28÷48);
- 3) зона стыка каналов в матрице (точки 49÷56);
- 4) хвостовая зона (точки 57÷70).

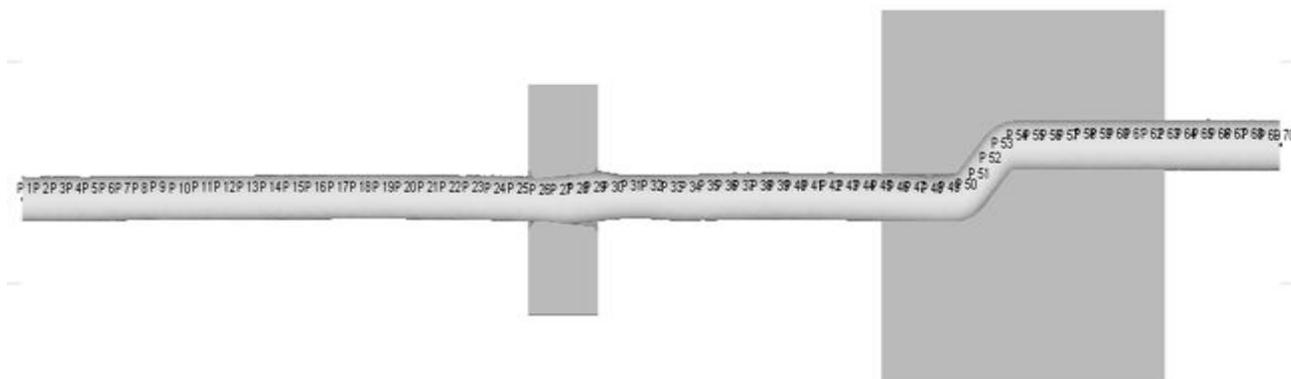


Рисунок 5 – Расположение точек для анализа параметров НДС

При расчете коэффициента Лоде-Надаи были получены следующие результаты (рисунок 6). В первой зоне при прохождении заготовки через канал волоки, в деформируемом металле развивается преимущественно один тип деформации: растяжение ($\mu = -0,9 \div -1$), что является характерным признаком волочения.

Во второй зоне, сразу после очага деформации волоки, характеризующей расстояние между зонами стыков каналов в матрице и волокой, возникает подпор со стороны волоки, даже несмотря на согласование скоростей. В результате растягивающие напряжения значительно снижаются, вплоть до возникновения зон сжатия ($\mu = 0,9 \div 1$), которые действуют примерно до середины зоны. Вторая половина данной зоны характеризуется резким снижением влияния подпора со стороны волоки, т.к. здесь сжимающие напряжения резко снижаются - величина коэффициента Лоде-Надаи снижается до $\mu = 0,2 \div 0,4$.

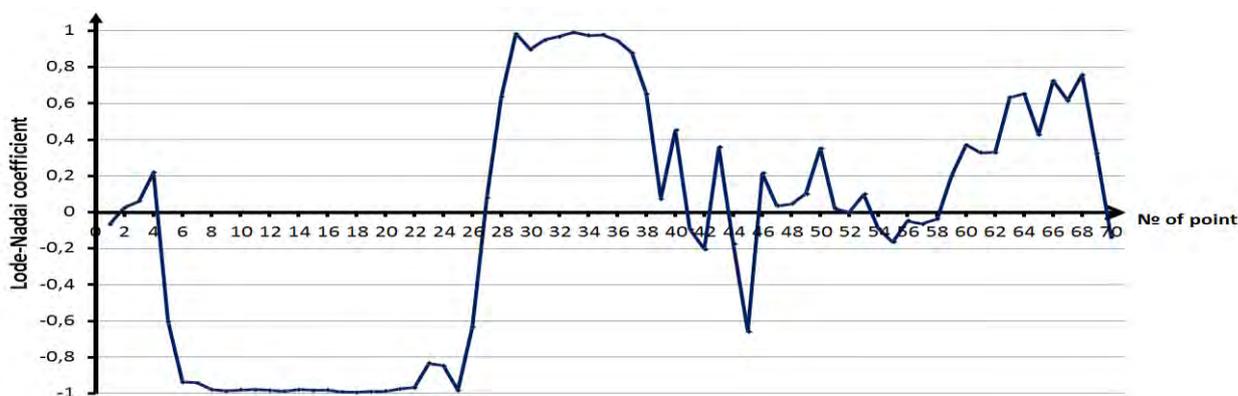


Рисунок 6 – Коэффициент Лоде-Надаи

В третьей зоне, в зоне стыков каналов матрицы, преобладает деформация сдвига ($\mu = 0 \div 0,2$), что является ключевой особенностью РКУ-прессования. В четвертой, хвостовой зоне, возникают деформации сжатия, хотя и не такие интенсивные, как во второй зоне ($\mu = 0,6 \div 0,8$). Это происходит по причине действия заднего подпора на участок заготовки, который находится в матрице лишь частично. В результате, схема всестороннего сжатия возникает лишь на определенной части данной зоны заготовки.

Таким образом, схемы сжатия и сдвига, обеспечиваемые в большей части длины заготовки, гарантируют отсутствие макро- и микротрещин в металле и благоприятствует максимальной степени пластичности деформируемой заготовки.

После получения эффективной модели было принято решение о проведении с помощью программы Deform-3D, а точнее, при помощи его вспомогательного модуля Microstructure-3D, исследований влияния нового совмещенного способа деформирования «РКУ-прессование-волочение» на эволюцию микроструктуры с целью определения необходимого числа циклов деформирования для получения ультрамелкозернистой структуры. Модуль Microstructure-3D позволяет рассматривать эволюцию микроструктуры на каждом шаге деформирования, не прибегая к реальному эксперименту.

После расчета модели были получены следующие результаты эволюции микроструктуры (рисунок 7). После прохождения каналов матрицы за счет реализации сдвиговой деформации происходит измельчение зерна с 20 мкм до 12 мкм. После стадии волочения размер зерна также изменяется, но менее интенсивно – с 12 мкм до 9 мкм.

Во время процесса волочения периферийные слои подвергаются большим деформациям сдвига в продольном направлении, чем центральные. Поэтому после окончания процесса волочения периферийные слои вследствие упругого последствия укорачиваются больше, чем центральные. Целостность металла выравнивает эти укорочения, поэтому неизбежно появление остаточных напряжений, растягивающих в периферийных и сжимающих в центральных слоях сплошного круглого протянутого прутка.

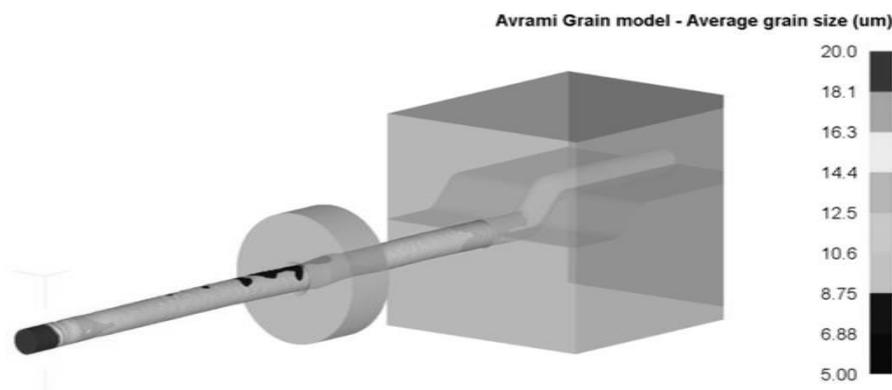


Рисунок 7 – Изменение размера зерна

Центральные слои заготовки во время обеих стадий деформирования прорабатываются менее интенсивно – здесь размер зерна меняется с 20 мкм до 15 мкм после РКУ-прессования и до 13 мкм после волочения. Таким образом, после одного цикла деформирования, разница значений размера зерна между поверхностной и центральной зоной составляет 4 мкм.

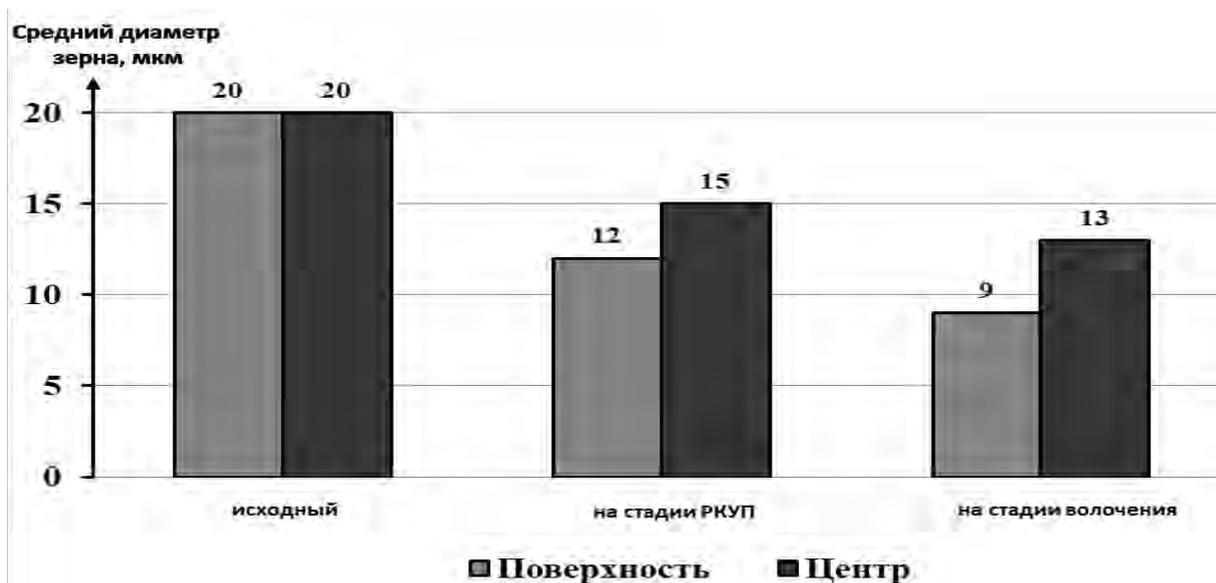


Рисунок 8 – Результаты расчета эволюции микроструктуры

Это позволяет сделать вывод, что при осуществлении данного совмещенного процесса проработка структуры заготовки по сечению осуществляется неравномерно, и для выравнивания свойств по сечению необходимо проводить несколько циклов деформирования.

Многопроходное деформирование осуществлялось при следующих условиях:

- 1-ый проход: заготовка диаметром 7,0 мм проходила через матрицу с диаметром канала 7,0 мм и далее подвергалась волочению через волоку диаметром 6,5 мм;
- 2-ой проход: заготовка диаметром 6,5 мм проходила через матрицу с диаметром канала 6,5 мм и далее подвергалась волочению через волоку диаметром 6,0 мм;
- 3-ий проход: заготовка диаметром 6 мм проходила через матрицу с диаметром канала 6,0 мм и далее подвергалась волочению через волоку диаметром 5,5 мм.

В результате были получены следующие данные (рисунок 9). После второго прохода измельчение зерна уже не такое интенсивное, как в первом проходе. Здесь средний диаметр зерна после РКУП в поверхностной зоне составил 5 мкм, в центральной зоне – 8 мкм, т.е. разница составила 3 мкм. После волочения размер зерна в поверхностной зоне составил 4 мкм, в центральной зоне – 6 мкм - разница составила 2 мкм.

После третьего прохода средний диаметр зерна после РКУП в поверхностной зоне составил 2 мкм, в центральной зоне – 3 мкм, т.е. разница составила лишь 1 мкм. После волочения размер зерна в поверхностной зоне составил 1 мкм, в центральной зоне – 2 мкм – разница также составила 1 мкм.

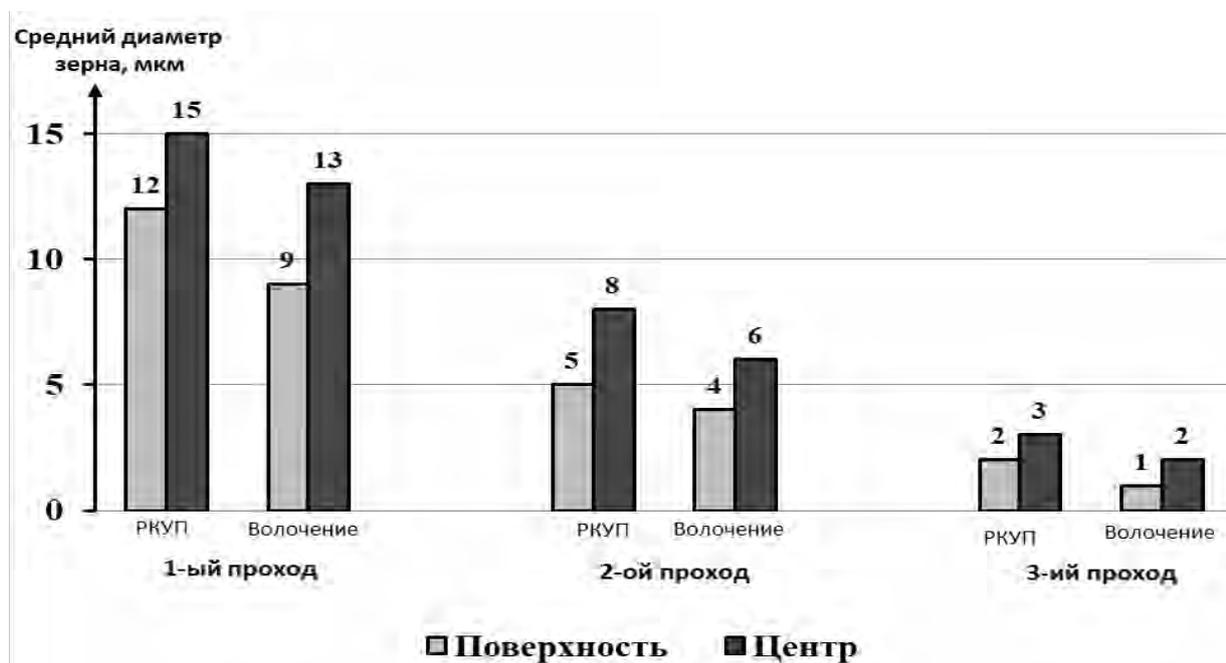


Рисунок 9 – Изменение размера зерна при многопроходном деформировании

Таким образом, в результате изучения модели с несколькими циклами деформирования было выявлено, что с увеличением числа проходов происходит не только общее снижение среднего диаметра зерна, но и постепенное выравнивание данного параметра между центральной и поверхностной зоной.

Вывод: проведенное моделирование нового совмещенного способа деформирования «РКУ-прессование – волочение» показало, что при реализации предлагаемого способа деформирования проволоки за счет совмещения двух отдельных процессов: интенсивной пластической деформации в равноканальной ступенчатой матрице и обычного процесса волочения, реализуется благоприятная схема напряженно-деформированного состояния, позволяющая получать проволоку с ультрамелкозернистой структурой с соблюдением требований по размерам и геометрии.

Список литературы

- 1 Raab, G.I. Plastic flow at equal channel angular processing in parallel channels // Material Science and Engineering A, 2005. – Vol. 410–411. – P. 230–233.
- 2 Сегал, В.М. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М. Сегал, В.И. Резников, В.И. Копылов, Д.А. Павлик, В.Ф. Малышев. – Минск: Наука и техника, 1994.– 232 с.

3 Чукин, М.В. Проектирование инструмента для равноканальной угловой протяжки проволоки / М.В. Чукин, Д.Г. Емалева // Известия ТулГУ. Технические науки, 2014. – №10. – Ч.2. – С.62-67.

4 M.Yu.Murashkin, I. Sabirov, V.U. Kazykhanov. Enhanced mechanical properties and electrical conductivity in ultrafine-grained Al alloy processed via ECAP-PC // Journal of Materials Science, 2013. – Vol. 48(13). – P.4501-4509

5 Lezhnev S., Volokitina I., Koinov T. Research of influence equal channel angular pressing on the microstructure of copper // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2014. V. 49. P.621-630.

6 Chakkingal U., Suriadi A., Thomson P. The development of microstructure and the influence of processing route during equal channel angular drawing of pure aluminum // Materials Science and Engineering. – 1999. – Vol. 266. – P. 241-249.

7 Raab G., Valiev R., Lowe T., Zhu Y. Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP-Conform. Materials Science and Engineering. – 2004. - Vol.382– P. 30-34.

8 A.V. Polyakov, I.P. Semenova, G.I. Raab Peculiarities of ultrafine-grained structure formation in Ti Grade-4 using ECAP-Conform // Advanced Materials Science, 2012. – Vol. 31(1). – P. 78-84.

9 Э.И. Фахретдинова, Г.И. Рааб, Р.З. Валиев. Исследование течения металла в процессе Мульти-РКУП-Конформ // AdvancedEngineeringMaterials, 2015. – Vol.17 (12). – P. 1723–1727.

10 Богатов А.А., Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Лещев И.В., Козлов В.Г. Разработка и исследование совмещенного процесса равноканального углового прессования-волочения// Производство проката, 2016 - №3. - С. 33-38.

11 Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.

12 Алиева Л.И., Огородников В.А. Влияние гидростатического давления и истории его изменения на пластичность в задачах обработки металлов давлением // Известия Тульского государственного университета. – 2014. –Вып. 10, Ч. 1. – С. 118-128.

13 Рааб Г.И., Александров И.В., Будилов И.Н. и др. Влияние технологических факторов на деформированное состояние при равноканальном угловом прессовании. Перспективные технологии физико-химической размерной обработки и формирования эксплуатационных свойств металлов и сплавов: Сборник статей. – Уфа, 2001. – С. 295-301.

14 Сухоруков С. И. Оценка использованного ресурса пластичности при поперечно-клиновой прокатке// Обработка материалов давлением. – Краматорск ДГМА, 2008. – № 1 (19) – С. 39-44.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРЕССИРОВКИ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ
СТАЛЬНОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ТРАВЛЕННОЙ ЛЕНТЫ ИЗ
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ МАРКИ СТАЛИ**

**MODELING OF THE SKIN-PASS ROLLING PROCESS AND STUDYING
THE PROPERTIES FORMATION USING A STEEL HOT-ROLLED STRIP
FROM A HIGH-CARBON STEEL AS EXAMPLE**

*Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Никитенко О.А., Константинов Д.В.
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им.
Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия
fekla_med@mail.ru*

*Golubchik Eduard, Medvedeva Ekaterina, Nikitenko Olga, Konstantinov Dmitrii
Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia
fekla_med@mail.ru*

Аннотация: с целью расширения размерно марочного сортамента горячекатаного металлопроката, специалистами ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» совместно с учеными МГТУ им. Г.И.Носова был разработан процесс производства стальной горячекатаной травленной ленты с «дополнительным» уровнем качества применительно к высокоуглеродистой стали марки 65Г. Данный технологический процесс характеризуется уникальным сочетанием операций термообработки и дрессировки на финишных стадиях производства ленты. В статье приведены результаты изучения влияния финишных операций обработки, в частности прокатки с малыми обжатиями, на формирование конечных свойств ленты.

Ключевые слова: холоднокатаный прокат, горячекатаная лента, термообработка, дрессировка, механические свойства, мультимасштабное моделирование.

Abstract: specialists of PJSC Magnitogorsk Iron & Steel Works in cooperation with Nosov Magnitogorsk State Technical University scientists have developed a technology for the production of hot-rolled pickled steel strip with an –additional” quality level using high-carbon steel as an example in order to expand the range of sizes of hot-rolled metal products. This process is characterized by a unique combination of heat treatment and tempering operations at the finishing stages of the strip production. The article presents the results of studying the influence of finishing processing operations, in particular rolling with small reductions, on the formation of the final properties of the strip.

Key words: cold-rolled mill products, hot-rolled strip, heat treatment, skin-pass rolling, mechanical properties, multi-scale modeling.

Введение

В настоящее время на рынке востребован металлопрокат с нормируемым уровнем комплекса потребительских свойств, включающий нормирование шероховатости поверхности, механических свойств и геометрических параметров. В качестве исследуемого объекта в этой связи может быть рассмотрена горячекатаная полоса, в т.ч. травленая, дрессированная, с высокой точностью изготовления, а также с пониженным уровнем дефектности поверхности. Такая полоса может быть представлена в качестве товарной металлопродукции, как альтернатива холоднокатанному прокату. Области применения такой полосы являются производства с использованием операций холодной штамповки и вырубки деталей автомобилей [1-3].

Имеющийся опыт освоения технологии производства горячекатаной травленной ленты в качестве товарной продукции выявил ряд проблем в части обеспечения нормируемого уровня шероховатости поверхности и достигаемых значений по точности выполнения геометрических параметров. Это связано с ограниченными возможностями технологического воздействия на данные показатели на стадии операции травления [4-5].

Одним из современных направлений в области прокатного производства является разработка и применение усовершенствованных технологических решений для создания инновационной продуктовой линейки горячекатаной ленты. При этом предлагается использование многоступенчатой обработки на стадии финишной отделки, которая сочетает в себе операции термообработки и дрессировки. При этом уровень качества ленты должен быть сформирован по аналогии с регламентируемым стандартами уровнем на холоднокатаный прокат. Операция докритического отжига способствует формированию равновесной однородной структуры, последующая дрессировка – формированию высокой точности изготовления по толщине, обеспечению повышенной плоскостности, устранению площадки текучести, формированию нормируемой чистоты и шероховатости поверхности [6-8].

В связи с этим, одной из актуальных задач проводимых исследований является изучение формирования «дополнительного» уровня качества стальной горячекатаной травленной дрессированной ленты на стадиях финишной обработки.

К настоящему времени проведено множество исследований процесса дрессировки в классическом её применении, т.е. при производстве холоднокатаного или холоднокатаного отожженного металлопроката с учетом накопленной деформации [9-10]. В то же время, влияние процесса дрессировки на свойствообразование горячекатаного проката малоизучено. В статье представлены результаты проведенных исследований высоколегированной стали марки 65Г, как одной из наиболее показательных сталей в плане учета сложных микроструктурных составляющих и их механических свойств, влияющих на формирование конечных эксплуатационных свойств при производстве изделий для автомобильной промышленности. С учетом вышесказанного была разработана инновационная технология производства

горячекатаной травленной дрессированной ленты с возможностью освоения в производственных условиях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Методика проведения исследований

В процессе проводимых исследований учеными ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» была разработана и реализована в производственных условиях ПАО «ММК» новая технологическая схема производства (рисунок 1) стальной горячекатаной травленной ленты толщиной 4,0 мм из стали марки 65Г, химический состав которой представлен в таблице 1. При этом была исключена стадия холодной прокатки, а в качестве финишных технологических операций предложено применение докритического отжига при температуре окончательной выдержки 670°C и дрессировки [11]. Лента предназначена для последующего изготовления детали машин «диск сцепления», требующей значительной износостойкости, а также стойкости к истиранию.

Таблица 1 – Химический состав стали марки 65Г

Массовая доля элементов, %, не более или в диапазоне										
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N	Al	V
0,49-0,55	0,17-0,37	0,60-0,90	0,010	0,020	0,95-1,20	0,20	0,20	0,008	0,025-0,045	0,15-0,20

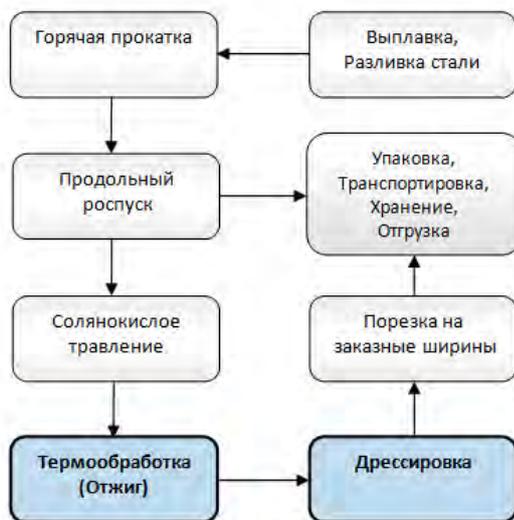


Рисунок 1 – Разработанная технологическая схема производства горячекатаной травленной ленты с применением операций отжига и дрессировки

Металлографический анализ проводили на оптическом микроскопе Axio Observer при увеличениях от 200 до 1000 крат с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO. Микроструктура при увеличениях более 1000 крат исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV во вторичных электронах. Отобранные образцы исходной горячекатаной травленной отожженной стали марки 65Г обладают феррито-цементитной структурой (рисунок 2) со следующим процентным структурно-фазовым составом: 68% цементита, 32% феррита.



Рисунок 2 – Микроструктура отожженной стали марки 65Г

Микротвердость определяли на твердомере Buchler Mikromet методом вдавливания алмазной пирамидки с углом между противоположными гранями 136° в соответствии с ГОСТ 9450-60 при нагрузке 200 грамм и длительности нагружения 10с. Исследование микротвердости производили на исходных отожженных образцах при температурах 600°C , 640°C , 670°C и 700°C и на дрессированных при одинаковой пограничной максимальной степени обжатия в 2,5%.

Для исследования влияния деформационных параметров процессов обработки металла и учет соответствующих изменений его микроструктуры применялась методика компьютерного моделирования с использованием программного комплекса Abaqus. Исследования свойствообразования проводили в НИИ Наносталей при МГТУ им. Г.И. Носова.

Суть мультимасштабного компьютерного моделирования заключается в парном взаимодействии классической макромоделю изотропной среды и модели репрезентативного объема (RVE, Representative Volume Element). Макромодель позволяет оперативно получить распределение исследуемых параметров НДС по всему объему деформируемого тела на макроуровне, а микро модель – произвести анализ поведения конкретного точечного репрезентативного объема под воздействием такой макронагрузки (рисунок 3).

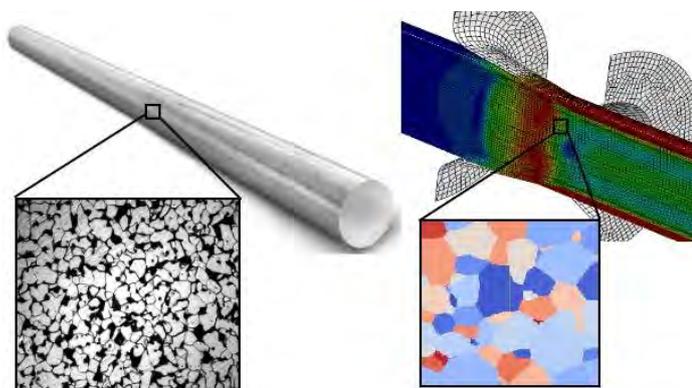
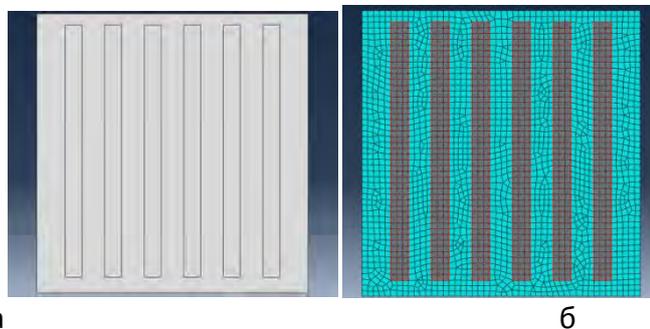


Рисунок 3 - Концептуальная схема мультимасштабного моделирования [12]

Построение макромоделю соответствует традиционному методу создания модели процесса ОМД с изотропным деформируемым материалом. Поэтому

далее описано только построение микромоделей в используемом программном комплексе Abaqus. В подготовленном репрезентативном объеме (рисунок 4а) одинаковые микроструктурные составляющие (феррит и цементит) были объединены в соответствующие группы и сформирован набор конечных элементов сетки для формирования их свойств (рисунок 4б).



а) объединение микроструктурных составляющих – феррит и цементит;
б) КЭ модель с сеткой

Рисунок 4 - Стадии создания репрезентативного объема микроструктуры стали марки 65Г

Результаты исследований и их обсуждение

При исследовании распределения микротвердости от поверхности к центру полосы выявлено, что при варьировании температуры отжига и при одной и той же максимальной степени деформации в 2,5% характер распределения микротвердости по сечению образца достаточно стабильный. В количественном соотношении, операция дрессировки максимально снижает микротвердость отожженной при температуре 670°C ленты примерно на 300 ед..

В результате моделирования процесса дрессировки горячекатаной травленной отожженной ленты были получены распределения осевых продольных деформаций и поперечных напряжений (рисунок 5) и результаты расчета напряжений Мизеса в перлитных колониях (рисунок 6).

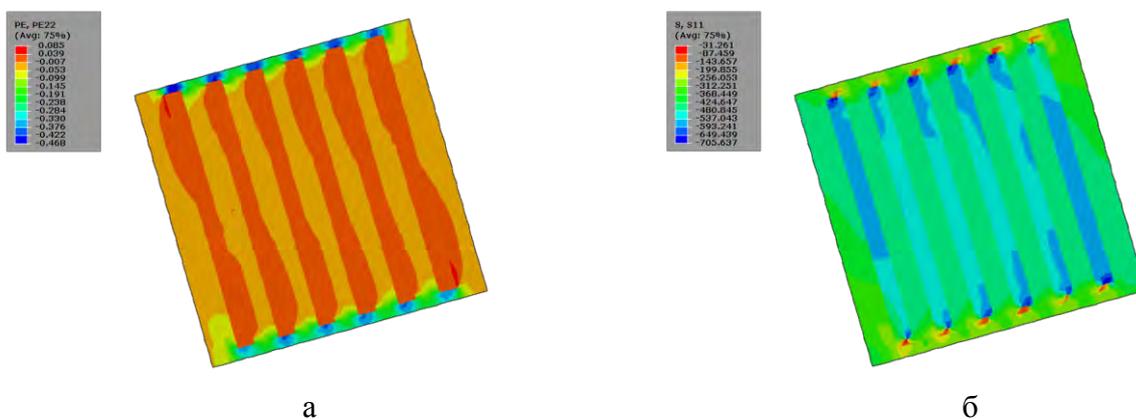


Рисунок 5 - Распределение продольных деформаций (а) и поперечных напряжений (б) в перлитных колониях

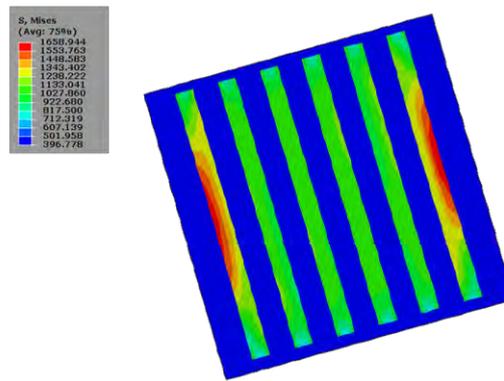


Рисунок 6 - Распределение напряжений Мизеса в перлитных колониях

В результате моделирования процесса дрессировки была установлена трансформация микроструктурных составляющих, заключающаяся в повороте перлитных колоний вдоль оси деформации ленты из высокоуглеродистой стали марки 65Г. Данная особенность способствует сохранению ресурса пластичности металла, что в свою очередь ведет к снижению энергозатрат при последующей переработке материала в готовое изделие.

Для наглядного представления проведенных исследований на электронные фото микроструктуры отожженной стали марки 65Г до и после операции дрессировки было нанесено условное векторное направление расположения перлитных колоний (рисунок 7).

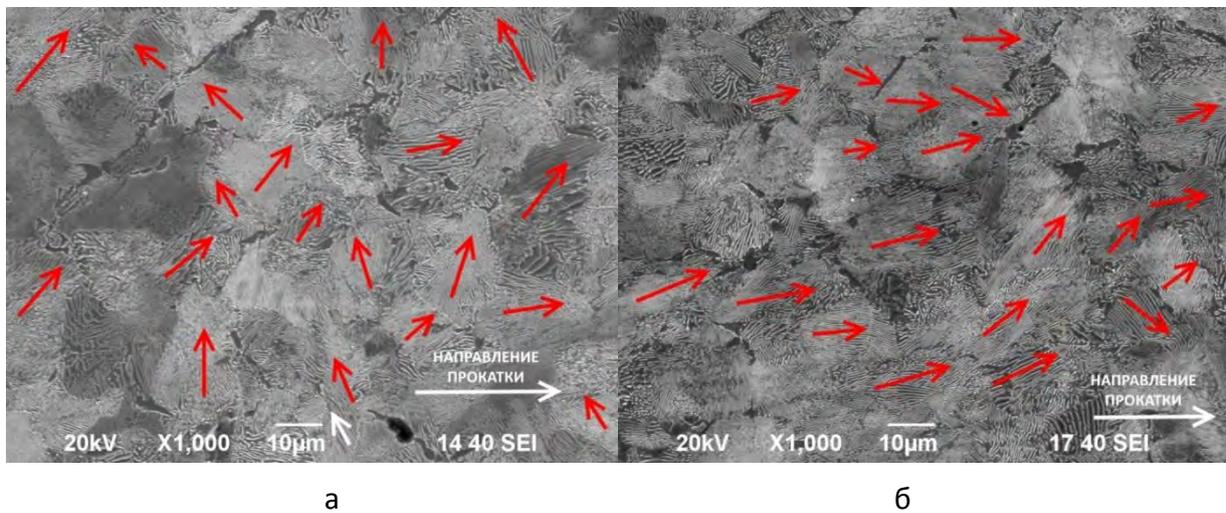


Рисунок 7 – Визуализация результатов мультимасштабного моделирования на микроструктуре отожженного (а) и отожженного дрессированного (б) проката

Визуальный анализ микроструктуры ленты стали марки 65Г до и после операции дрессировки с помощью средств компьютерной графики также подтверждает результаты моделирования, т.е. явно видно изменение в ориентации перлитных колоний по направлению оси деформации.

Выводы

Таким образом, в результате моделирования процесса дрессировки горячекатаной отожженной ленты из высокоуглеродистой стали марки 65Г получены основания для управления её конечными свойствами. Сохранение неизменных размерных параметров микроструктуры (межпластинчатого расстояния), после применения операции дрессировки, позволяет, сохранив ресурс пластичности ленты, сформировать благоприятную ориентацию перлитных колоний. Из этого следует сделать вывод, что на следующих стадиях переработки ленты, в частности при применении операции штамповки, минимизируется возможность образования дефектов за счет снижения количества концентраторов напряжений.

Кроме того, проведенные исследования способствуют освоению ресурсосберегающей технологии производства горячекатаной травленной дрессированной ленты, исключаяющей стадию холодной прокатки.

Список литературы

- 1 Мазур, В.Л. Управление качеством тонколистового проката / Мазур В.Л., Сафьян А.М., Приходько И.Ю., Яценко А.И. - Киев: Техніка, 1997. - 384 с.
- 2 Мазур, В.Л. Производство горячекатаных травленных полос и листов с термической обработкой и без неё /В.Л. Мазур // Производство проката.-2012.- №4. –С. 45 -49.
- 3 Третьяков А.В., Третьяков Е.М., Мигачева Г.Н. Дрессировка и качество тонкого листа. — М.: Металлургия, 1977. — 232 с.
- 4 Голубчик, Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014, №1. (46). С. 63-69.
- 5 Голубчик, Э.М. Особенности технологии производства холоднокатаной ленты для монетной заготовки / Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Смирнов П.Н., Горшков С.Н. // Черные металлы. Специальный выпуск. 2012. С. 61-64.
- 6 Медведева Е.М., Телегин В.Е., Голубчик Э.М. Исследование возможностей инновационной технологии изготовления стальной горячекатаной дрессированной ленты. Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». 2019 Том 75. №2. С. 214 – 222. Рецензируемое издание (№99)
- 7 Голубчик, Э.М. Разработка новой технологии производства травленной дрессированной ленты / Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е. // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: сборник научных статей материалы Международной научно-практической конференции (22-23 декабря 2016 года)/ редкол.: Романенко Д.Н. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т. В 2-х томах, Том 1. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2016. С. 254-258.

8 Голубчик, Э.М. Исследование инновационной технологии производства горячекатаной травленной дрессированной ленты / Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Мартынова Т.Ю. // Обработка сплошных и слоистых материалов. Изд-во: Магнитогорск, 2017. № 1 (46). С. 59-61.

9 Праздников, А.В. Оптимизация режимов дрессировки – важный резерв повышения качества холоднокатаной полосы / А.В. Праздников, И.И. Леера, К.С. Логинова, А.П. Качайлов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1976. – № 5. – С. 68–70.

10 Третьяков А.В., Третьяков Е.М., Мигачева Г.Н. Дрессировка и качество тонкого листа. – М.: Metallurgy. – 1977. – 232 с.

11 Голубчик, Э.М. Исследование возможностей технологии производства горячекатаной травленной ленты с управляемой шероховатостью поверхности / Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Шебаршова И.М., Севастьянов А.С. // Производство проката. 2014. №11. С.11 – 15.

12 Константинов, Д.В. Мультимасштабное компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением / Д.В. Константинов, А.Г. Корчунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. - №1. - С. 36-43.

УДК 621.735.3

КОМПЬЮТЕРНОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

COMPUTATIONAL AND PHYSICAL MODELING OF THE UPSETTING PROCESS BY A COMBINED TOOL

Марков О.Е., Алиев И.С., Алиева Л.И., Грудкина Н.С.

*Донбасская государственная машиностроительная академия, Краматорск,
Украина*

oleg.markov.omd@gmail.com

Markov O.E., Aliiev I.S., Aliieva L.I., Hrudkina N.S.

Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

oleg.markov.omd@gmail.com

Аннотация: В статье исследовано напряженно-деформированное состояние и изменение размеров осевого дефекта в процессе осадки. Было проведено теоретическое исследование на основе FEM. Осаживались стальные цилиндрические заготовки с осевым дефектом, равным 10% от диаметра заготовки. Осадка производилась с использованием плоских, вогнутых и выпуклых плит (с отверстием или без). Результат исследований позволил установить, что основное влияние на форму заготовки оказывает соотношение размеров заготовки. Максимальное закрытие осевого дефекта обеспечивает осадка плоскими плитами без отверстия для заготовок с соотношением

$H/D < 1,5$. Осадка выпуклыми плитами обеспечивает равномерное напряженно-деформированное состояние в поперечном сечении заготовки. Отверстие в плитах увеличивает неравномерность распределения деформации, а также не обеспечивает закрытие осевых дефектов.

Ключевые слова: ковка, слиток, моделирование, деформации, напряжения, осадка, МКЭ, дефект, плиты.

Abstract: The stress-strain state and the resize of an axial defect during upsetting have been investigated in the article. Theoretical research based on a FEM has been conducted. The upsetting of cylindrical steel workpieces with the axial defect equal to 10 % of the diameter of the workpiece was simulated. Upsetting involves the use of flat, concave and convex plates (with or without hole). The result of the studies showed that the main influence on the shape of the workpiece had a ratio of dimensions. The maximal closure of the axial defect provides upsetting by flat plates without a hole for workpieces with ratio $H/D < 1.5$. Convex plates provide a relatively uniform stress-strain state along the workpiece cross section. The hole in plates increases the non-uniformity of strain distribution and does not provide the closure of axial defects.

Key words: forging, ingot, modeling, stress, strain, upsetting, fem, defect, plates.

Основной задачей тяжелого машиностроения является получение качественных заготовок для деталей ответственного назначения. Особенно это относится к крупным поковкам, которые изготавливаются ковкой слитков [1]. Задачаковки в данном случае заключается не только в получении заданной формы поковки, но и заваривании внутренних дефектов и повышении механических свойств металла из которого она изготовлена [2-4]. После анализа существующих способовковки крупных поковок из слитков, было установлено, что около 80...90% технологических процессовковки предусматривают применение операции осадки. Эта операция применяется для увеличения размеров исходной заготовки, повышения коэффициента укова, проработки литой структуры и закрытия внутренних дефектов слитка. Осадка при ковке валов и плит не является формообразующей, а применяется, как вспомогательная операция для получения требуемых размеров поковки (например, бочки вала или требуемой ширины плиты). Операция осадка – это самая энергоемкая и трудоемкая операция, которая требует дополнительного подогрева заготовки, смены инструмента и затрат энергии на деформирование. Это повышает себестоимость поковок и снижает производительность процессовковки. В литературе можно встретить противоречивые данные по вопросу повышения качества поковок применением операции осадки [5–8]. Некоторые из исследователей утверждают, что применение операции осадки повышает качество крупных поковок, другие доказывают наоборот, что качество понижается. Существует большое разнообразие способов осадки, все они основаны на применении специального инструмента, который позволяет

изменить течение металла и распределение деформаций в объеме заготовки [9;10].

Основным дефектом кузнечного слитка является осевая рыхлость (рисунок 1). Последовательность и назначение кузнечных операций должны обеспечивать заваривание этого дефекта. Устранение этого дефекта состоит из уменьшения размеров осевого дефекта (закрытие) и обеспечение достаточного уровня сжимающих напряжений при температурековки для заваривания пустот. Максимальные размеры осевой рыхлости могут составлять до 10 % от диаметра слитка.

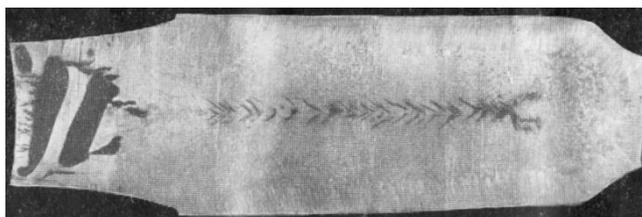
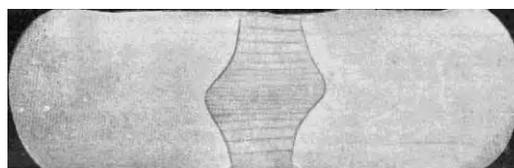
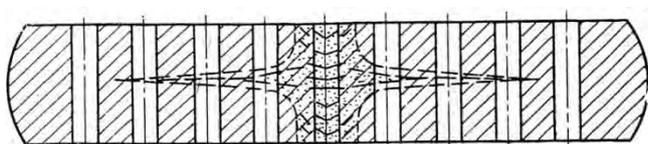


Рисунок 1 - Осевая рыхлость в кузнечных слитках

Результаты ультразвукового контроля крупных поковок, полученных с использованием операции осадки, показывают наличие внутренних дефектов. Эти дефекты располагаются отдельно или в виде скоплений. Для дисков эти дефекты располагаются на середине высоты поковки. Эти дефекты могут быть вызваны неблагоприятным напряженно-деформированным состоянием при осадке и увеличением дефектной осевой зоны слитка [11; 12]. В процессе осадки цилиндрической заготовки возникает неравномерность распределения деформаций. В этом случае течение металла на контактных поверхностях отсутствует, а максимальное течение металла происходит на середине высоты осаживаемой заготовки в радиальном направлении. Это приводит к появлению в этой зоне растягивающих деформаций и раскрытию внутренних дефектов. Раскрытие осевых дефектов слитка (рисунок 2 а) в средней части поковки приводит к снижению качества детали после механической обработки [13, 14]. Также было установлено, что при осадке на 50% заготовок с отношением $H / D = 2,0$ происходит раскрытие искусственных осевых дефектов (рисунок 2, б; 3).

На изменение размеров осевого дефекта в процессе осадки влияют следующие основные факторы: соотношение размеров исходной цилиндрической заготовки (H / D), степень деформации и геометрия осадочных плит.

Цель работы – установить влияние операции осадки плоскими, вогнутыми и выпуклыми плитами заготовок с различным отношением H / D на напряженно-деформированное состояние и закрытие осевых дефектов для разработки эффективного способа деформирования.



а) б)
Рисунок 2 - Дефекты осевой зоны дисков после осадки

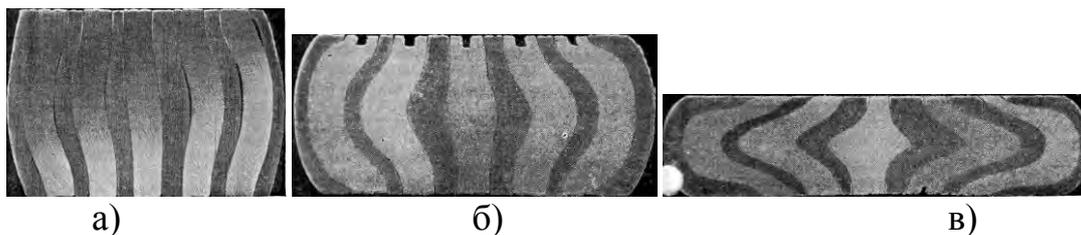


Рисунок 3 - Формоизменение внутренних слоёв заготовки после осадке на 20 % (а), 40 % (б), 60 % (в)

Теоретическое исследование изменения осевого дефекта при осадке проводилось с применением программного продукта QForm 2D (лицензия № U1221). Результатами расчёта являются распределение деформаций и напряжений в теле заготовки, изменение формы и относительного диаметра осевого дефекта (d / d_0) в процессе осадки [15 – 18].

Методика проведения теоретических исследований. Материал заготовки – сталь 34ХНМ, температурный интервалковки 1200...800°С, модуль Юнга 200000 МПа, коэффициент Пуассона 0,3. Исследуемая схема осадки представлена на рисунке 4. В исследовании использовались заготовки цилиндрические стальные модели с осевым отверстием (искусственный дефект), который моделировал осевую рыхлость. Диаметр заготовки $D = 1000$ мм, а диаметр осевого отверстия $d_0 = 100$ мм (10% от диаметра заготовки). Относительная высота заготовок варьировалась в пределах: $H / D = 0,75$ – низкие заготовки, $H / D = 1,5$ – средние заготовки, $H / D = 2,25$ – высокие заготовки. Заготовки осаживались различными плитами: выпуклые (угол $\alpha = 135^\circ$), плоские ($\alpha = 180^\circ$) и вогнутые ($\alpha = 225^\circ$), сплошными и с осевым отверстием (рисунок 4 а, б, в, соответственно). Диаметр отверстий в плитах составляет 0 (сплошная плита), 0,35D и 0,7D (D – диаметр заготовки). Температура инструмента 40°С. Степень деформации заготовки была постоянна и составляла 50 %, как рекомендуемая величина для осадки слитков.

Для определения зависимости изменения относительного диаметра осевого дефекта (d / d_0) было выполнено планирование математического эксперимента (таблица 1). Исследовалось влияние трёх факторов: угол конусности осадочных плит (X1), относительная высота заготовки (X2) и диаметр отверстия в осадочных плитах (X3). Эти факторы варьировались на трёх уровнях, в результате получили 27 схем для исследования.

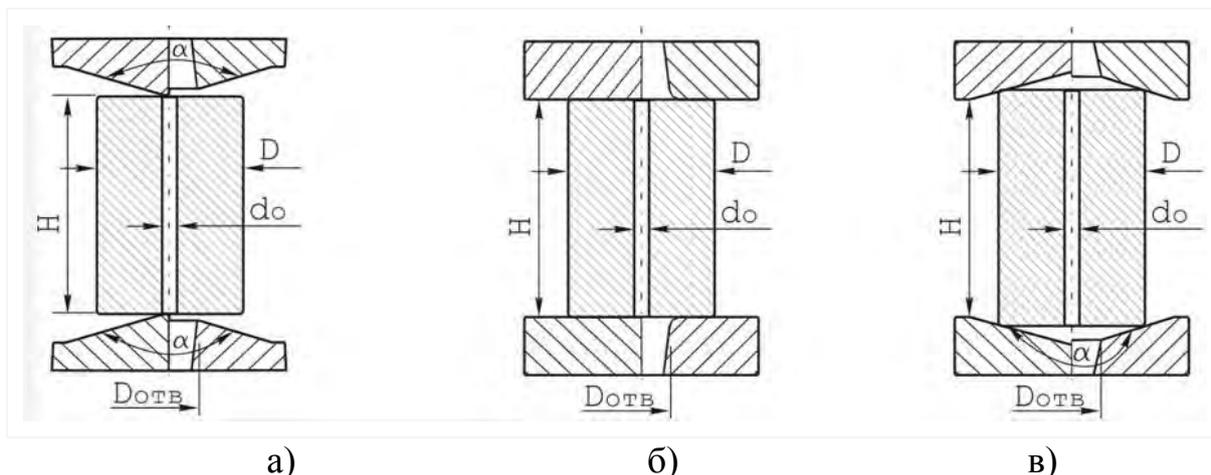


Рисунок 4 - Схема осадки выпуклыми (а), плоскими (б) и вогнутыми (в) плитами сплошными (левая половина) и с отверстием (правая половина)

Таблица 1 - Уровни факторов математического эксперимента

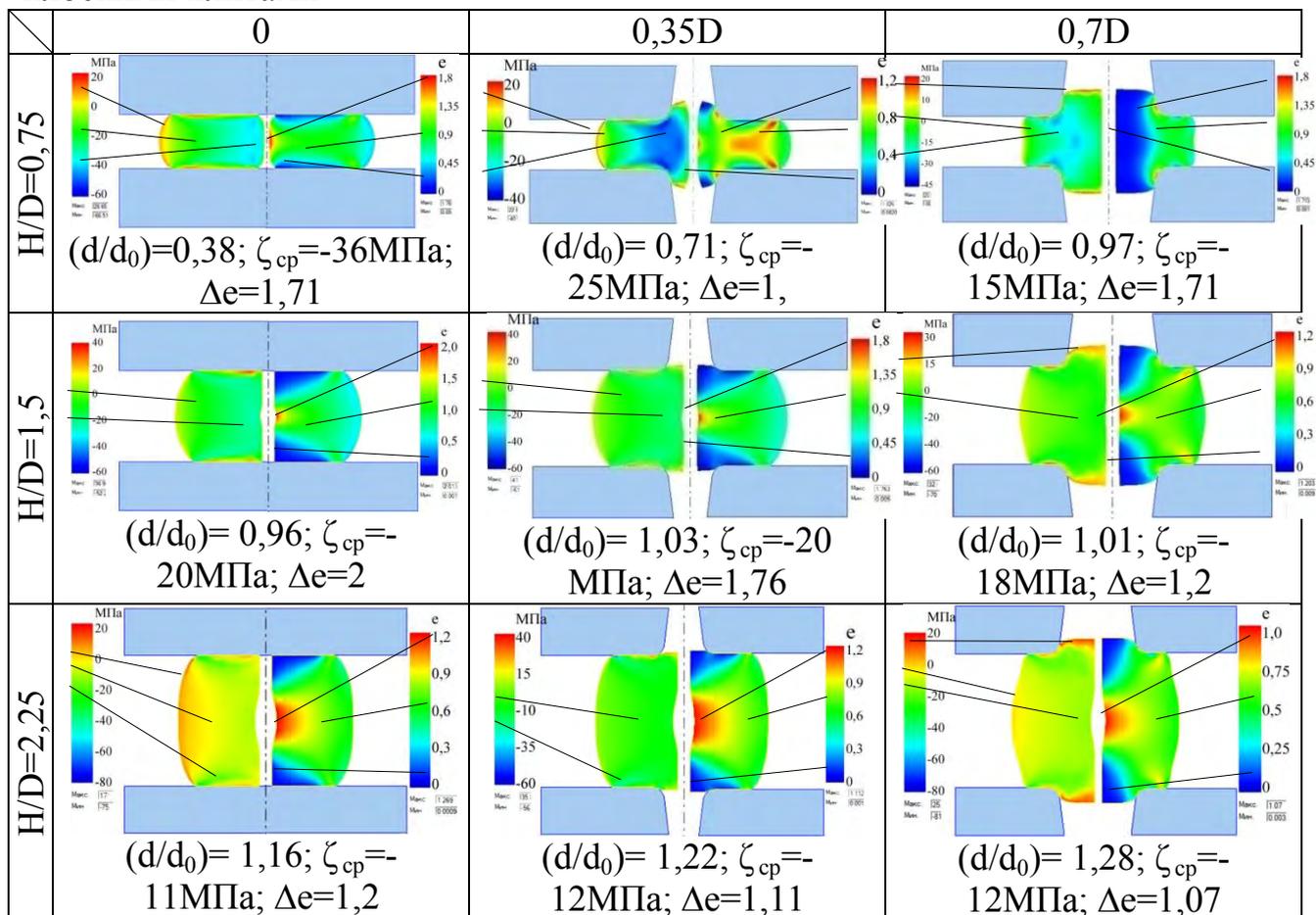
Интервал варьирования и уровни факторов	Факторы		
	$\alpha, ^\circ$	H / D	D _{отв} / D
Первый уровень, $x_i = +1$	225	2,25	0,7
Интервал варьирования, Δx_i	45	0,75	0,35
Второй уровень, $x_i = 0$	180	1,5	0,35
Третий уровень, $x_i = -1$	135	0,75	0
Кодовое обозначение	X1	X2	X3

Осадка плоскими плитами. Этот способ широко распространен в процессахковки слитков. Поэтому исследования и анализ влияния геометрии инструмента на напряженно-деформированное состояние металла заготовки целесообразно начать с этой схемы деформирования для сравнения новых способов осадки с традиционным процессом. В таблице 2 представлены результаты распределения интенсивности логарифмических деформаций (правая половина заготовки) и распределение средних напряжений (левая половина заготовки) для соотношений H / D: 0,75 (верхняя строка); 1,5 (средняя строка); 2,25 (нижняя строка). Было установлено, что после осадки низких заготовок дефект закрывается на 62 %, средних заготовок – практически не меняется, а высоких заготовок – становится больше исходного на 16 %. Данные результаты можно объяснить напряженным состоянием в осевой зоне.

В процессе осадки низких заготовок в осевой зоне возникает более высокий уровень сжимающих напряжений ($\zeta_{cp} = -36$ МПа), чем для средних и высоких заготовок соответственно ($\zeta_{cp} = -20$ МПа и $\zeta_{cp} = -11$ МПа). Анализ деформированного состояния (таблица 2; 1-й столбец справа) показывает, что при осадке низких заготовок площадь недеформированной зоны в 1,7 раза меньше, чем у средних и высоких заготовок, но у высоких заготовок неравномерность распределения деформаций ($\Delta e = e_{max} - e_{min}$) в 1,4 раза меньше. Максимальные деформации локализуются в центральной по высоте зоне заготовки, и в этом месте происходит раскрытие осевого дефекта.

Полученные результаты по распределению деформаций при осадке совпадают с данными других исследователей [19].

Таблица 2 - Распределение средних напряжений и деформаций для схем осадки плоскими плитами



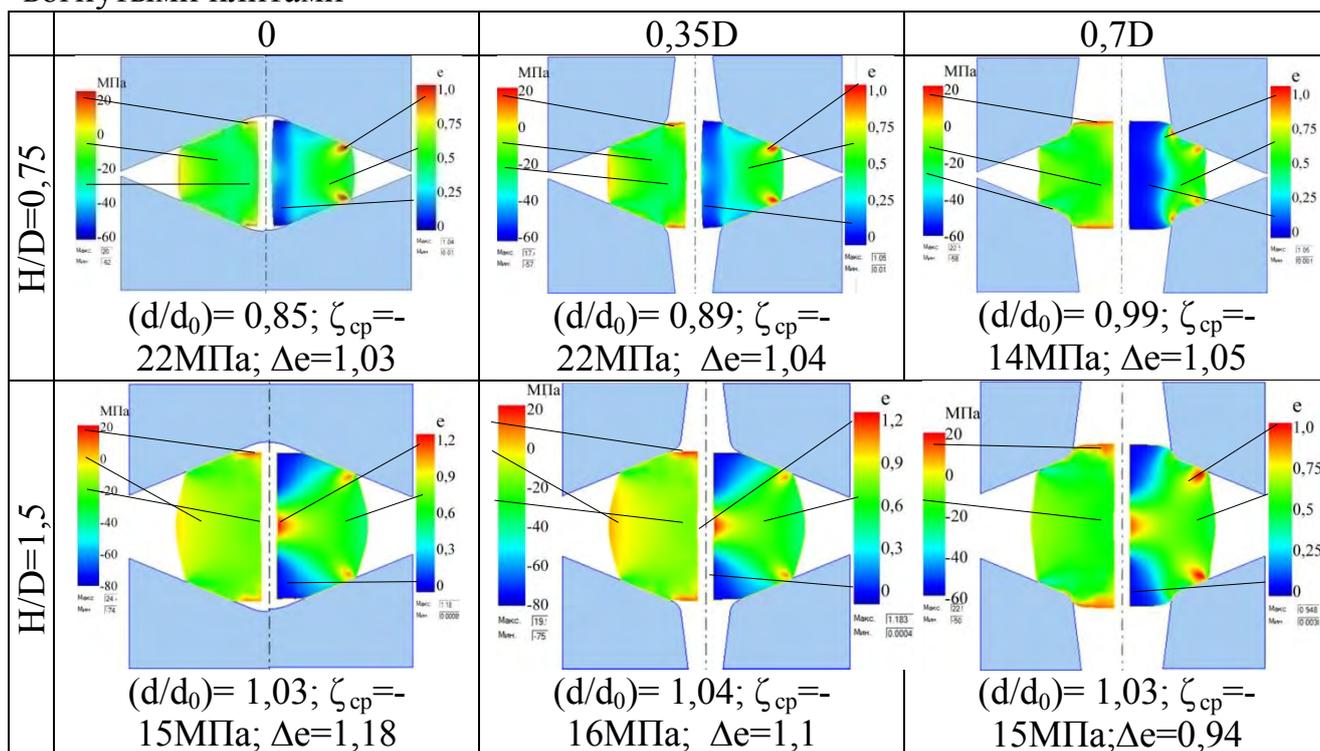
После осадки плитами с осевым отверстием, равным 0,35D и 0,7D (второй и третий столбцы таблицы 2), происходит раскрытие осевого дефекта ($d/d_0 > 1$), особенно в процессе осадки средних и высоких заготовок. Это объясняется тем, что средние напряжения в зоне расположения осевого дефекта, которые возникают в процессе осадки низких заготовок в 1,5...2,5 раза меньше, чем при осадке сплошными плитами, а также локализацией максимальных деформаций в месте раскрытия дефекта. В процессе осадки низких заготовок с максимальным диаметром отверстия в плитах 0,7D металл в центральной зоне на всей высоте заготовки не деформируется, поэтому размеры осевого дефекта остаются без изменений. Если диаметр отверстия составляет 0,35D, то пластическая деформация возникает в осевой зоне, что приводит к частичному закрытию дефекта ($d/d_0 = 0,71$) в процессе осадки низких заготовок и увеличению размеров дефекта ($d/d_0 > 1,0$) в процессе осадки высоких заготовок.

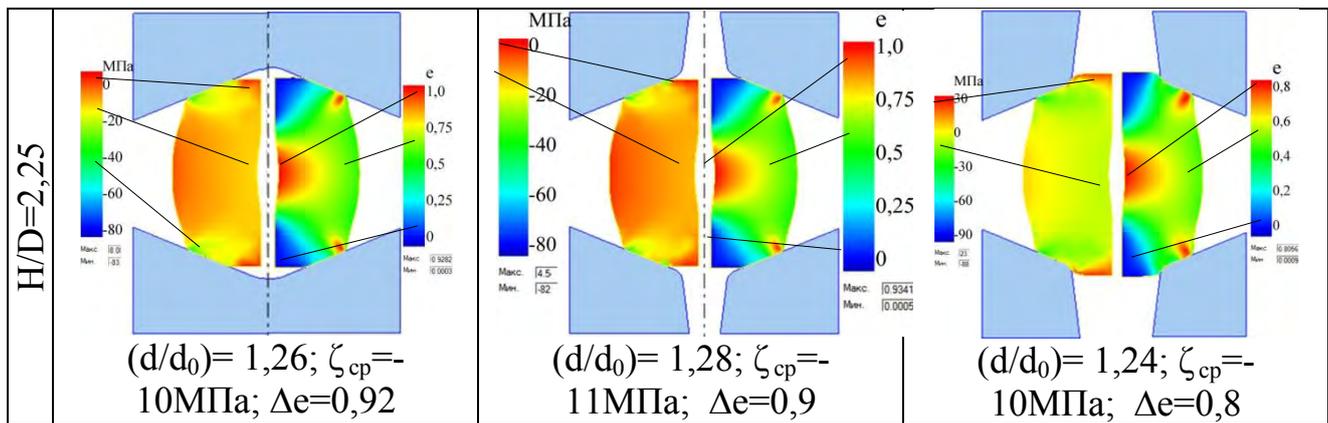
Осадка заготовок вогнутыми плитами. Осадка вогнутыми плитами с отверстием является малоисследованным способом, который на сегодняшний день продолжает изучаться. В процессе осадки низких заготовок дефект

закрывается на 15 %, средних – практически не изменяется, авысоких – увеличивается на 26 %. Полученные результаты объясняются напряженным состоянием в осевой зоне – средние напряжения в этом случае имеют знак «минус» при осадке низких заготовок (таблица 3). Это указывает на преобладание сжимающих напряжений, которые способствуют закрытию осевого дефекта.

В процессе осадки низких заготовок в осевой зоне возникает более высокий уровень сжимающих напряжений ($\zeta_{cp} = -22$ МПа), чем для средних и высоких заготовок ($\zeta_{cp} = -15$ МПа и $\zeta_{cp} = -10$ МПа, соответственно). Максимальные деформации локализуются в центральной по высоте зоне, что также способствует раскрытию внутреннего дефекта, за исключением способа осадки низких заготовок ($H/D = 0,75$). Распределение деформаций при осадке низких заготовок вогнутыми плитами отличается от схемы осадки плоскими плитами. В этом случае максимальные деформации локализуются на кромках контакта заготовки с инструментом.

Таблица 3 - Распределение средних напряжений и деформаций для схем осадки вогнутыми плитами





Отверстие в плитах диаметром, равным 0,35D и 0,7D (второй и третий столбец таблицы 3), не обеспечивает закрытия осевого дефекта в заготовках. Средний диаметр дефекта не уменьшается, как и для плит без отверстия, особенно при осадке средних и высоких заготовок ($d/d_0 > 1$). Это формоизменение дефекта сопровождается низким уровнем средних напряжений в осевой зоне для схем осадки плитами с отверстием. При осадке низких заготовок плитами с отверстиями 0,35D и 0,7D металл в центральной зоне на всей высоте заготовки не деформируется, поэтому размеры осевого дефекта не изменяются, что приводит к частичному закрытию осевого дефекта ($d/d_0 = 0,89$) для низких заготовок и раскрытию ($d/d_0 > 1,0$) для высоких заготовок, в центральной по высоте зоне.

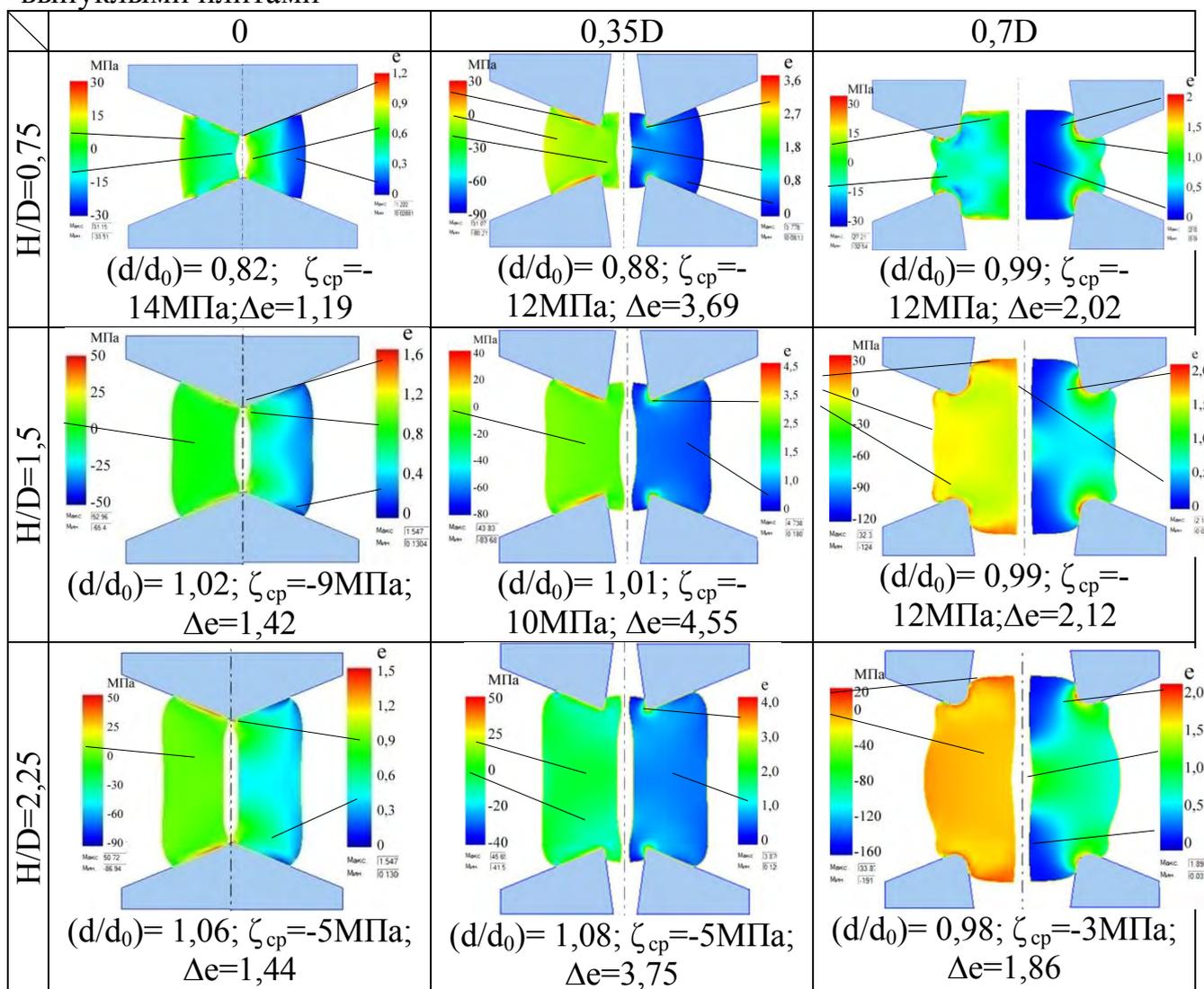
Осадка выпуклыми плитами. Ограничением способа осадки плоскими плитами является образование значительной зоны затрудненной деформации на торцах поковки. Уровень деформаций на торцах поковки можно повысить за счет осадки выпуклыми осадочными плитами. В этом случае уменьшается бочкообразность заготовки за счет изменения схемы напряженно-деформированного состояния. В процессе осадки низких заготовок ($H/D = 0,75$) выпуклыми плитами сплошными и с отверстием 0,35D (табл. 4) происходит незначительное закрытие дефекта ($d/d_0 = 0,82$). Увеличение диаметра отверстия в плите до 0,7D не приводит к изменению среднего диаметра осевого дефекта. В процессе осадки низких заготовок сплошными плитами в центральной зоне заготовки средние напряжения имеют наибольшее отрицательное значение ($\zeta_{cp} = -14$ МПа), но этот уровень на 60 % меньше, чем при осадке плоскими плитами.

Для схемы осадки выпуклыми плитами с отверстием 0,35D возникают сжимающие напряжения в верхней и нижней частях осевой зоны заготовки ($\zeta_{cp} = -12$ МПа). Максимальные значения растягивающих напряжений возникают в местах контакта заготовки с инструментом. Это объясняется увеличением контактной поверхности заготовки. Для схемы осадки с отверстием в плите 0,7D характерна концентрация сжимающих напряжений в зонах появления максимальных деформаций (краюк выступов плит), при этом $\zeta_{cp} = -12$ МПа. Высокая равномерность распределения деформаций при осадке выпуклыми сплошными плитами ($\Delta e = 1,19$) способствует лучшей проработке центральной зоны заготовки. Отверстие в плите увеличивает неравномерность распределения деформаций ($\Delta e = 3,69$). При увеличении диаметра отверстия в

осадочной плите наибольшую деформацию получает боковая зона заготовки ($\Delta\epsilon = 2,02$) с образованием двойной бочки.

В процессе осадки средних заготовок ($H/D = 1,5$) сплошными плитами и с отверстием $0,35D$ происходит незначительное закрытие осевого дефекта в верхней и нижней частях, но при этом отсутствует закрытие дефекта в центральной части. Значительного изменения диаметра осевого дефекта при осадке плитами с отверстием $0,7D$ не происходит. Напряженное состояние при осадке средних заготовок равномерное, за исключением схемы с использованием плит с отверстием $0,7D$. В этом случае возникает незначительная концентрация сжимающих напряжений в центре заготовки.

Таблица 4 - Распределение средних напряжений и деформаций для схем осадки выпуклыми плитами



Анализ деформированного состояния при осадке средних заготовок ($H/D = 1,5$) позволил установить, что с применением выпуклых сплошных плит деформированная зона локализуется в центре заготовки, а с применением плит с отверстием $0,7D$ – вблизи боковой зоны с образованием тройной бочки. В процессе осадки высоких заготовок ($H/D = 2,25$) выпуклыми сплошными

плитами средний диаметр осевого дефекта в торцевых зонах уменьшается, а в центральной зоне – увеличивается. Процесс осадки с использованием инструмента с осевым отверстием $0,7D$ отличается от предыдущих схем низким уровнем сжимающих напряжений в объеме заготовки. Деформированное состояние этих схем характеризуется недеформированными зонами металла, которые затекают в отверстие выпуклых плит.

На основании проведенных исследований была установлена регрессионная модель, которая позволяет определить относительный диаметр осевого дефекта при осадке заготовок с H/D в диапазоне $0,75...2,25$ коническими выпукло-вогнутыми плитами с углом $135...225^\circ$ и осевым отверстием, диаметром $0...0,7$ от диаметра заготовки:

$$d/d_0 = 1.04 + 0.26 \cdot X_2 - 0.12 \cdot X_1^2 \cdot X_2^2 \cdot X_3 + 0.15 \cdot X_2^2 \cdot X_3 - 0.12 \cdot X_1^2 \cdot X_2 - 0.12 \cdot X_2 \cdot X_3,$$

где $X_1 = \frac{\alpha - 180}{45}$, $X_2 = \frac{H/D - 1.5}{0.75}$, $X_3 = \frac{D_{\text{отв}}/D - 0.35}{0.35}$.

Полученная модель, графически представлена на рисунке 5. Анализ полученных результатов позволяет установить рациональные параметры инструмента и размеры заготовок, способствующие закрытию осевых дефектов кузнечного слитка в процессе осадки. Максимальное закрытие осевого дефекта (на 60 %) происходит в процессе осадки заготовок с $H/D = 0,75$ плоскими плитами ($\alpha = 180^\circ$) (рисунок 5, а). Эти параметры являются рекомендациями для выбора соотношений размеров исходной заготовки (слитка) и формы осадочных плит при ковке крупных заготовок с применением операции осадки.

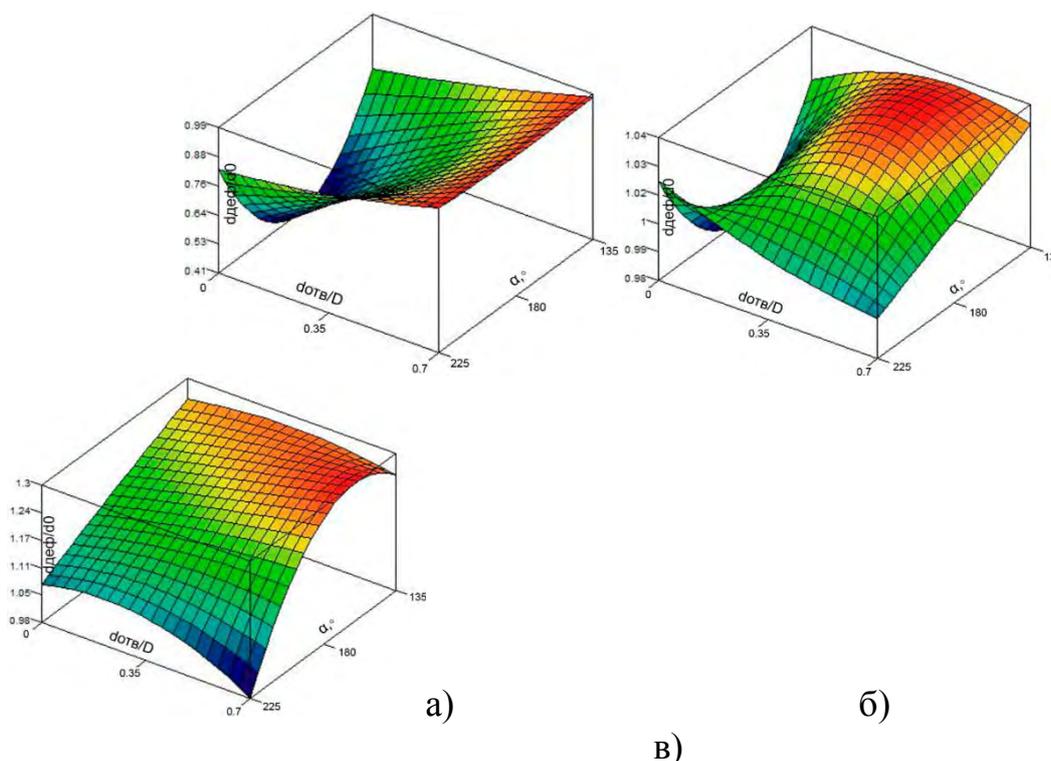


Рисунок 5 - Изменение размеров осевого дефекта после осадки на 50% низких $H/D=0,75$ (а), средних $H/D=1,5$ (б) и высоких $H/D=2,25$ (в) заготовок

Экспериментальная проверка и сопоставление дефектообразования при осадке с теоретическими исследованиями. После проведения теоретических исследований была определена схема осадки с наибольшей степенью закрытия осевого дефекта. Для проверки достоверности полученных результатов необходимо провести экспериментальное исследование изменения размеров осевого дефекта в процессе осадки цилиндрических заготовок плоскими плитами [18–20].

В процессе экспериментального исследования сложно определить размеры осевого дефекта заготовки, которая подвергается деформированию (осадке). Установить изменение объема осевого дефекта без разрушения заготовки в процессе осадки можно по результатам вытесненной жидкости, которой заполнен осевой дефект. Степень закрытия дефекта производили на основании изменения среднего диаметра осевого отверстия, вычисленного через текущие объем дефекта и высоту заготовки. Для этого разработана специальная методика проведения исследования и экспериментальная установка. В свинцовых заготовках с H/D , равным 1,0; 2,0 и 3,0, выполнялось отверстие диаметром 10 % от диаметра заготовки. К отверстию подключалась мерная бюретка посредством резиновой трубки (рисунок 6, а). Высверленное отверстие наполнялось водой (рисунок 6, б), затем производилась поэтапная осадка с шагом 10 %. По результатам вытесненной жидкости из осевого дефекта заготовки в процессе осадки определялся объем дефекта и его средний диаметр.

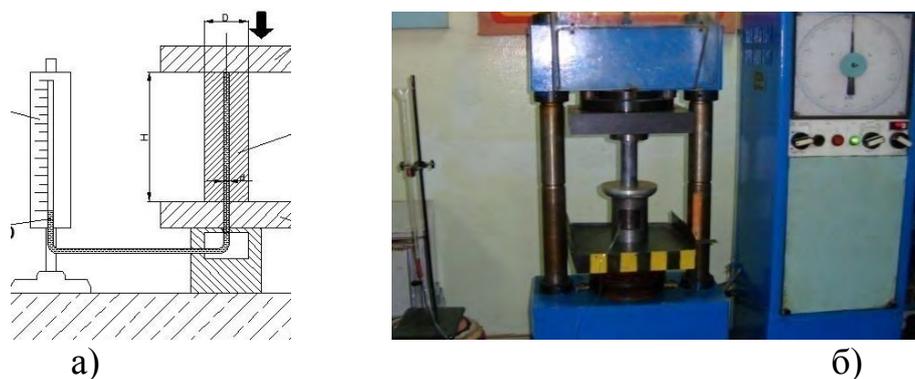


Рисунок 6 - Схема оснастки (а) и экспериментальная установка (б)

В результате исследований было установлено, что при осадке низких заготовок ($H/D = 1,0$) плоскими плитами уменьшения диаметра осевого дефекта происходит после осадки на 30 % (рисунок 7). Полученные результаты количественно совпадают с теоретическими исследованиями с максимальным расхождением ≈ 15 %. В процессе осадки средних заготовок ($H/D = 2,0$) относительный диаметр дефекта остается неизменным до степени деформации 35 %. При степени осадки более 60 % дефект закрывается на 30 %. В этом

случае закрытие происходит не так интенсивно, как в процессе осадки низких заготовок, что совпадает с теоретическими исследованиями. Для данной схемы расхождение экспериментальных данных и результатов, полученных с помощью QForm 2D, не превышает 15 % (рисунок 8). В процессе осадки высоких заготовок увеличивается относительный диаметр дефекта до степени деформации 60 % (рисунок 9).

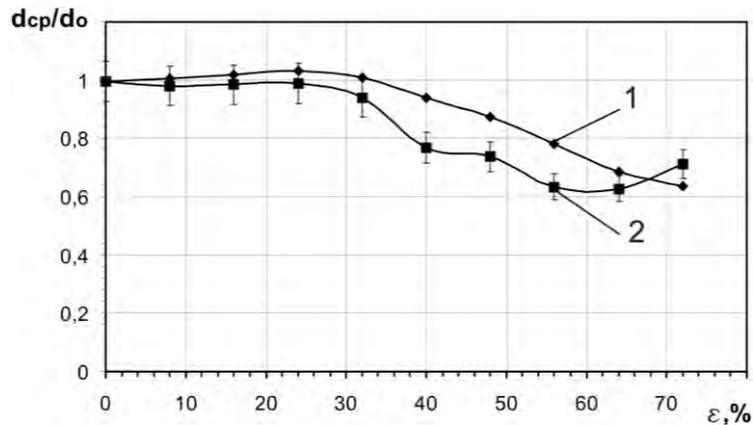


Рисунок 7 - Изменение относительного среднего диаметра осевого дефекта в процессе осадки низких $H / D = 1,0$ заготовок при теоретическом (1) экспериментальном (2) и исследованиях

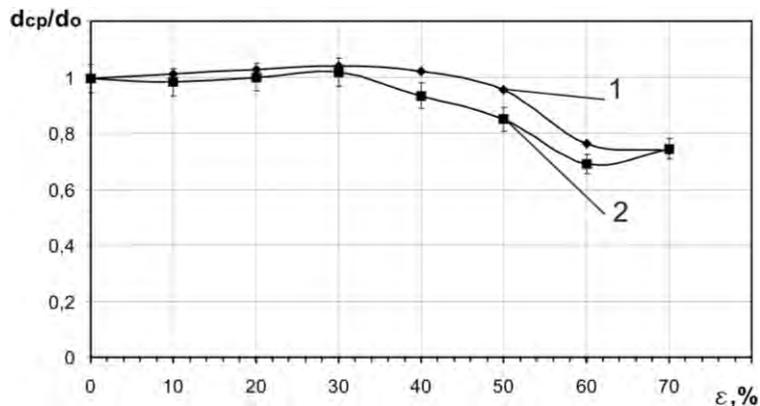


Рисунок 8 - Изменение относительного среднего диаметра осевого дефекта в процессе осадки средних $H / D = 2,0$ заготовок при теоретическом (1) экспериментальном (2) и исследованиях

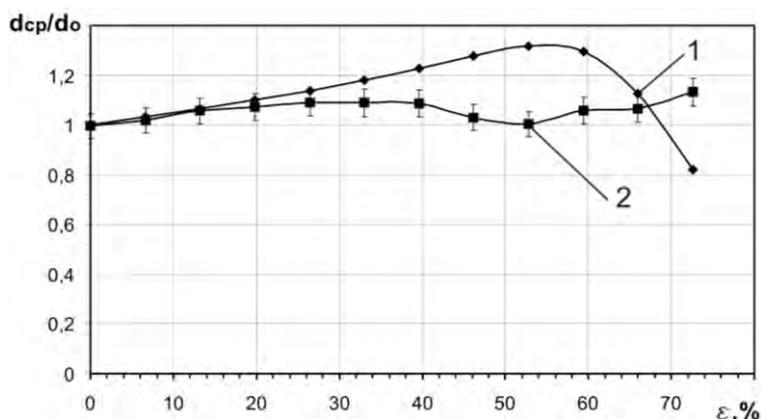


Рисунок 9 - Изменение относительного среднего диаметра осевого дефекта в процессе осадки высоких $H / D = 3,0$ заготовок при теоретическом (1) экспериментальном (2) и исследованиях

Полученные результаты подтверждаются исследованиями на образцах из стали 34ХНМ (рис. 10, а) в процессе осадки плоскими плитами ($\varepsilon = 50 \%$, температура нагрева 1150°C). Расхождение экспериментальных и теоретических данных (максимум 20% при степени осадки $\approx 45 \dots 60 \%$) объясняется тем, что высокая заготовка в процессе осадки потеряла устойчивость, что привело к продольному изгибу (рис. 10, б). Это привело к изменению напряженно-деформированного состояния заготовки в осевой зоне дефекта.

Промышленная апробация осадки коническими вогнутыми плитами. Комплексное теоретическое и экспериментальное исследование позволило установить эффективную схему осадки. Эта схема заключается в осадке заготовок вогнутыми коническими плитами с углом 225° . Промышленная апробация процесса осадки производилась в условиях ПрАТ «Новокраматорский машиностроительный завод» (Украина) для подтверждения полученных результатов [21–23]. Было установлено, что осадка вогнутыми коническими плитами (рисунок 11, а) приводит к уменьшению бочкообразности (рисунок 11, б).



а)



б)

Рисунок 10 - Увеличение размеров осевого дефекта (а) и потеря устойчивости (б) при осадке заготовки с $H / D = 3$ плоскими плитами



а)



б)

Рисунок 11 - Осадка заготовок вогнутыми коническими плитами

Это повышает равномерность распределения деформаций в теле поковки и повышает уровень сжимающих напряжений по сравнению с осадкой плоскими плитами. Полученные поковки соответствуют требованиям Европейского стандарта по ультразвуковому контролю (SEP 1921), который показал отсутствие внутренних дефектов, которые превышают требования заказчика. Это позволило сделать вывод, что осадка вогнутыми коническими плитами обеспечивает универсальность кузнечной оснастки и гарантирует закрытие осевых дефектов слитка.

Выводы

1. Установлено, что осадка низких заготовок плоскими плитами на 50 % способствует закрытию осевого дефекта заготовки на 62 %. С увеличением высоты заготовки и диаметра отверстия в плите происходит снижение степени закрытия осевого дефекта в 1,5...2,5 раза за счет снижения по абсолютной величине уровня средних сжимающих напряжений в осевой зоне. При этом неравномерность распределения деформаций снижается на 30...40 %. Применение плит с отверстием, равным $0,35D$, уменьшает зону минимальной деформации. Это объясняется уменьшением площади контакта с инструментом. Осадка плоскими сплошными плитами и с отверстием $0,35D$ высоких и средних заготовок обеспечивает качественное и количественное совпадение результатов распределения деформаций и напряжений в объеме заготовки. При этом происходит увеличение диаметра дефекта.

2. В процессе осадки вогнутыми плитами низких заготовок дефект закрывается на 5...15 %, для средних заготовок – практически не изменяется, а высоких заготовок – увеличивается на 24...26 %. Эти результаты объясняются значениями средних напряжений в осевой зоне – при осадке низких заготовок уровень сжимающих напряжений в 1,5...2,5 раза больше, чем у высоких заготовок. С увеличением высоты заготовки неравномерность распределения деформаций в процессе осадки уменьшается на 10...15 %, что на 20...35 % меньше, чем для осадки плоскими плитами и объясняется уменьшением площади контакта заготовки и инструмента.

3. Осадка выпуклыми сплошными плитами характеризуется более равномерным напряженно-деформированным состоянием по сечению заготовки за счет уменьшения влияния сил контактного трения. В процессе осадки выпуклыми плитами средних и высоких заготовок образуется вогнутая боковая поверхность вследствие площади торцевых зон заготовки. В результате закрытия дефекта не происходит. Увеличение диаметра отверстия выпуклых осадочных плит приводит к увеличению неравномерности распределения деформаций ($\Delta\epsilon$) и средних напряжений по сечению заготовки за счёт локализации их максимальных значений на острых кромках инструмента.

4. Впервые было установлено, что в процессе осадки выпуклыми и вогнутыми коническими плитами с углами $\alpha = 135^\circ \dots 225^\circ$ с осевым отверстием диаметром $(0,5 \dots 0,7)D$ высоких заготовок ($H/D > 1,5$) происходит образование «тройной бочки», а низких заготовок ($H/D < 1,5$) образуется «двойная бочка».

5. Экспериментальные исследования изменения диаметра осевого дефекта в процессе осадки плоскими плитами свинцовых и стальных моделей подтвердили полученные теоретические результаты. Установлено, что степень закрытия дефекта уменьшается с увеличением относительной высоты заготовки, что вызвано образованием значительной бочкообразности и приводит к увеличению уровня растягивающих напряжений в осевой зоне. Осадка высоких заготовок ($H/D > 2,0$) плоскими плитами приводит к увеличению относительного среднего диаметра дефекта до степени осадки 55...60%. Осадка низких заготовок ($H/D = 1,0$) плоскими плитами обеспечивает закрытие осевого дефекта после деформации на 30%. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что осадка плоскими плитами средних и низких заготовок обеспечивает закрытие осевых дефектов модели на 30...40%.

На основании проведенных комплексных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что операция осадки не способствует полному закрытию осевых дефектов слитка, а также равномерному распределению деформаций в поковке в процессе осадки плитами с отверстием. Эти результаты позволяют сделать вывод о малой эффективности применения операции осадки для повышения качества поволоки ответственного назначения. Применение операции осадки снижает эффективность технологических процессовковки валов и плит.

Список литературы

1 Markov OE, Perig AV, Zlygoriev VN, Markova MA, Grin AG (2017) A new process for forging shafts with convex dies. Research into the stressed state. *Int J AdvManufTechnol* 90: 801 – 818. <http://doi.org/10.1007/s00170-016-9378-6>

2 Tolkushkin, A.O., Lezhnev, S.N., Naizabekov, A.B. (2019) Development and research of the billet forging technology in the newly designed step-wedge dies. *Materials Science Forum*. 2019 Vol. 946, pp. 750-754.

3 A.B. Naizabekov, S.N. Lezhnev, E.A. Panin (2017) Research of the

deformation process of blanks in the dies with elastic elements. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy (България)*, 52, 2, 2017, pp.205-212.

4 Naizabekov, A.B., Lezhnev, S.N. (2001) Reserves of plasticity in billet deformation by trapezoidal hammers. *Steel in Translation* 31(8), p. 68-70

5 H.S. Valberg, *Applied Metal Forming*. CUP, Cambridge, 2010.

6 Markov OE, Perig AV, Zlygoriev VN, Markova MA, Kosilov MS (2017) Development of forging processes using intermediate workpiece profiling before drawing: research into strained state. *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.* 39(4): 4649–4665. <https://doi.org/10.1007/S40430-017-0812-Y>

7 G. Banaszek, A. Stefanik, Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging, *J. Mater. Process. Tech.* 177 (2006) 238–242.

8 D. Scarabello, A. Ghiotti, S. Bruschi, FE modelling of large ingot hot forging, *Int. J. Mater. Form.* 3 (2010) 335-338.

9 H. Kakimoto, T. Arikawa, Y. Takahashi, T. Tanaka, Y. Imaida, Development of forging process design to closure internal voids, *J. Mech. Work. Tech.* 210 (2010) 415–422.

10 P. Skubisz, A. Łukaszek-Solek, Kowalski, J. Sińczak, Closing the internal discontinuities of ingots in open die forging, *Steel Res. Int.* 79 (2008) 555-562.

11 Markov O, Zlygoriev V, Gerasimenko O, Hrudkina N, Shevtsov S (2018) Improving the quality of forgings based on upsetting the workpieces with concave facets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 5/1(95): 16-24. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.142674>

12 V.A. Turin, Some methods for quality control of large ingots, *Forging and stamping production*, 11 (1977) 35-39. (in Russian).

13 F. Meng, C. Labergere, P. Lafon, Methodology of the shape optimization of forging dies, *Int. J. Mater. Form.* 3 (2010) 927-930.

14 J. Nowak, L. Madej, F. Grosman, M. Pietrzyk, Material flow analysis in the incremental forging technology, *Int. J. Mater. Form.* 3 (2010) 931-934.

15 Markov O., Gerasimenko O., Aliieva L., Shapoval A. (2019) Development of the metal rheology model of high-temperature deformation for modeling by finite element method. *EUREKA: Physics and Engineering* 2: 52–60. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00877>

16 C.Y. Park, D. Y. Yang, A study of void crushing in large forgings, *J. Mater. Process. Tech.* 57 (1998) 129–140.

17 Y. Kim, J. Cho, W. Bae, Efficient forging process to improve the closing effect of the inner void on an ultra-large ingot, *J. Mater. Process. Tech.* 211 (2011) 1005–1013.

18 X. Zhang, J. Cui, W. Chen, Y. Li, A criterion for void closure in large ingots during hot forging, *J. Mater. Process. Tech.* 209 (2009) 1950–1959.

19 B-A. Behrens, M. Alasti, A. Bouguecha, T. Hadifi, J. Mielke, F. Schäfer, Numerical and experimental investigations on the extension of friction and heat transfer models for an improved simulation of hot forging processes, *Int. J. Mater. Form.* 2 (2009) 121-124.

20 J.-L. Chenot, L. Fourment, R. Ducloux, E. Wey, Finite element modelling of forging and other metal forming processes, Int. J. Mater. Form. 3 (2011) 359-362.

21 Markov O., Gerasimenko O., Aliieva L., Shapoval A., Kosilov M. (2019) Development of a new process for expanding stepped tapered rings. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2/1(98): 39-46. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160395>

22 Markov O., Gerasimenko O., Khvashchynskiy A., Zhytnikov R., R. Puzyr (2019) Modeling the technological process of pipe forging without a mandrel. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3/1(99): 42-48. <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.167077>

УДК 67.017

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ
TiC И WC ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
СВОЙСТВА МЕТАЛЛА**

**MODELING THE INTRODUCTION PROCESS IN THE STEEL MELT OF
TiC AND WC DISPERSED REFINING PARTICLES**

Аникеев А.Н., Чуманов И.В., Седухин В.В.

*Южно-Уральский государственный университет (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ
(НИУ)», Челябинск, Российская Федерация
anikeev-ml@mail.ru*

Anikeev A.N., Chumanov I.V., Sedukhin V.V.

*South Ural State University (FSAEI HE "SUSU (NRU)", Chelyabinsk, Russian
Federation
anikeev-ml@mail.ru*

Аннотация: Одним из методов упрочнения металлов является внедрение в их структуру на стадии разлива твердых тугоплавких мелкодисперсных частиц. Внедряемые частицы измельчают бал зерна, повышают механические свойства металла, выполняя армирующую роль, препятствуют движению дислокаций. Одним из важных факторов, который будет влиять на получаемые свойства, является место распределения частиц в объеме кристаллизующегося материала. Для прогнозирования распределения частиц, с помощью программного модуля ANSYS FLUENT 16.0, авторами была построена модель распределения частиц по сечению получаемых заготовок. Моделирование проводилось на вычислительном кластере "Скиф-Урал", входящим в ТОП-500 самых мощных компьютеров мира. После проведения серии моделирований проведены работы по получению экспериментальных стальных отливок с введением тугоплавких частиц, с целью проверки сходимости результатов моделирования с эмпирическими данными. Также проведены исследования микроструктуры и механических свойств полученных композиционных

заготовок, на основе полученных данных сделаны выводы о влиянии дисперсных частиц карбидов на свойства стальных отливок (предел прочности, предел текучести, ударная вязкость и др.).

Ключевые слова: компьютерное моделирование, ANSYS, распределение частиц, карбид титана, карбид вольфрама, экспериментальные образцы, микроструктура, механические свойства.

Abstract: One of the methods of hardening of metals is the introduction into their structure at the stage of casting solid refractory fine particles. The introduced particles grind the ball of grain, increase the mechanical properties of the metal, performing a reinforcing role, and impede the movement of dislocations. One of the important factors that will affect the obtained properties is the place of distribution of particles in the volume of crystallized material. To predict the distribution of particles, using the ANSYS FLUENT 16.0 software module, the authors constructed a model for the distribution of particles over the cross section of the resulting blanks. The simulation was carried out on the Skif-Ural computing cluster, which is included in the TOP-500 of the world's most powerful computers. After a series of simulations, work was carried out to obtain experimental steel castings with the introduction of refractory particles, in order to verify the convergence of the simulation results with empirical data. Also, studies of the microstructure and mechanical properties of the obtained composite billets were conducted, based on the data obtained, conclusions were drawn about the effect of dispersed carbide particles on the properties of steel castings (tensile strength, yield strength, impact strength, etc.).

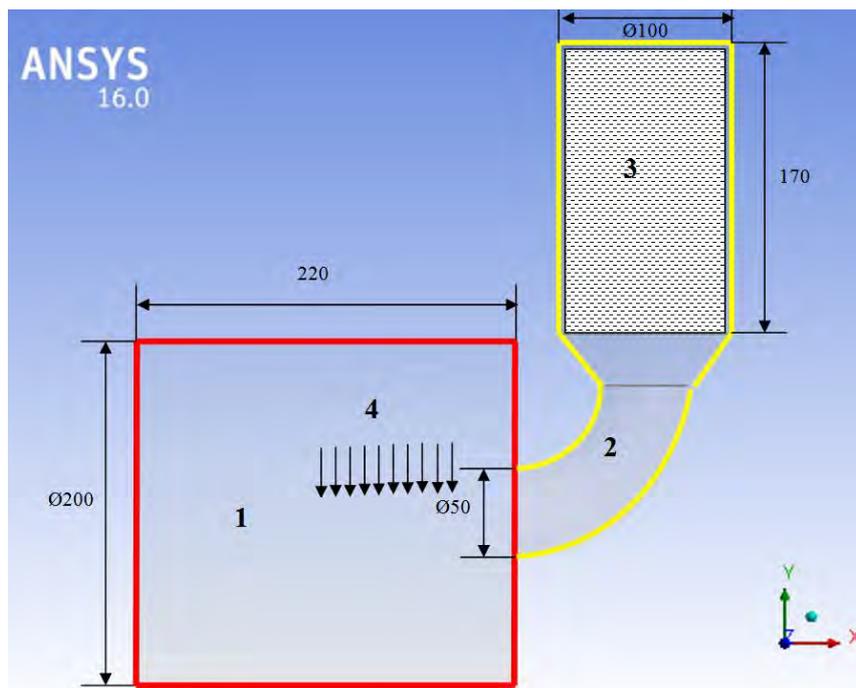
Key words: computer simulation, ANSYS, particle distribution, titanium carbide, tungsten carbide, experimental samples, microstructure, mechanical properties

Проведение моделирования

При упрочнении материалов дисперсными частицами во время разливки основным критерием, обеспечивающим получение задаваемых свойств, выступает распределение частиц по объему получаемых деталей [1-4]. Одним из перспективных направлений, позволяющих управлять расположением дисперсных частиц при кристаллизации металла, является введение в металл дисперсно-упрочняющих частиц в процессе центробежного литья [5-8]. Данный способ был выбран за основу получения экспериментальных материалов.

Моделирование производилось с помощью программного модуля ANSYS FLUENT 16.0 [9,10].

На рисунке 1 приведена схема модели разливки с изображением габаритных размеров основных элементов. Геометрия модели состоит из трёх основных частей: вращающейся изложницы, носка и цилиндрического ковша с коническим дном. Сетка конечных элементов тетраэдрическая. Минимальный размер ячейки составляет 0,0855 мм, максимальный размер ячейки – 3 мм. Минимальный коэффициент ортогональности элементов 0,24.



1 – вращающаяся изложница: материал стенки – сталь, температура стенки – 1000 К, скорость вращения ~ 600 об/мин; 2 – носок: материал стенки – шамотный кирпич, температура стенки – 2000 К; 3 – цилиндрический ковш со стальным расплавом: материал стенки – шамотный кирпич, температура стенки – 2000 К; 4 – инжекторы дисперсных карбидов

Рисунок 1 – Схема модели разливки с основным размерами в миллиметрах

Препроцессор модели учитывает следующие явления: двухфазное течение, уравнение энергии, ламеллярное течение, введение дискретных фаз (упрочняющих частиц), плавление/кристаллизация. В процессе разливки взаимодействуют фазы (жидкие) следующего состава:

- основная фаза – жидкий расплав низкоуглеродистой стали (Ст20);
- вторичная фаза – воздушная атмосфера;
- дискретные фазы – частицы дисперсных карбидов TiC и WC.

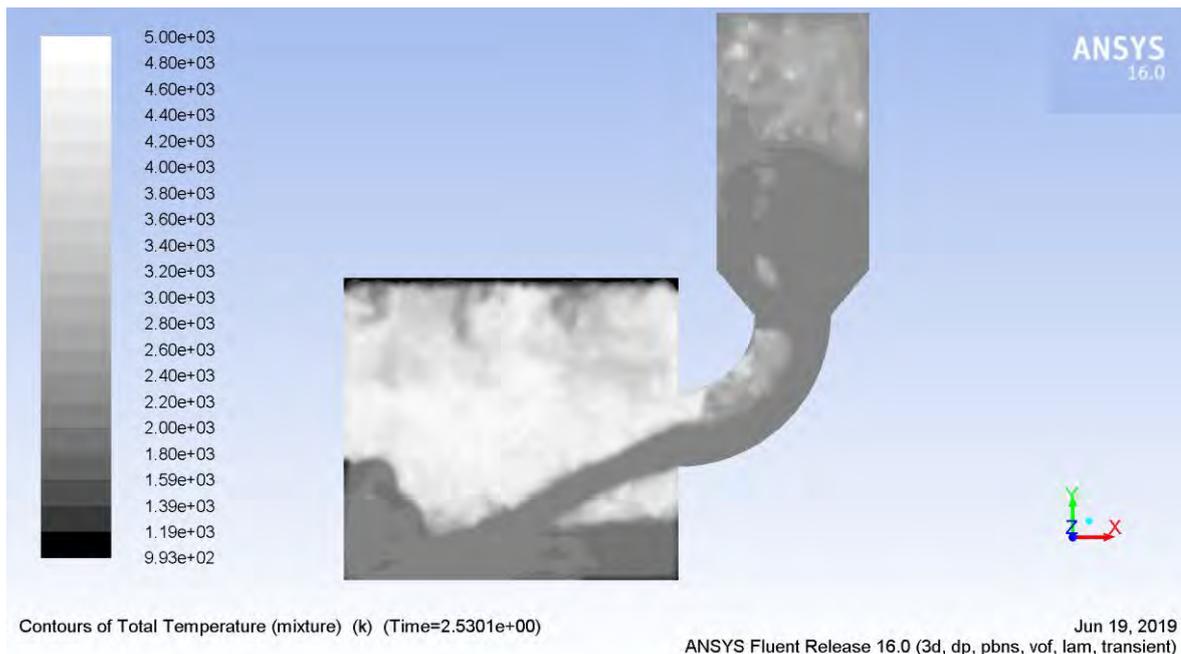
При моделировании приняты следующие параметры [11] (таблица 1):

Таблица 1 - Физические характеристики материалов

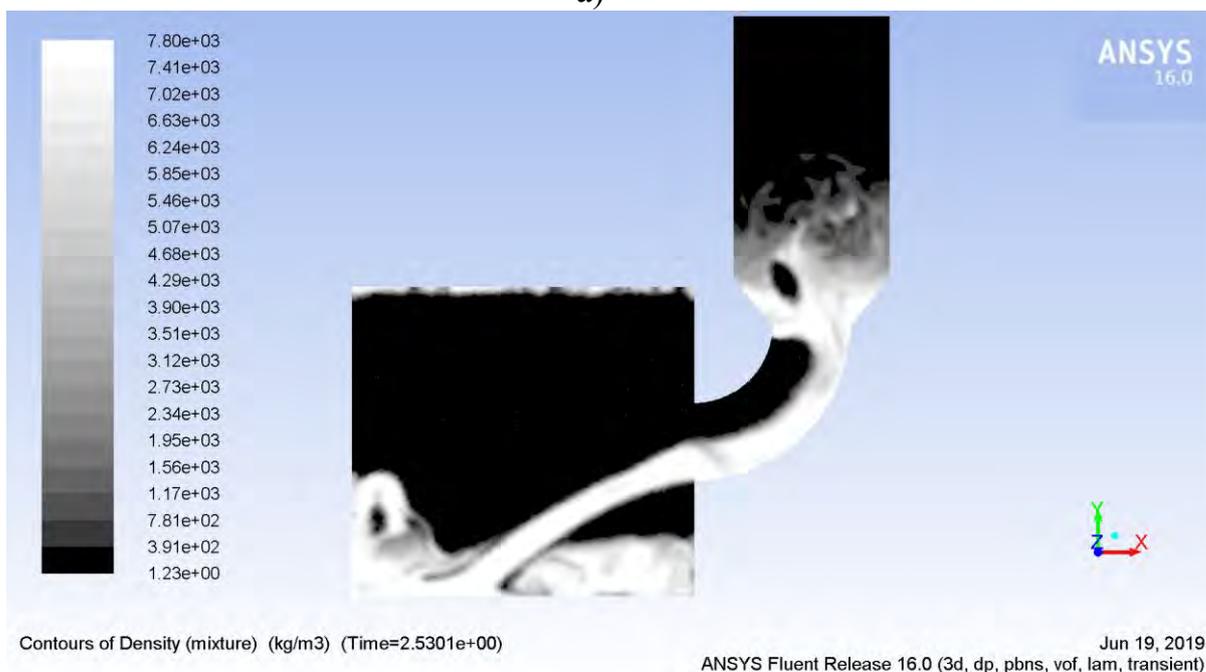
Параметр	Значение
Расплав стали 20	
Плотность, кг/м ³	7800
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	660
Теплопроводность, Вт/м·К	25
Динамическая вязкость, кг/м·с	0,006
Молярная масса, г/моль	180
Энтальпия образования, Дж/кг·моль	2,3·10 ⁷
Температура инициализации, К	2000
Удельная теплота плавления, Дж/кг	78000
Температура солидуса, К	1753
Температура ликвидуса, К	1803
Коэффициент поверхностно натяжения с воздухом, Н/м	1,5
Атмосферный воздух	
Плотность, кг/м ³	1,225
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	1006,43
Теплопроводность, Вт/м·К	0,0242
Динамическая вязкость, кг/м·с	1,7894·10 ⁻⁵
Молярная масса, г/моль	29
Температура инициализации, К	300
Низкоуглеродистая сталь (ст. 20) твердая	
Плотность, кг/м ³	8030
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	502,48
Теплопроводность, Вт/м·К	16,27
Шамотный кирпич	
Плотность, кг/м ³	1850
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	880
Теплопроводность, Вт/м·К	1,2
Карбид титана TiC	
Плотность, кг/м ³	4930
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	840
Температура инициализации, К	300
Минимальный диаметр частицы, мм	0,001
Максимальный диаметр частицы, мм	0,1
Карбид вольфрама WC	
Плотность, кг/м ³	15630
Удельная теплоемкость, Дж/кг·К	180
Температура инициализации, К	300
Минимальный диаметр частицы, мм	0,001
Максимальный диаметр частицы, мм	0,1

При проведении разливки стали методом центробежного литья процесс кристаллизации расплава наступает в момент контакта расплава со стенками вращающейся изложницы, что сокращает интервал кристаллизации расплава (температура расплава падает ниже температуры солидуса) до считанных секунд. Исходя из опыта проведения натуральных экспериментов принято решение об ограничении времени процесса моделирования до 10 секунд.

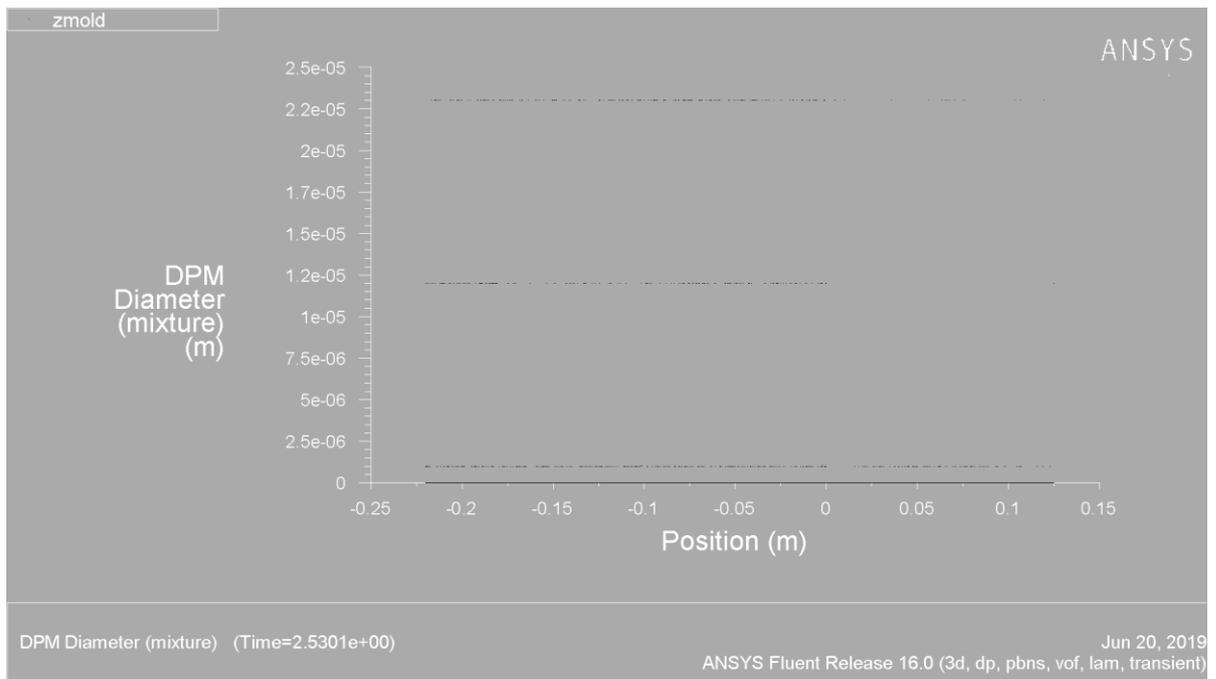
В результате проведения моделирования получены изображения процесса разливки, изображения сечений изложницы в трех плоскостях и графики распределения температуры, плотности, частиц (рисунок 2).



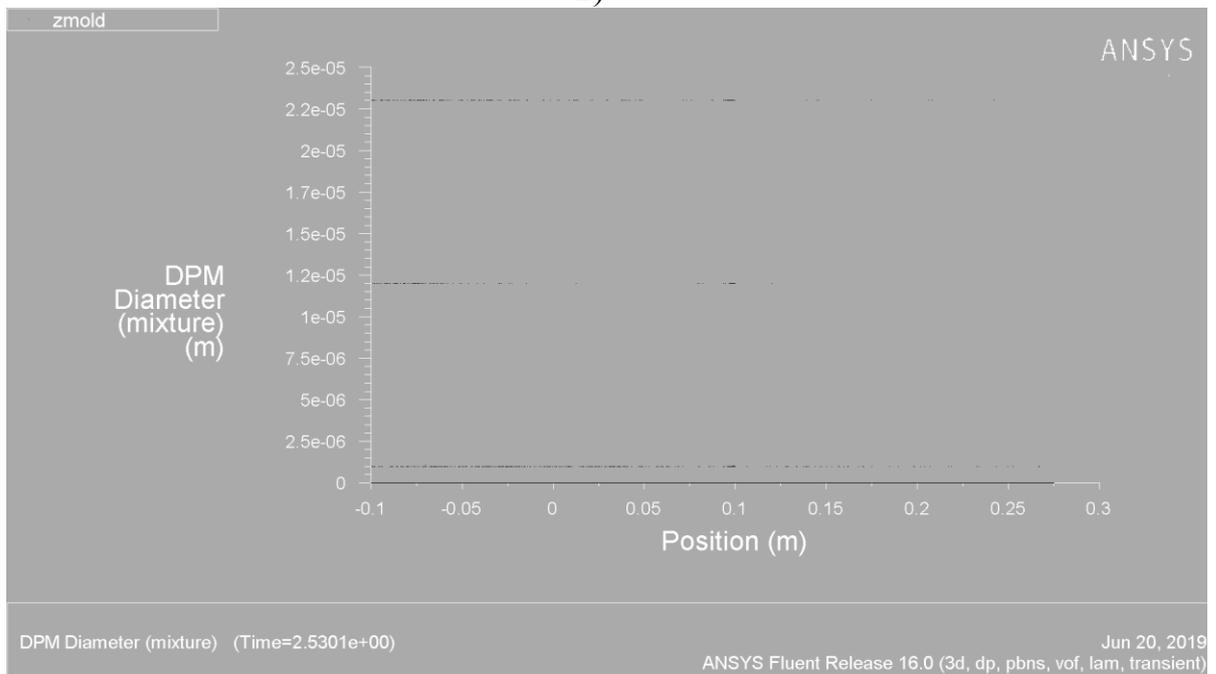
а)



б)



в)



г)

а - температуры; б - плотности; в - частиц по их диаметрам по оси X; г - частиц по их диаметрам по оси Y

Рисунок 2 – Диаграммы распределения

Построенная модель позволяет прогнозировать распределение частиц в любой момент разливки (рисунок 3), что достигается применением функций извлечения и преобразования данных о дисперсных частицах, которая отображает характеристики всех частиц (радиальная координата частицы, скалярное значение вектора скорости частицы по осям X, Y и Z, диаметр и масса частицы) задействованных в процессе моделирования. Функции

сортировки и фильтрации ячеек/частиц позволяют определить точную концентрацию (вплоть до одной частицы) в любой точки модели.

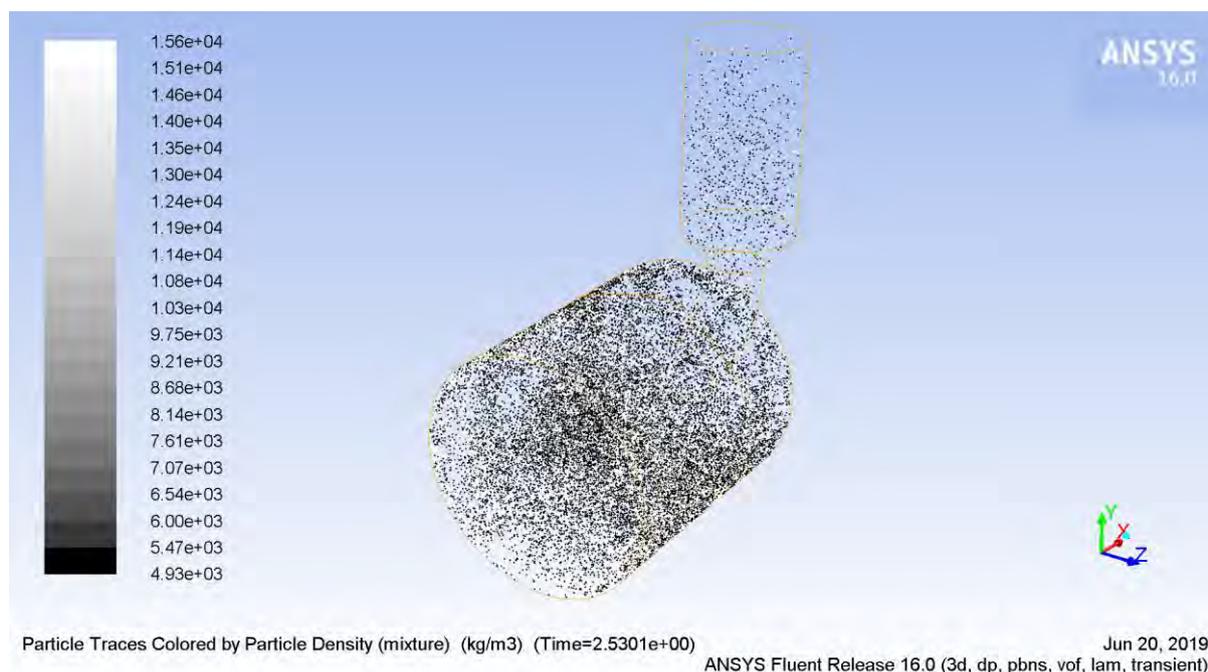


Рисунок 3 – Объемное изображение распределения частиц

По результатам моделирования можно отметить, что в начале разливки независимо от плотности частиц, они под действием центробежных сил распределяются на внешнем краю центробежно-литой заготовки, что наблюдается и в других работах [12-15]. Однако со временем, в зависимости от плотности, характера смачивания и конвективных потоков жидкого металла, частицы занимают различное положение. Моделирование показало, что в конечный момент разливки частицы WC преимущественно располагаются во внешних объемах получаемых заготовок, а TiC – на внутренних объемах и частично в центральной части. По результатам моделирования также можно сделать вывод, что на степень распределения частиц влияет не только их плотность, но и диаметр частицы. Сепарирование частиц таких размеров затруднительно, поэтому для минимизации влияния диаметра на степень распределения, и, следовательно, для максимальной степени упрочнения, необходимо вводить частицы в смеси.

2 Получение и исследование экспериментальных материалов

Для проверки модели были проведены натурные эксперименты. В качестве матричного металла были выбраны две марки стали: 20 и 20ХН. Металл для получения образцов расплавлялся в индукционной печи, после чего производилась его разливка в установку центробежного литья горизонтального типа. Скорость вращения изложницы составляла 600 об./мин. Разливка продолжалась в течение 15-20 секунд. Во время заливки металла в кокиль производилась подача дисперсных частиц WC и TiC на струю металла. В ходе экспериментов были получены 5 отливок. Полученные заготовки отличались

друг от друга содержанием дисперсных частиц карбида вольфрама и карбида бора (таблица 2). Для возможности взаимодействия, как было выяснено раньше, при подаче частиц TiC параллельно производилась подача аргона в пространство кокиля. Центробежно-литые заготовки не имели внешних дефектов и имели удовлетворительное качество поверхности (рисунок 4). С каждого слитка были получены образцы для исследования микроструктуры и механических свойств.

Таблица 2 - Концентрация дисперсных частиц в полученных отливках

Номер отливки	Содержание дисперсных частиц, (масс. %)	
	WC	TiC
1 (Ст20, эталон)	0	0
2 (Ст20)	0	0,1
3 (20ХН, эталон)	0	0
4 (20ХН)	0,25	0,05
5 (20ХН)	0,1	0,1



Рисунок 4 – Внешний вид полученных отливок

Перед исследованием микроструктуры было проведено исследование химических составов двух отливок. Измерение проводилось в 2-х местах – на внутреннем и внешнем краях отливок. Средние результаты измерений представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты измерения химического состава по сечению отливок

Нумерация отливки	Содержание элементов, масс. %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
1	0,19	0,25	0,46	0,011	0,009	0,11	0,04	0,014	0,003	0,11
2	0,23	0,23	0,40	0,015	0,012	0,11	0,08	0,012	0,014	0,11
3	0,18	0,50	0,59	0,020	0,012	1,95	1,07	0,044	0,013	0,13
4	0,22	0,47	0,57	0,020	0,012	1,98	1,15	0,049	0,022	0,13
5	0,24	0,45	0,52	0,019	0,011	1,91	1,13	0,047	0,022	0,12

Исследование микроструктуры показало, что все отливки имеют типичную литую структуру (рисунок 5), характерную для центробежно-литых заготовок. Внешний край частично обезуглерожен. Структура всех образцов состоит из смеси перлита и феррита. В отливках 4 и 5 наблюдаются эвтектики элементов, образованные вероятнее всего взаимодействием частиц карбидов и элементов матричного металла.

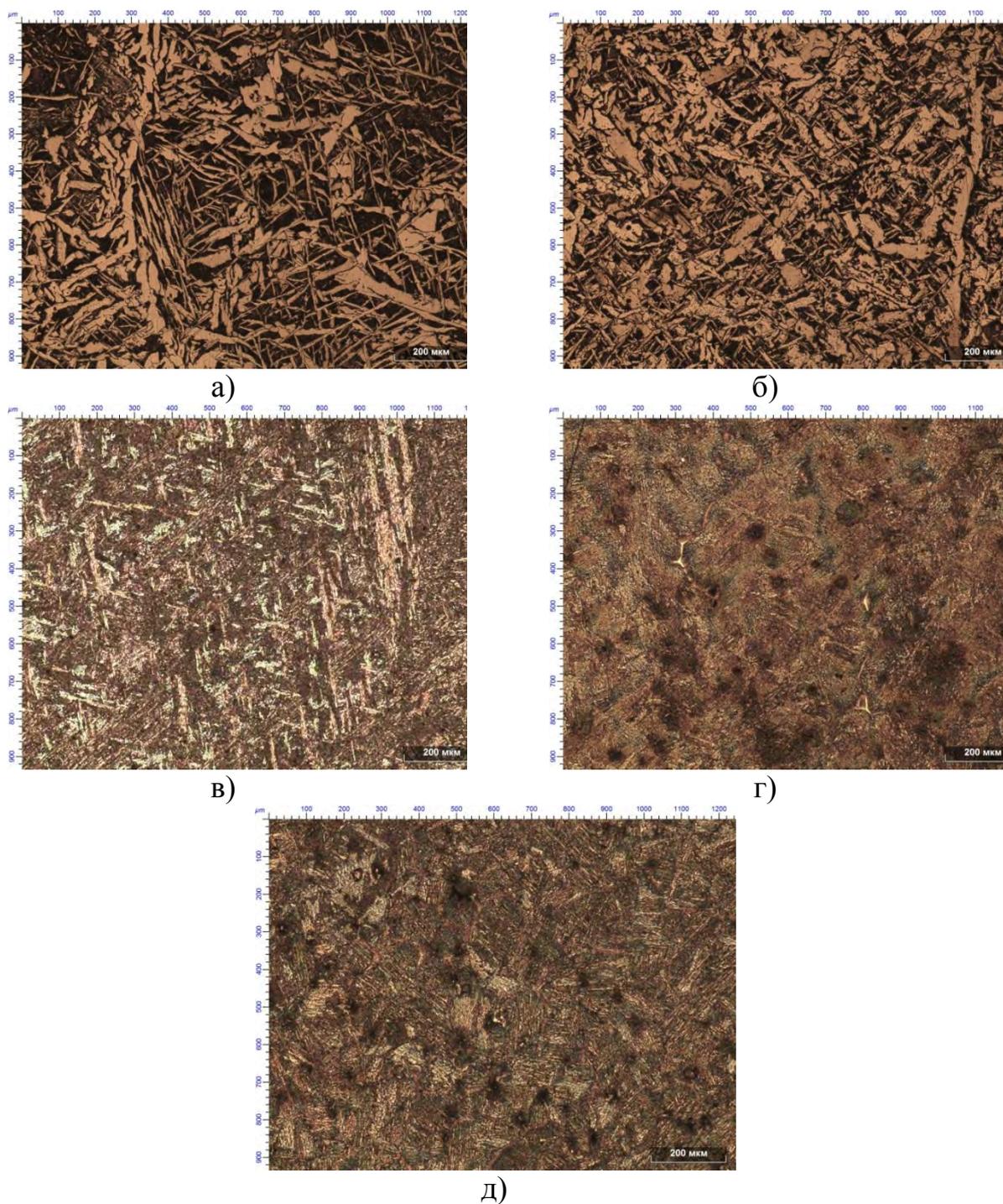


Рисунок 5 – Микроструктура полученных отливок: а – №1, б – №2, в – №3, г – №4, д – №5; $\times 130$

На электронном микроскопе JEOL JSM 6460-LV производилось определение степени распределения введенной упрочняющей фазы по сечению заготовок (методом подсчета количества включений на единицу площади), состав введенных дисперсных частиц. Исследование степени распределения введенных дисперсных частиц по высоте заготовки показало, что количество частиц стремиться к тождественности, в то время как по диаметру имеется явно видимое распределение от внешнего края к внутреннему, что подтверждает результаты моделирования (рисунок 6).

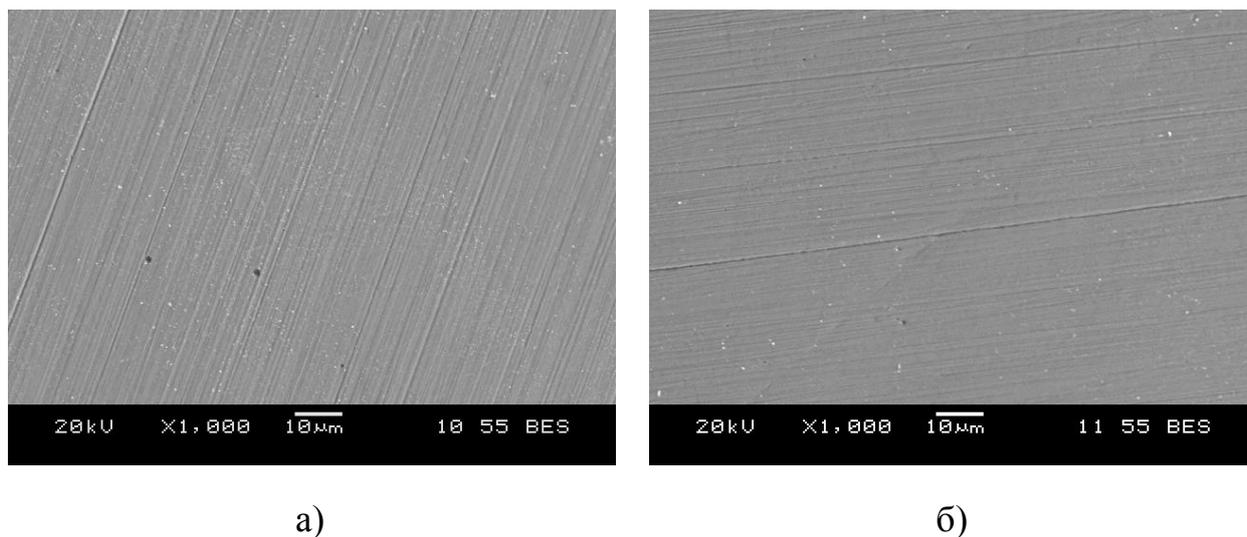


Рисунок 6 – Микроструктура заготовки № 4: а – внешние объёмы заготовки; б – внутренние объёмы заготовки, $\times 1000$

В рамках выявления влияния частиц на свойства получаемых заготовок было произведено исследование механических свойств полученных отливок предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и ударная вязкость. Для проведения испытаний были подготовлены образцы согласно ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 9454-78. Результаты проведенных испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты измерений механических свойств

Образец	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость, Дж/см ²
1	526,64	516,815	12,452	78,4
2	533,416	425,113	12,904	79,8
3	900,855	900,834	7,074	96,9
4	781,143	781,143	4,122	99,2
5	800,061	800,061	5,040	102,3

Обсуждение результатов и выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- на базе программного модуля программного модуля ANSYS FLUENT 16.0 построена модель распределения внедряемых дисперсных частиц по объему центробежно-литых заготовок получаемых заготовок;

- модель позволяет прогнозировать распределение частиц в любой момент разлива, что достигается применением функций извлечения и преобразования данных о дисперсных частицах, которая отображает характеристики всех частиц (радиальная координата частицы, скалярное значение вектора скорости частицы по осям X, Y и Z, диаметр и масса частицы) задействованных в процессе моделирования. Функции сортировки и фильтрации ячеек/частиц позволяют определить точную концентрацию (вплоть до одной частицы) в любой точки модели.

- проведено кодирование распределения дисперсных частиц карбидов титана и вольфрама, которое показало: 1. в первые моменты разлива, независимо от плотности частиц, они под действием центробежных сил распределяются на внешнем краю центробежно-литой заготовки; 2. степень распределения частиц влияет не только их плотность, но и диаметр частицы; 3. с целью минимизации влияния на диаметра на степень распределения, и следовательно для максимальной степени упрочнения, необходимо вводить частицы в смеси;

- проведены натурные эксперименты и получены металлические заготовки с различным количеством карбидов титана и вольфрама, полученные заготовки исследованы на изменение микроструктуры и механических свойств;

- исследование микроструктуры показало, что все отливки имеют типичную литую структуру, внешний край частично обезуглерожен, структура всех образцов состоит из смеси перлита и феррита. В отливках содержащих карбиды вольфрама и титана наблюдаются эвтектики элементов, образованные взаимодействием частиц карбидов и элементов матричного металла;

- на электронном микроскопе произведено определение степени распределения введенной упрочняющей фазы по высоте и сечению заготовок: распределение по высоте заготовок показало, что количество частиц стремиться к тождественности, в то время как по диаметру имеется явно видимое распределение от внешнего края к внутреннему, что подтверждает результаты моделирования;

- введение частиц карбидов в низкоуглеродистую сталь увеличивает показатели предела прочности на 1,29 %, относительного удлинения на 3,63 %, ударной вязкости на 1,79 %; однако снижает значение предела текучести на 17,74 %;

- введение частиц карбидов в низколегированную сталь изменяет показатели: сравнивая отливки 3 и 4 (в случае большей концентрации дисперсных частиц с высокой плотностью) происходит увеличение только значения ударной вязкости (+ 2,37 %); остальные же показатели уменьшаются –

предел прочности на 13,29 %, предела текучести на 13,29 относительного удлинения на 41,73 %; сравнивая отливки 3 и 5 (в случае равной концентрации вводимых дисперсных частиц с плотностью как ниже, так и выше плотности металла) аналогично происходит увеличение показателя ударной вязкости на 5,57 %, снижение же остальных показателей механических свойств происходит в меньших пределах, чем в предыдущем случае: предел прочности – 11,29 %, предел текучести – 11,19 %, относительное удлинение – 28,75 %.

Южно-Уральский государственный университет благодарен за финансовую поддержку Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 11.9658.2017 / 8.9.)

Список литературы

1 Гузенков, С.А. Повышение конструкционной прочности литой стали модифицированием дисперсными порошками / С.А. Гузенков, Д.Н. Федоров, Д.В. Руцкий и др. // Сталь. – 2010. – №3. – С. 101–103.

2 Korostelev, A.B. Modification of heat-resistant nickel alloy with a combined inoculator / A.B. Korostelev, S.N. Zherebtsov, P. Sokolov et. al. // Metallurgist. – 2011. – Vol. 54. – Iss. 9-10. – P. 711–713.

3 Kuzmanov, P., Investigation of the structure and mechanical properties of castings of alloy AlSi7Mg, cast iron GG15 and GG25 and steel GX120Mn12, modified by nanosized powders / P. Kuzmanov, R. Dimitrova, R. Lazarova et. al. // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part N: Journal if Nanoengineering and Nanosystems. – 2014. – Vol. 228. – No. 1. – P. 11–18.

4 Lamei, C. Modification of the structure and properties of heat-resistant alloys with the help of nanopowders of refractory, compounds / C. Lamei, L. Guangxun, G. Huaipeng // Manufacturing and Measurement on the Nanoscale, 3M-NANO: International Conference on Manipulation. – 2012. – P. 385–388.

5 Harris, I.R. Grain boundaries: Their Character, Characterisation and Influence on Properties / I.R. Harris, I.P. Jones. – London: IOM Communications Ltd., 2001. – 456 p.

6 Chumanov, I.V. Fabrication of functionally graded materials by introducing wolframium carbide dispersed particles during centrifugal casting and examination of FGM's structure / I.V. Chumanov, A.N. Anikeev, V.I. Chumanov // Procedia Engineering. – 2015. – Vol. 2. – P. 816-820.

7 Watanabe, Y. A Novel fabrication method for functionally graded materials under centrifugal force: the centrifugal mixed-powder method // Y. Watanabe, O. Inaguma, H. Sato et.al. // Materials. – 2009. – Vol. 2. – Iss. 4. – P. 2510-2525.

8 El-Hadad, S. Fabrication of Al/Al₃Ti functionally graded materials by reaction centrifugal mixed-powder method / S. El-Hadad, H. Sato, E. Miura-Fujiwara et. al. // Japanese Journal of Applied Physics. – 2011. – Vol. 50. – Iss. 1, P. 2. – #01AJ02

9 Алексеев, И.А. Модель распределения дисперсных частиц по объему центробежно-литой заготовки / И.А. Алексеев, А.Н. Аникеев // Наука ЮУрГУ. Материалы 70-й научной конференции. – 2018. – С. 820-826.

10 Kostenetskiy P.S., Safonov A.Y. SUSU Supercomputer Resources // Proceedings of the 10th Annual International Scientific Conference on Parallel Computing Technologies (PCT 2016). Arkhangelsk, Russia, March 29-31, 2016. CEUR Workshop Proceedings. – 2016. – Vol. 1576. – P. 561-573.

11 Арсентьев, П. П. Металлические расплавы и их свойства / П.П. Арсентьев, Л.А. Коледов. – М.: Metallurgia, 1976. – 376 с.

12 Wang, Q. Modeling on Fluid Flow and Inclusion Motion in Centrifugal Continuous Casting Strands / Q. Wang, L. Zhang, S. Sridhar // Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science. – 2016. – Vol. 47. – Iss. 4. – P. 2623-2642.

13 Yang, L. Numerical simulation and experimental verification of gravity and centrifugal investment casting low pressure turbine blades for high Nb-TiAl alloy / L. Yang, L.H. Chai, Y.F. Liang // Intermetallics. – 2015. – Vol. 66. – P. 149-155.

14 Anikeev, A.N. Experiments on obtaining nanostructured metallic materials and their investigation / A.N. Anikeev, D.V. Sergeev, I.V. Chumanov // Materials Science Forum. – 2016. – Vol. 843. – P. 139-144.

15 Chumanov, I.V. Study and analysis of the structural constituents of billets hardened by fine-grained particles and formed by centrifugal casting / I.V. Chumanov, N.T. Kareva, V.I. Chumanov, A.N. Anikeev // Russian Metallurgy (Metally). – 2012. – Vol. 2012(6). – P. 539-541.

УДК 669.2

**AGITATION LEACHING OF ORE OF THE TOMTOR MINING DEPOSIT
WITH SOLUTIONS OF SULFURIC AND NITRIC ACIDS UNDER
ATMOSPHERIC CONDITIONS**

**АГИТАЦИОННОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
«ТОМТОР» РАСТВОРАМИ СЕРНОЙ И АЗОТНОЙ КИСЛОТ В
АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Zadiranov A.N., Malkova M. Y., Dkhar Prashanta

Engineering academy, Peoples` Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Zadiranov@mail.ru

Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Дхар Прашанта

Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Москва,

Россия

Zadiranov@mail.ru

Abstract: Experimental studies of various options for agitation leaching of ore of the Tomtor mining deposit with dilute solutions of sulfuric and nitric acids under

atmospheric conditions according to individual schemes and as a combined two-stage scheme were carried out. It has been established that in all leaching options there is an extraction of REE, Sc, P and impurity elements (Fe, Al, Th) in the solution, and the degree of this extraction depends on the consumption of main reagent and the leaching conditions. Results of the experiments showed that the practical application of the combined two-stage scheme of ores from the Tomtor mining deposit with nitric and sulfuric acids is impractical due to the low extraction indicators of REE, Sc, P and impurity elements (Fe, Al, Th) in the solution.

Key words: ore, Tomtor mining deposit, leaching, rare earth metals, hydrometallurgical processing.

Аннотация: Проведены экспериментальные исследования различных вариантов агитационного выщелачивания руды месторождения «Томтор» разбавленными растворами серной и азотной кислот в атмосферных условиях по индивидуальным схемам и в качестве комбинированной двухстадийной схемы. Установлено, что при всех вариантах выщелачивания происходит извлечение REE, Sc, P и примесных элементов (Fe, Al, Th) в раствор, причем степень этого извлечения зависит от расхода основного реагента и условий выщелачивания. Результаты проведенных экспериментов показали, что практическое применение схемы комбинированной двухстадийной обработки руд месторождения «Томтор» азотной и серной кислотами практически нецелесообразно вследствие невысоких показателей извлечения REE, Sc, P и примесных элементов (Fe, Al, Th) в раствор.

Ключевые слова: руда, месторождение «Томтор», выщелачивание, редкоземельные металлы, гидрометаллургическая переработка.

1 Introduction

It is known [1-13] that one of the most promising deposits of rare earth ores in terms of development is the Tomtor mining deposit. Its reserves are estimated to be more than 150 million tons of ore, exceeding in reserves and concentrations of rare earth elements (REE) all known world analogues. The average mass fraction of REE oxides (REO) reaches 8-12%, including 0.5% of the most valuable yttrium (III) oxide. In addition, these ores contain relatively high concentrations of niobium (~4% Nb₂O₅).

The traditional methods of extracting REE from their ores are hydrometallurgical processing methods [14-21]. The aim of this work was to study the effectiveness of the use of hydrometallurgical methods for the processing of ores from the Tomtor mining deposit.

2 Materials and methods

To accomplish the aim of the work, we conducted research on agitation leaching with dilute solutions of sulfuric and nitric acids in atmospheric conditions.

The task of the research was to determine the indicators for the extraction of target elements (REE, Sc and P) and some associated metals (Fe, Al and Th) in solution in the acid treatment of water ore pulp, depending on the main regulatory factors affecting these indicators, namely:

- the ratio between the liquid reagent and the solid product in the original pulp (L:S);
- temperatures of the process;
- time of agitation;
- consumption of acid in leaching.

The plan of the series of experiments and the specific values of the studied factors during the experiments are presented in Tables 1 and 2. The intervals of variation of the factors were chosen on the basis of technological considerations, taking into account the assessment of the supposed influence of each of them according to the results of previous search studies.

The agitation leaching experiments were carried out according to the same methodology which includes sequential execution of certain operations. Thus, a portion of the original ore with a particle size of $-0.074 + 0$ mm was transferred to a glass, where the calculated amounts of water and acid were added, establishing at the same time the required values for the conditions of experience L:S and acid consumption. Then a glass with pulp was placed in a thermostat, the desired temperature was set and while maintaining it for a given time the pulp was mixed using a laboratory mixer type MM-1000. At the end of the mixing, the pulp was filtered, filter cake washed with water (3 ml of water per 1 g of wet sediment), dried and weighed. The filtrate and cake were analyzed for REE, Sc and P, and in some experiments on the content of Fe, Al, Th, and Nb.

3 Results and discussion

The results of conducted research are presented in Tables 1 and 2. The data there visually demonstrates influence of the most important factors on the indicators for the extraction of target elements of the ore.

While analyzing the obtained results of agitation leaching of ore with sulfuric acid solutions (see Table 1) one can state the following. When leaching ore with dilute sulfuric acid solutions in the case when initial concentration of the acid varied from 100 to 200 g/L in experiments 1-12 and 7-18 and from 230 to 350 g/L in experiments 13-16, a regular increase in degree of extraction of REE, Sc, P and impurity elements (Fe, Al, Th) to the solution. At the same time extraction was accompanied by increase in values of all examined important factors which influence the leaching process. It was observed that changes in leaching temperature and acid consumption have the biggest impact on leaching indicators. For example (see Table 1), with leaching duration of 6 hours, L:S ratio of 10:1 and temperatures of 60-65 °C (experiment 12) and 90-95 °C (experiment 6) extraction to the liquid phase amounted to (% , respectively): Σ REO – 15.6 and 31.3, Sc – 21.5 and 26.6, Th – 41.7 and 83.3, P₂O₅ – 13.2 and 46.1. At the same time extraction of impurities Fe_{tot} and Al to the solution amounted to (% , respectively): 43.4 and 68.7, 43.4 and 36.7.

Maximal extraction values of target elements are reached in the following intervals of factor values: original pulp L:S ratio of 6:1 to 10:1, leaching temperature of 80-100 °C, leaching time of 3-6 hours, acid consumption for leaching of 1500-1200 kg per ton of ore. However, the analysis showed that in general reached degree of extraction is not high enough. For example, it is about 0.3 for REE, does not exceed 0.4 for scandium and 0.5 for phosphorus.

When leaching with nitric acid (Table 2) a regular increase in degree of REO, scandium, phosphorus and impurity elements extraction into solution is observed in connection with the most important factor, which is acid consumption. Thus, with leaching duration of 3 hours and L:S ratio of 6:1, temperature of ~80 °C, extraction to the liquid phase amounted to (% , respectively): Σ REO 22.0 and 61.4, Sc – 25.2 and 54.0, P_2O_5 – 32.0 and 53.5, Th – 30.0 and 97.5. At the same time, the extraction of Fe_{tot} and Al impurities into the solution did not exceed (% , respectively) 41.8 and 53.9, 16.7, and 32.0.

The maximum values of extraction into the solution were (%): Σ REO - about 60, Scandium - at level 50, thorium, phosphorus, iron and aluminum at levels 98, 32 and 50, respectively. In spite of less severe processing conditions (L:S = 6:1, temperature 80 °C), the degree of extraction of the target components is 1.5-2 times higher than in the case of sulfuric acid ore processing.

Based on the results obtained above, we conducted a series of experiments to study the effectiveness of the use of the combined use of nitric and sulfuric acids. A two-stage ore processing scheme (experiment 4 in Table 1) was tested first with dilute nitric acid, with a consumption of 500 kg per ton of ore at a temperature of 80 °C within 3 hours, and then with sulfuric acid, with a consumption of 1000 kg per ton of ore at a temperature of ~ 95 °C and leaching time of 3 hours. As shown by the results of experiments, extraction of target components in the solution were at the level of indicators of sulfuric acid leaching. Thus, extraction of Σ REO, Sc, and P_2O_5 into the solution was (% , respectively) 32.0, 28.7, and 41.8. At the same time, the extraction of Fe_{tot} and Al impurities into the solution did not exceed (% , respectively) 26.7 and 75.0.

Table 1.

Results of agitation leaching of ore with sulfuric acid solutions in atmospheric conditions. Original ore composition by mass, %: 12.8 Σ REO, 0.039 Sc, 18.4 P₂O₅, 9.9 Fe_{tot.}, 9.0 Al, 0.24 ThO₂, 8.2 Nb₂O₅.

Number of experiment	Factors and their values				Leaching results															
	L : S	t, °C	η , h	QH ₂ SO ₄ , kg per ton of ore	Liquid phase composition							Outcome of undissolved residue, kg per ton of ore	Extraction to the liquid phase, %							
					Σ REO, g/L	Sc, mg/L	P ₂ O ₅ , g/L	Fe _{tot.} , g/L	Al, g/L	Th, g/L	Nb ₂ O ₅ , mg/L		Σ REO	Sc	P ₂ O ₅	Fe _{tot.}	Al	Th	Nb ₂ O ₅	
1	10 : 1	90÷95	2	1000	1.5	9.3	2.6	-	-	-	-	-	-	11.7	23.8	14.3	-	-	-	-
2	10 : 1	90÷95	4	1000	1.6	9.3	3.3	-	-	-	-	-	-	12.5	23.8	17.9	-	-	-	-
3	10 : 1	90÷95	6	1000	1.7	9.8	3.7	4.8	1.5	0.13	10.3	860	13.3	25.1	19.9	48.5	16.5	54.2	1.3	
4	10 : 1	90÷95	2	1500	2.7	11.8	4.7	-	-	-	-	-	-	21.1	30.3	25.6	-	-	-	-
5	10 : 1	90÷95	4	1500	3.7	12.5	8.1	-	-	-	-	-	-	28.9	32.1	44.0	-	-	-	-
6	10 : 1	90÷95	6	1500	4.0	14.3	8.5	6.8	3.3	0.2	17.5	720	31.3	36.6	46.1	68.7	36.7	83.3	2.1	
7	10 : 1	90÷95	2	2000	2.9	12.0	5.5	-	-	-	-	-	-	22.7	30.8	29.9	-	-	-	-
8	10 : 1	90÷95	4	2000	3.9	12.1	6.9	-	-	-	-	-	-	30.5	31.0	37.3	-	-	-	-
9	10 : 1	90÷95	6	2000	4.2	14.9	9.0	6.7	3.5	0.23	21.5	620	32.8	38.2	48.6	67.7	67.7	95.8	2.6	
10	10 : 1	60÷65	2	1500	2.0	8.3	2.3	-	-	-	-	-	-	15.6	21.3	12.4	-	-	-	-
11	10 : 1	60÷65	4	1500	2.0	8.4	2.4	-	-	-	-	-	-	15.6	21.5	13.2	-	-	-	-
12	10 : 1	60÷65	6	1500	2.1	8.8	2.5	4.3	1.4	0.1	8.9	740	16.4	22.6	13.5	43.4	43.4	41.7	1.1	
13	6 : 1	90÷95	2	1500	4.7	17.5	7.8	-	-	-	-	-	-	22.0	26.9	26.4	-	-	-	-
14	6 : 1	90÷95	4	1500	6.8	22.3	13.3	-	-	-	-	-	-	29.5	34.3	43.3	-	-	-	-
15	6 : 1	90÷95	6	1500	6.5	23.0	13.9	10.1	5.3	0.26	28.4	680	30.2	35.4	45.3	61.2	61.2	65.0	2.1	
16	4 : 1	90÷95	6	1500	6.7	26.5	16.4	11.8	6.6	0.33	30.5	730	20.9	27.2	35.6	47.7	47.7	55.1	1.5	
17	10 : 1	75÷80	6	1500	3.8	12.5	7.6	6.3	3.6	0.2	15.6	710	30.9	32.1	41.3	63.6	63.6	23.3	1.9	
18	10 : 1	40	6	1500	2.1	10.4	4.1	-	-	-	-	-	-	16.5	26.7	22.2	-	-	-	-

Table 2.

Results of nitrogen-acid and nitrogen-sulfuric acid leaching of ore in atmospheric conditions.

Number of experiment	Factors and their values					Leaching results												
						Liquid phase composition						Outcome of undissolved residue, kg per ton of ore	Extraction to the liquid, %					
	L : S	t, °C	Rate of HNO ₃ , kg per ton of ore	Rate of H ₂ SO ₄ , kg per ton of ore	Time, h	∑REO, g/L	Sc, mg/L	P ₂ O ₅ , g/L	Fe _{tot.} , g/L	Al, g/L	Th, g/L		∑REO	Sc	P ₂ O ₅	Fe _{tot.}	Al	Th
1	6 : 1	80±3	500	0	3	4.7	16.4	9.8	6.9	2.5	0.18	660	22.0	25.2	32.0	41.8	16.7	30.0
2	6 : 1	80±3	1000	0	3	9.2	25.8	14.7	8.2	3.5	0.29	580	43.1	39.7	47.9	49.7	23.3	72.5
3	6 : 1	80±3	1500	0	3	13.1	35.1	16.4	8.9	4.8	0.39	430	61.4	54.0	53.5	53.9	32.0	97.5
4	5 : 1 (1 stage)	80±3	500	0	3	5.4	15.8	10.8	7.9	2.9	0.16	680	21.1	20.3	29.3	39.9	16.1	33.3
	10 : 1 (2 stage)	90±95	0	1000	3	4.1	11.2	7.7	5.8	2.4	0.18	620	32.0	28.7	41.8	58.6	26.7	75.0

4 Conclusions

1. As a result of agitation leaching of ore from the Tomtor mining deposit by dilute solutions of sulfuric and nitric acids it was experimentally determined that in all three cases there happens REE, Sc, P and impurity elements (Fe, Al, Th) extraction to solutions. Degree of the extraction depends on the main reagent consumption and leaching conditions.

2. It was experimentally determined that when leaching ore with dilute sulfuric acid solutions maximal values of extraction of target elements are reached with the following intervals of factor values: original pulp L:S ratio of (6-10):1, leaching temperature of 80-100 °C, leaching time of 3-6 hours, acid consumption for leaching of 1500-2000 kg per ton of ore. It was shown that in this case extraction of REE remained at the level of 30%, of scandium – below 40%, of phosphorus – 50%. The obtained results show that the use of dilute solutions of sulfuric acid as a agitation leaching reagent for Tomtor ore is impractical.

3. It was experimentally shown that Tomtor ore leaching with nitric acid is more effective than one with sulphuric acid and requires less harsh conditions (L:S ratio of 6:1, temperature of 80 °C). Degree of extraction of target elements when using nitric acid is 1.5-2 times higher than when using sulphuric acid. Maximal extraction values amounted to: for REE – about 60%, for scandium – about 50%, for phosphorus – about 50%. Analysis of absolute values of indicators of nitric-acid leaching, though, doesn't allow us to recommend nitric-acid leaching as an effective way of hydrometallurgical processing of ore.

4. It was experimentally shown that use of two-stage combined processing scheme with dilute solutions of sulfuric and nitric acids is also not effective, as it reflects indicators of sulfuric-acid leaching. It can be therefore concluded that use of mentioned two-stage scheme for Tomtor ore is also impractical.

5. Based on obtained experimental data it was determined that use of sulfur and nitric acids solutions as a leaching reagent for initial hydrometallurgical processing of Tomtor ore in atmospheric conditions in separated and combined schemes is impractical due to low indicators of REE, Sc, P and impurity elements (Fe, Al, Th) extractions to solutions.

6. It is necessary to search for a more effective way of dissolution of the considered ore. One possible way is a combined method of opening, which includes alkaline processing of the ore and following nitric-acid leaching of hydrate precipitate.

Acknowledgment

The publication has been prepared with the support of the «RUDN University Program 5-100».

References

- 1 Ekhanin A.G., Shibistov B.V., Kurbatov I.I. Mineral resource basis of nonferrous and rare metals of Krasnoyarsk Krai. 2010. No. 8. P. 82—89.
- 2 Mal'kova M.Yu., Zadiranov A.N. Prospects for creation of domestic rare-earth industry. Collection of reports of the VIII International Scientific and Practical Conference of RUDN "Engineering systems —2015". Moscow: RUDN Publ., 2015. P. 500—505.
- 3 Danilov Yu.G., Grigor'ev V.P. Tomtor niobium-rare earth deposit as the main raw material base of the rare metal industry in Russia. In the collection: Actual problems, directions and mechanisms of development of productive forces of the North — 2016. Materials of the Fifth all-Russian Scientific Seminar: in 2 parts. 2016. P. 329—335.
- 4 Tolstov A.V., Pokhilenko N.P., Samsonov N.Yu., and al. New opportunities of enrichment and processing of complex ores of Tomtor. In the collection: Equipment for enrichment of ore and nonmetallic materials. Enrichment technologies. Proceedings of the XII international scientific and practical conference. 2016. No. 12. P. 1104—1121.
- 5 Pakhomov A.A., Chomchoev A.I. Tomtor field deposit of rare earth metals: alternatives of development. In the collection: Scientific perspectives of the XXI century. Achievements and prospects of the new century. III International Scientific and Practical Conference. 2014. P. 91—97.
- 6 Sleptsov A.P., Tomashev A.V., Rylov D.A., Tolstov A.V. A new method of calculation of reserves in the «Tomtor» field complex ore deposits. In the collection: Geology and mineral resources of NorthEast Russia, Materials of the VII all-Russian Scientific-Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of the Institute of Geology of Diamond and Noble Metals, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences. 2017. P. 575—581.
- 7 Tarasov A.V., Demidov I.L. Prospects of development of the Tomtor field deposits of rare-earth metals. *NonFerrous Metallurgy*. 2015. No. 4. P. 29—36.
- 8 Litvinova T.E. Obtaining individual compounds of rare earth metals and by-products in the processing of rare metal raw materials of low quality. Diss. ...Doctor. Tech. Sc. St. Petersburg, 2014. 318 p.
- 9 Arkhangel'skaya V.V., Lagonskii N.N., Usova T.Yu., Chistov L.B. Ores of rare earth metals in Russia. Mineral raw materials. Geological and Mineralogical Series. Moscow: VIMS publ., 2006. No. 19. 72 p.
- 10 Polyakova M.A. Elemental composition of rare-earth ores and its influence on deposits allocation: thesis abstract. ... Cand. Geol. Min. Sc. Moscow: IMGRE publ., 2002. 32 p. (In Russ.).
- 11 Nechelyustov G.N., Konopleva E.V., Konoplev A.D. Mineralogicalgeochemical features of fine rare-metal ores of Tomtor field deposit. Mineral raw materials. Moscow: VIMS publ., 1997. No. 1. P. 135—149.
- 12 Lapin A.V., Tolstov A.V., Kulikova I.M. Distribution of REE, Y, Sc, and

Th in the unique complex rare-metal ores of the Tomtor deposit. *Geochemistry International*. 2016. No. 12. P. 1104—1121.

13 Lazareva E.V., Zhmodik S.M., Dobretsov N.L., Tolstov A.V., Shcherbov B.L., Karmanov N.S., Gerasimov E.Yu., Bryanskaya A.V. Major minerals of abnormally high-grade ores of the Tomtor deposit (Arctic Siberia). *Russian Geology and Geophysics*. 2015. Vol. 56. No. 6. P. 1080—1115.

14 Kuzmin V.I., Pashkov G.L., Lomaev V.G., Voskresenskaya E.N., Kuzmina V.N. Combined approaches for the comprehension of rare earth metal ores // *Hydrometallurgy*. 2012. V. 129-130. Pp. 1-6.

15 Ermolaeva V.N., Mikhailova A.V., Kogarko L.N., Kolesov G.M. Leaching of rare-earth and radioactive elements from alkaline rocks of the Lovozero Massif (Kola Peninsula). *Geochemistry*. 2016. No. 7. Pp. 651-658.

16 Kuryshcheva V.V., Ivanova E.A., Prokhorov P.E. Extractors for rare-earth metals *Chimica Techno Acta*. 2016. T. 3. № 2. Pp. 97-120.

17 Litvinova T.E. Metallurgy of yttrium and lanthanides / Saint-Petersburg State Mining University. 2012. 272 p.

18 Gedgagov E.I., Tarasov A.V., Giganov V.G., Lunkova M.A. Development of innovative sorption-extraction technology for obtaining high-purity (99.99%) compounds of rare earth metals during processing of total concentrates (for example, light group). *Non-ferrous metals*. 2017. No. 8. Pp. 50-55.

19 Gerasimova L.G., Nikolaev A.I., Petrov V.B., Bychenya Yu.G. Nitric acid decomposition of perovskite in the presence of a fluorine-containing reagent. *Non-ferrous metals*. 2017. № 5. Pp. 50-53.

20 Nechaev A.V., Sibilev A.S., Smirnov A.V., Shestakov S.V., Polyakov E.G. A rational approach to processing cerium-containing REE materials. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2016. T. 50. № 5. Pp. 863-866.

21 Yurasova O.V., Hasanov A.A., Kharlamova T.A., Vasilenko S.A. Technology for the extraction of cerium (IV) oxide from concentrates of rare earth metals using electrochemical oxidation and extraction methods. *Non-ferrous metals*. 2016. No. 3 (879). Pp. 42-49.

УДК 669.721

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБОЛОЧКИ НА
ПРОЦЕСС ОСАДКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ**

**NUMERICAL SIMULATION OF THE INFLUENCE OF THE SHELL AT
THE CYLINDRICAL BILLET UPSETTING**

Логинов Ю.Н., Замараева Ю.В.

Уральский Федеральный университет, Екатеринбург, Россия

zamaraevajulia@yandex.ru

Loginov Y.N., Zamaraeva Y.V.

*Institute of New Materials and Technologies of Ural Federal University,
Yekaterinburg, Russia
zamaraevajulia@yandex.ru*

Аннотация: выполнено моделирование осесимметричной осадки в оболочке магния в холодном состоянии с применением метода конечных элементов. Установлено влияние высоты и толщины стенки обоймы на возможность образования зазора между обоймой и заготовкой.

Ключевые слова: осадка, пластичность, холодная деформация, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов

Abstract: the modeling of upsetting at the copper shell of magnesium billet in the cold condition using the finite element method is performed. The influence of the height and thickness of the cylinder wall is established on the appearance of a space between the shell and the billet.

Key words: upsetting, plasticity, cold deformation, state-strain condition, finite element method.

Применение оболочек в процессе кузнечной осадки преследует несколько целей [1]. Одной из них является защита самой заготовки от воздействия атмосферы. Действительно, чаще всего осадку осуществляют в горячем состоянии. В этом случае большое количество металлов подвержены окислению и/или газонасыщению. Вторая цель – создать дополнительный подпор пластической деформации, за счет чего возможно повысить уровень напряжений сжатия и тем самым увеличить пластические свойства металла [2-4]. В отличие от первого варианта вторая цель ставится чаще всего в условиях реализации холодной деформации [5], когда пластичность металла находится не на высоком уровне. В ряде исследований изучению подвергается влияние формы оболочек [6] на конечный результат осадки. Предлагалось также подбирать такой материал оболочки, который создавал бы напряжения подпора, а в конечный момент деформации саморазрушался, чтобы устранить необходимость операции удаления оболочки [7].

Целью настоящего исследования является оценка напряженно-деформированного состояния при осадке цилиндрической заготовки в оболочке, имеющей высоту меньше высоты заготовки.

В качестве материала заготовки выбран магний. Магний как материал, имеющий гексагональную плотноупакованную (ГПУ) кристаллическую решетку, обладает ограниченным количеством плоскостей скольжения, что приводит к пониженной пластичности. В связи с этим его пластическая обработка чаще всего осуществляется в горячем состоянии, что позволяет повысить пластические свойства [8], однако при этом теряется эффект нагартовки металла, позволяющий увеличить прочностные свойства конечного

продукта. Переход к обработке магния в холодном состоянии позволяет ликвидировать этот недостаток [9].

Повышение уровня пластичности может быть достигнуто повышением уровня сжимающих напряжений. В области кузнечной осадки это чаще всего достигается созданием удельных сил подпора со стороны оболочки [3]. Экспериментально положительный эффект подпора применительно к обработке магния показан в статье [4]. Целью работы является определение условий работоспособности оболочки при осадке магниевых заготовок.

Моделирование осуществили методом конечных элементов в программном модуле DEFORM-2D. Использовали модель изотропной среды с упрочнением. Постановка задачи включала в себя описание геометрии очага деформации в исходном состоянии, описание физических и пластических свойств на основе справочных данных, задание граничных условий в перемещениях.

В данной задаче магниевый образец представлен в виде цилиндра диаметром $D = 30$ мм и высотой $H = 30$ мм, медная оболочка имеет толщину стенки $s = 5$ мм, высоту $h = 30$ мм, внутренний диаметр равен диаметру магниевых образцов, соотношение $h/H = 1$. Отношение толщины оболочки к диаметру заготовки равно $s/D = 5/30 = 0,17$.

Установлены взаимодействия трех типов на контактах: заготовка – бойки, обойма – бойки, заготовка – обойма. На контакте с инструментом задан закон трения по Кулону с коэффициентом трения 0,1. На границе между заготовкой и обоймой смазка отсутствует, и поскольку оба материала – медь и магний – обладают повышенными адгезионными свойствами, то коэффициент трения на этой поверхности приняли равным 0,5.

На рисунке 1 представлено решение краевой задачи при относительном обжатии 50% с сеткой конечных элементов.

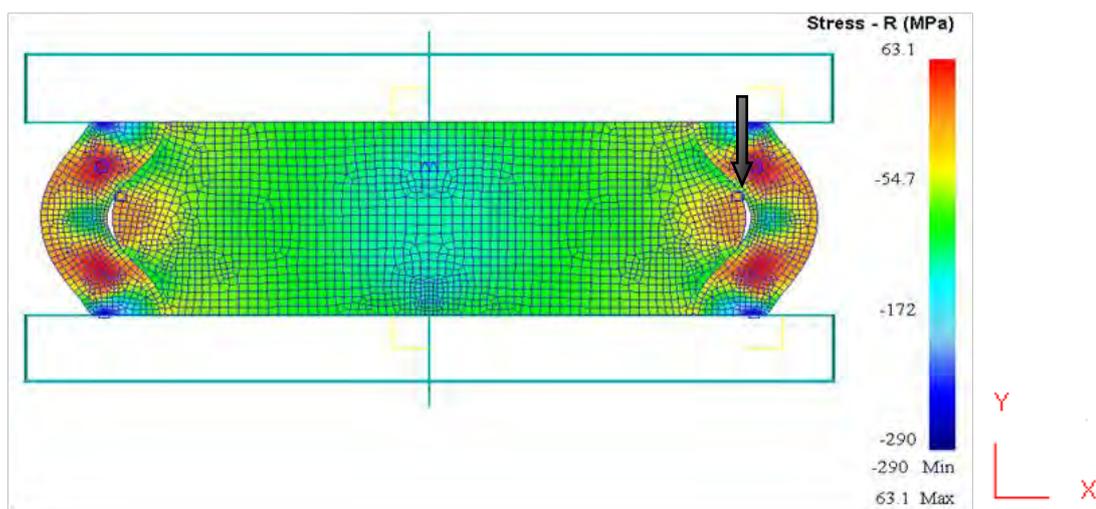


Рисунок 1 - Распределение радиальных напряжений при совместной осадке магниевых образцов в медной обойме при соотношениях $h/H = 1$, $s/D = 0,17$, темная стрелка указывает на образование полости между заготовкой и обоймой

Из рисунка 1 видно, что формоизменение такой сборки сопровождается образованием полости между образцом и обоймой (обозначено темной стрелкой). Также видно, что обойма на части контактной поверхности не выполняет своей функции – она не создает сжимающих напряжений. Мало того, в самой заготовке в области образования полости создаются напряжения растяжения, которые появляются вследствие образования бочки. Это не позволяет обеспечить высокий уровень пластичности по всему объему заготовки.

С целью устранения полости принято решение укоротить обойму до высоты 26 мм. Трение задано по закону Зибеля (показатель трения 0,1). Относительная высота оболочки составила $100 \cdot 26 / 30 = 87\%$.

На рисунке 2 представлено решение краевой задачи при относительном обжатии 50% с сеткой конечных элементов.

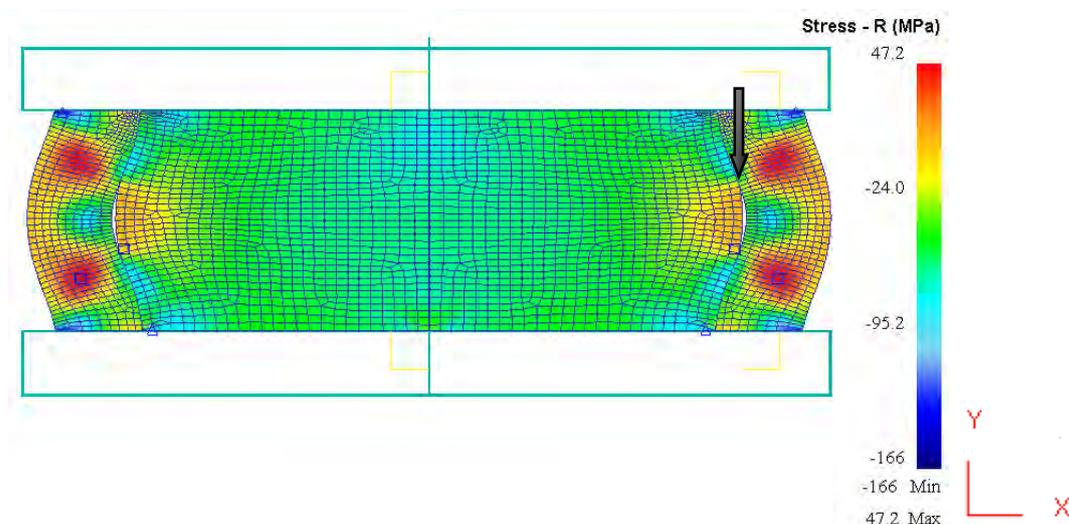


Рисунок 2 - Распределение радиальных напряжений при совместной осадке магниевого образца в медной обойме при соотношениях $h/H = 0,87$, $s/D = 0,17$; темная стрелка указывает на образование полости между заготовкой и обоймой

Из рисунка 2 видно, что формоизменение такой сборки сопровождается образованием полости между образцом и обоймой (обозначено темной стрелкой), но меньшей, чем в первом варианте. Также видно, что обойма на части контактной поверхности не выполняет своей функции – она не создает сжимающих напряжений. Мало того, в самой заготовке в области образования полости создаются напряжения растяжения, которые появляются вследствие образования бочки. Это не позволяет обеспечить высокий уровень пластичности по всему объему заготовки.

С целью устранения полости принято решение увеличить толщину стенки укороченной обоймы до $s = 6$ мм. Отношение толщины оболочки к диаметру заготовки равно $s/D = 6/30 = 0,2$. На рисунке 3 представлено решение краевой задачи при относительном обжатии 50% с сеткой конечных элементов.

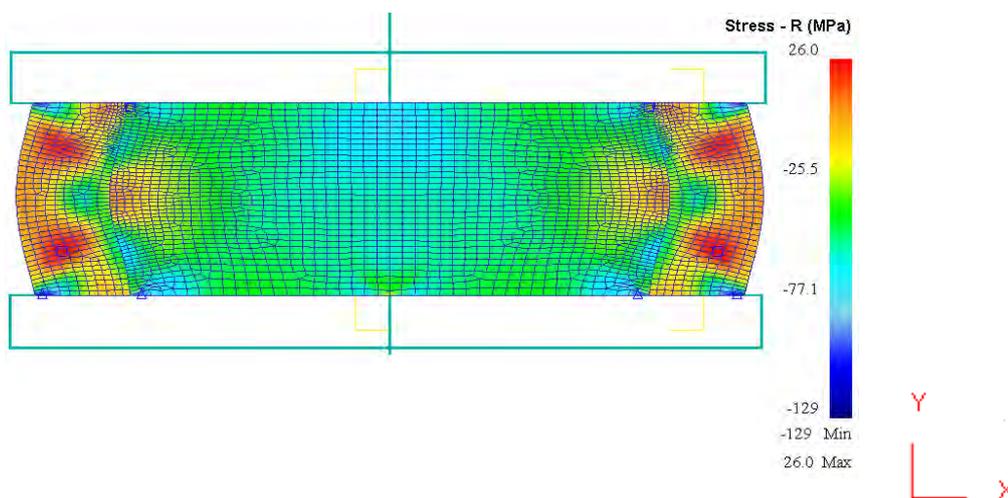


Рисунок 3 - Распределение радиальных напряжений при совместной осадке образца в обойме при $h/H = 0,87$; $s/D = 0,2$; справа цветовой ключ

Из рисунка 3 видно, что формоизменение такой сборки не сопровождается образованием полости между образцом и обоймой. Обойма на контактной поверхности выполняет свою функцию – создает сжимающие напряжения. В заготовке на контактной поверхности также создаются напряжения сжатия, кроме зоны максимальной величины бочки, но величина растягивающих напряжений в этой зоне не допускает образование полости.

В качестве дополнительного вычислительного эксперимента принято решение увеличить толщину стенки укороченной обоймы до 7 мм, т.е. довести параметр s/D до величины 0,23. На рисунке 4 представлено решение краевой задачи при относительном обжатии 50% с сеткой конечных элементов.

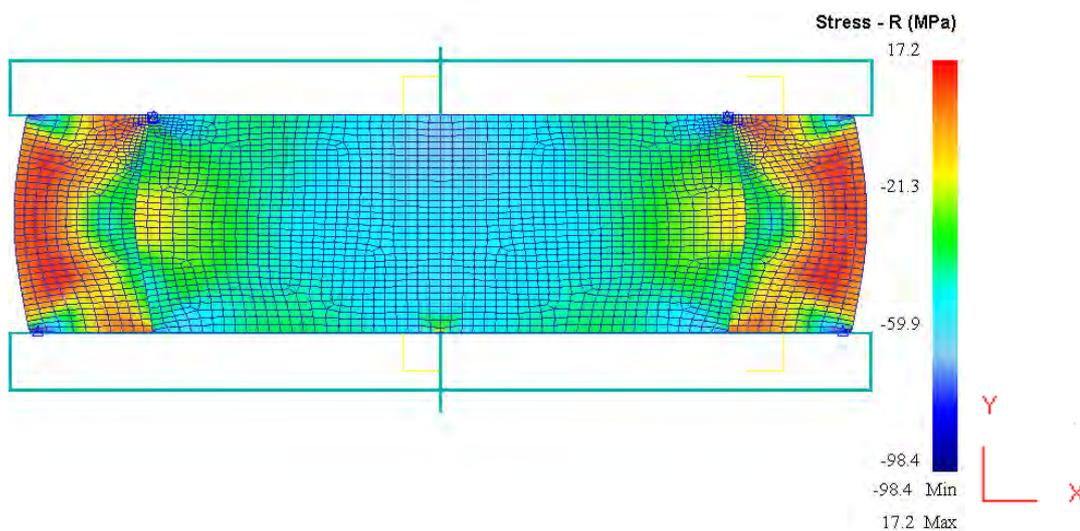


Рисунок 4 - Распределение радиальных напряжений при совместной осадке образца в обойме при $h/H = 0,87$; $s/D = 0,23$; справа цветовой ключ

На рисунке 4 показано, что при формоизменении сборки с толщиной стенки обоймы 7 мм полость между образцом и обоймой не образуется. Обойма

на контактной поверхности выполняет свою функцию – создает сжимающие напряжения. В заготовке на контактной поверхности также создаются напряжения сжатия. Это позволяет обеспечить высокий уровень пластичности по всему объему заготовки.

Распределение эквивалентных деформаций для последнего по ходу изложения решения отображено на рисунке 5.

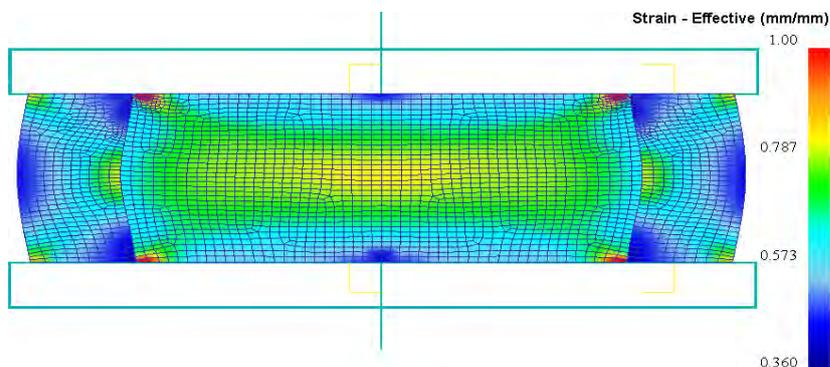


Рисунок 5 - Распределение эквивалентных деформаций при совместной осадке образца в обойме при $h/H = 0,87$; $s/D = 0,23$; справа цветовой ключ

Здесь видно, что уровень деформаций на контактных поверхностях заготовки и ее оболочки не совпадает. В угловых зонах заготовки деформации достигают максимума, в то время как в примыкающих к ним зонах оболочки деформации минимальны. В целом, оболочка в этом случае испытывает меньший уровень деформации, чем заготовка. Это приводит к мысли о том, что оболочку в таком варианте исполнения становится труднее довести до разрушения, т.е. одна дольше способна сохранить работоспособность.

Распределение радиальных деформаций для условий $h/H = 0,87$; $s/D = 0,23$ отображено на рисунке 6.

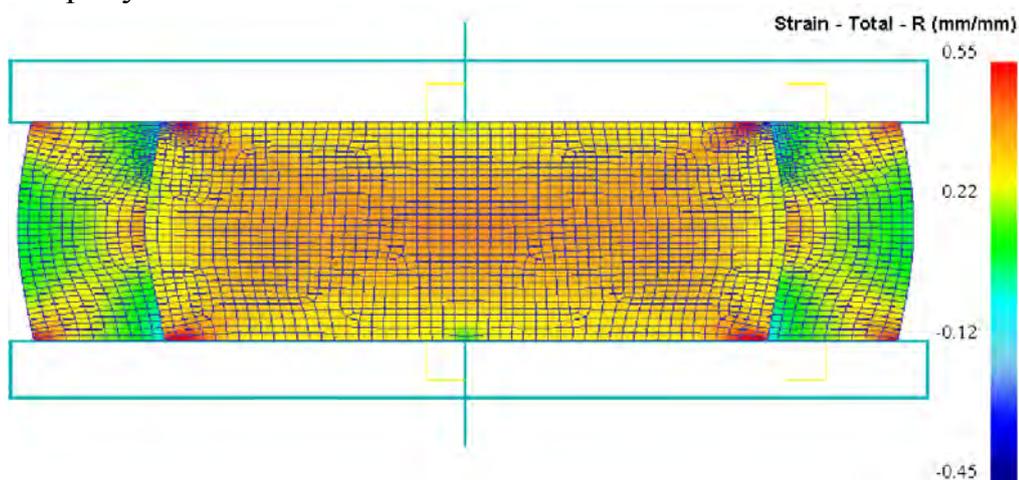


Рисунок 6 - Распределение радиальных деформаций при совместной осадке образца в обойме при $h/H = 0,87$; $s/D = 0,23$; справа цветовой ключ

В отличие от эквивалентных деформаций отображение отдельной компоненты тензора позволяет оценить знак деформаций. В радиально

направлении габариты сборки в целом увеличиваются, поэтому радиальная компонента практически везде имеет положительные значения. Исключение составляет зона оболочки, примыкающая к контактной поверхности с инструментом.

Дополнительное уточнение решения краевой задачи осадки магния может быть реализовано после наделения деформируемой среды свойствами анизотропии, как это сделано в статье [10]. Здесь пришлось отказаться от условия текучести Мизеса и перейти к более сложному решению задачи с применением условия текучести Хилла. Это тем более важно, что кристаллическая решетка магния – гексагональная, с малым количеством плоскостей скольжения, что формирует предпочтительные направления развития деформации [11].

Таким образом, установлено влияние высоты и толщины стенки обоймы на возможность образования зазора между обоймой и заготовкой. Зазор может быть ликвидирован уменьшением высоты оболочки и увеличением ее толщины. Тем самым создаются условия для создания схемы всестороннего сжатия и повышения пластичности металла.

Список литературы

1 Дёмин В.А., Шестаков Н.А., Субич В.Н. Осадка заготовок в оболочках. Заготовительные производства в машиностроении. 2007. № 10. С. 22-26.

2 Воронцов А.Л. Осадка малопластичных материалов в оболочках. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2007. № 7. С. 1-11.

3 Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Волков А.Ю. Методы и устройства для повышения пластичности хрупких материалов при холодной осадке с боковым подпором. Заготовительные производства в машиностроении. 2013. № 9. С. 15-22.

4 Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Кругликов Н.А. Возможности нового метода повышения пластичности магния при холодной осадке. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2017. № 1. С. 53-60.

5 Каменецкий Б.И., Логинов Ю.Н., Кругликов Н.А. Влияние условий бокового подпора на пластичность магния при холодной осадке. Технология легких сплавов. 2012. № 1. С. 86-92.

6 Воронцов А.Л. Осадка малопластичных материалов без обжатия оболочек. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2007. № 9. С. 3-7.

7 Логинов Ю.Н. Осадка заготовок в разрушающейся оболочке. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1998. № 3. С. 27-29 .

8 Логинов Ю.Н., Буркин С.П., Сапунжи В.В. Изучение упрочнения и разупрочнения магния с учетом анизотропии свойств. Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 1999. № 6. С. 42-46.

9 Кругликов Н.А., Логинов Ю.Н., Каменецкий Б.И., Волков А.Ю. Получение тонкой ленты из магния при комбинации процессов холодной деформации. XI международный конгресс прокатчиков. Материалы конгресса. 2017. С. 338-342.

10 Логинов Ю.Н., Пузанов М.П. Моделирование процесса осадки цилиндрической заготовки при использовании условия текучести Хилла. Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2017. № 9. С. 11-16.

11 Antonova O.V., Volkov A.Y., Komkova D.A., Antonov B.D. Microstructure and texture of pure magnesium after room-temperature lateral extrusion. Materials Science and Engineering: A. 2017. V. 706. P. 319-329.

УДК 669.168.74(574.244)(035.3)

**МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ
МАРГАНЦЕВОЙ РУДЫ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА
МАРГАНЦЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ**

**METALLURGICAL PROCESSING OF PRODUCTS ENRICHMENT
OF MANGANESE ORE AND WASTE MANGANESE FERROALLOYS
PRODUCTION**

*Мяновская Я.В., Пройдак Ю.С., Камкина Л.В., Камкин В.Ю., Токарев С.И.
Национальная металлургическая академия Украины (НМетАУ), г. Днепр,
Украина*

lydmila_kamkina@ukr.net

*Mianovska Yana, Projdak Yuriy, Kamkina Lydmila, Kamkin Vladimir,
Tokarev Semen*

Nationalmetallurgical Academy of Ukraine, Dnepr, Ukraine

lydmila_kamkina@ukr.net

Аннотация: Основное количество марганецсодержащих отходов утилизируется путем их агломерации с марганцевым концентратом. Агломерации подвергаются мелкодисперсные материалы - пыль, шламы агломерационного и ферросплавного производства, отсеvy шлакопереработки. Определено влияние количества вторичных марганецсодержащих материалов в аглошихту на качество и механические свойства агломерата, установлены оптимальные пределы основных параметров агломерации для обеспечения более полной утилизации отходов.

Ключевые слова: марганец, отходы, пыль, шлам, растительные остатки, агломерат

Abstract: The main amount of manganese-containing waste is disposed of by agglomeration with manganese concentrate. Finely dispersed materials are

agglomerated - dust, sludge from sintering and ferroalloy production, screenings of slag processing. The influence of the amount of secondary manganese-containing materials in the sinter charge on the quality and mechanical properties of the sinter is determined, optimal limits for the main parameters of sintering are established to ensure more complete waste disposal.

Key words: manganese, waste, dust, sludge, plant residues, agglomerate

В отличие от других металлургических процессов, при производстве ферросплавов образуется большое количество отходов, богатых марганцем / хромом, которые потенциально могут быть переработаны. Мелкодисперсный вид вторичных материалов, высокое содержание влаги и наличие щелочей требует тщательного подбора технологии их утилизации. Задача состоит в том, чтобы превратить такой антропогенный материал в подходящее сырье для печи [1-3].

Авторы [3] отмечают, что отсутствие переработки отходов на ферросплавных заводах частично связано с низкой экономической эффективностью доступных методов, высокими капитальными затратами и эксплуатационными расходами. В то же время сокращение отходов будет способствовать улучшению состояния окружающей среды, условий вокруг ферросплавных заводов и, следовательно, косвенно снижают государственные расходы. В этой работе предлагаются меры, включая строительство новых плавильных установок, оборудованных современными очистителями газа и печи постоянного тока, которые не требуют использования гранулированных материалов; а также экономически целесообразное использование природных полезных ископаемых и промышленных отходов.

Анализ современного состояния агломерационного производства, повышения качества продукции и утилизации мелкодисперсных вторичных материалов показал, что наиболее перспективным направлением является совершенствование методов подготовки аглошихты к спеканию. Для получения качественного агломерата и обеспечения высокой производительности агломашин особые требования предъявляются к гранулометрическому составу шихтовых материалов - крупность шихты должна составлять 0,3-0,5 мм, коксовой мелочи 1,0-2,0, возврат - 3,0-5,0 мм.

Наиболее рациональным способом утилизации мелкодисперсных вторичных материалов является их агломерация совместно с основной рудной составляющей аглошихты. Исследование вещественного состава вторичного марганецсодержащего сырья показало, что они представлены оксидами марганца, железа, карбонатами, силикатами, кварцем и углем [4]. По содержанию марганца пыль и шламы не уступают карбонатному концентрату I сорта.

Основное количество марганца теряется с отвальными шлаками, так как из-за высокого содержания пустой породы в концентратах их выход постоянно растет. Второй по величине статьей потерь марганца являются шламы и пыль газоочистных установок агломерационного и ферросплавного производств.

Основное количество марганецсодержащих отходов утилизируется путем их агломерации с марганцевым концентратом. Агломерации подвергаются мелкодисперсные материалы - пыль, шламы агломерационного и ферросплавного производства, отсеvy шлакопереработки и граншлак. Суммарное количество отходов в аглошихту составляет более 10%. Введение в аглошихту такого количества отходов приводит к ухудшению качества агломерата как по химическому составу, так и по механическим свойствам.

Важным является определение влияния количества вторичных марганецсодержащих материалов в аглошихту на качество и механические свойства агломерата, установления оптимальных границ основных параметров агломерации и разработка рациональной технологической схемы, обеспечивающей более полную утилизацию отходов.

Вторичными материалами, с которыми теряется около 30% марганца при производстве марганцевых ферросплавов в руднотермических закрытых и герметичных печах, являются: шламы мокрой газоочистки электропечей, агломашины, разливочных машин, пыль вентиляционных систем дозирующих отделений, сухая пыль газоочистки разливочных машин, отсеvy шлакопереработки, граншлак, мелочь ферросплавов (-5 мм),металоконцентрат - продукт обогащения отвальных шлаков.

Химический и гранулометрический состав отходов. Для определения химического состава вторичных материалов были отобраны представительские пробы на всех участках их образования. Массовая доля компонентов в сырье определялась химическими методами анализа. Вещественный и гранулометрический состав материалов, использованных для проведения исследований, представлен в таблицах 1 и 2.

Из приведенных данных видно, что по содержанию марганца вторичные материалы - пыль, шламы не уступают карбонатному концентрату I сорта, а в металлоконцентрате и отсевах силикомарганца его содержится в 1,6-2,1 раза больше, чем в основном марганецсодержащем сырье. Значительный интерес представляет шламы ферросплавного цеха, содержащие более 40% CaF₂ и которые пока не нашли применения. По гранулометрическому составу вторичные материалы представлены в основном фракцией менее 10 мм, поэтому утилизировать их можно только в окускованном виде.

Таблица 1 - Химический состав исходных материалов

Материал	Содержание компонентов									
	Mn	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	C	CaF ₂	п.п.п.
Марганцевый концентрат II сорта	34,6	21,4	2,7	6,7	1,2	2,1	0,224	-	-	15,8
Карбонатный марганцевый концентрат I сорта	28,6	16,0	2,5	12,0	1,4	2,5	0,15	-	-	26,0
Шлам аглофабрики	31,1	13,4	41	7,0	2,2	5,0	0,23	7,7	-	10,4
Пыльвентсистем	2,6	22,0	3,9	12,4	0,7	2,3	0,234	5,0	-	6,3
Граншлак	11,8	41,3	0,8	28,1	1,9	3,9	0,007	-	-	

Отсевы шлакопереработки	15,4	46,3	1,3	17,7	3,9	-	-	-	-	-
Шлам флюсоплавильного цеха	3,5	7,5	-	13,0	2,9	-	-	-	43,4	-
Металлоконтрат	36,7	33,2	-	3,5	0,96	1,2	0,35	1,8	-	-
Отсевы силикомарганца	71,0	18,3	-	-	-	-	0,43	1,4	-	-

Таблица 2 - Гранулометрический состав марганцевых вторичных материалов

Материал	Фракция, мм													
	+20		+10		5-10		3-5		2-3		0,5-2		-0,5	
Концентрат	10,7		28,3		19,4		11,2		12,1		10,4		7,9	
Карбонатный концентрат	23,4		18,2		14,8		9,3		12,6		16,4		5,3	
Металлоконтрат	-		-		20,2		19,7		34,6		21,4		4,1	
	+10	7-10	5-7	4-5	3-4	2,5-3	2-2,5	1-2	0,5-1	0,25-0,5	0,1-0,25	0,05-0,1	0,0	
Шлам	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	3,9	15,5	38,5	41,6	
Пыль	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	0,6	4,6	10,7	83,8	
Шлам ФПЦ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	59,4	30,1	10,0	
Граншлак	0,26	0,53	0,5	0,52	0,58	0,6	9,3	36,2	29,7	14,6	6,73	0,34	0,14	
Отсевы шлакопереработки	-	-	0,1	0,3	5,35	7,35	9,95	22,95	20,4	17,5	15,3	0,45	0,35	

Физико-химические свойства вторичных материалов. Плотность вторичных материалов определяли пикнометрическим методом, а удельную поверхность - методом адсорбции газов. Температуру плавления определяли с помощью оптического микроскопа. Результаты выполненных исследований (таблица 3) показали, что удельная поверхность шламов более чем в 2 раза выше по сравнению с пылью. Температуры плавления шламов и пыли близки между собой, но чуть ниже температуры плавления марганцевых концентратов. Марганецсодержащие шламы и пыль представлены в основном гаусманитом и курнакитом, а также содержат сульфаты и сульфиды железа, свинца, плавиковый шпат (таблица 4).

Таблица 3 – Физические свойства вторичных материалов

Материал	Удельная поверхность, м ² /кг	Плотность, кг/м ³	Температура плавления	
			Начало плавления	Формирование капли
Марганецсодержащая пыль	462	3,46·10 ³	1090	1270
Шлам	1346	3,1·10 ³	1140	1390
Металлоконтрат	-	4,92·10 ³	-	-
Отсевы силикомарганца	-	6,1·10 ³	-	-

Таблица 4 – Минеральные составляющие марганецсодержащих шламов и пыли, %

Материал	Оксиды Mn	Оксиды Fe	Карбонаты	Силикаты, глины, стекло	Кварц	Углерод	Сульфиды	Сульфаты	CaF ₂	Апатит
Шлам	19	3	26	25	6	16	2,0	1	0,9	1,1
Пил	41	4	14	22	12	5	0,3	0,3	0,2	1,2

Следует отметить, что отсеvy шлакопереработки, металлоконцентрат и отсеvy ферросплавов содержат металлическую фазу. Поэтому использование этих материалов в восстановительной плавке должно положительно повлиять на ход физико-химических процессов образования металла и его осаждения.

Таким образом, выполненные исследования вещественного состава и физико-химических свойств вторичных марганецсодержащих материалов показали, что в своем составе они содержат полезные компоненты в количестве не ниже чем в исходном марганцеворудном сырье. В связи с тем, что отходы являются мелкодисперсными материалами, утилизировать их при производстве ферросплавов возможно только в виде предварительно окускованного материала. Использование вторичных материалов в различных соотношениях позволяет улучшить качество агломерата как по содержанию в нем марганца, так и по механическим свойствам.

Влияние состава агломерационной шихты на процесс спекания агломерата. В настоящее время практически единственным способом окускования марганцевого сырья в промышленных условиях является агломерация. Поэтому утилизировать вторичные марганецсодержащие материалы можно путем совместного спекания с марганцевого концентрата.

Опыты по определению влияния количества марганецсодержащих отходов в аглошихту на процесс спекания и качество агломерата проводили в лабораторной чаше диаметром 200 мм и высотой 300 мм. Взвешенные материалы увлажняли и подвергали предварительному окомкованию в барабане в течение 2-3 мин., а затем их загружали в аглочашу и проводили процесс спекания. Первоначальное разряжение составляло 1000 мм, а продолжительность зажигания 1,5-2 минуты. Начало снижения температуры отходящих газов, свидетельствовало о завершении процесса спекания. Полученный агломерат сбрасывали с высоты 2 м и определяли количество фракции +10 мм и -10 мм.

Для спекания агломерата применяли окисленный II сорта и карбонатный марганцевые концентраты, шламы аглофабрики, граншлак, отсеv шлакопереработки, пыль вентсистем, металлоконцентрат и отсеv ферросплавов. Химический и гранулометрический составы этих материалов приведены в таблицах 1 и 2.

При проведении опытов по спеканию шихты исследовали влияние количества вторичных материалов на содержание марганца в агломерате и его механические свойства. Сначала в шихту, состоящую из концентрата II сорта,

карбонатного концентрата, возврата и топлива (вариант 1) вводили 10, 15, 20% (вариант 2, 3, 4) смеси вторичных материалов. Соотношение компонентов вторичных материалов во всех вариантах не менялось и было следующим, %: шлам - 60, граншлак - 25, пыль вентсистем - 7, отсеvy шлакопереработки - 8. Такое соотношение материалов были выбраны исходя из количества образующихся отходов и опыта работы аглофабрики по утилизации марганецсодержащих отходов. В вариантах 5, 6, с целью компенсации снижения содержания марганца в агломерате, вводили соответственно металлоконцентрат и отсеvy ферросплавов (фракция - 5 мм) за счет снижения навески концентрата II сорта. В варианте 7 (аналогичный 4 варианту) марганцеворудное сырье II сорта и карбонатный концентрат измельчались до фракции -10 мм. Во всех вариантах опытов количество топлива и возврата в шихте оставалось постоянным. Состав шихты по вариантам, механические свойства и химический состав полученного агломерата приведены в табл. 5. По всем вариантам выполнили по 4 спекания - одно на возврат и три спекания с целью получения необходимого количества агломерата для проведения испытаний на барабане Рубина. На химический анализ отбиралась средняя проба из трех спеканий.

Введение в аглошихту вторичных материалов сопровождается снижением содержания марганца в агломерата на 0,4-1,5% по сравнению с базовым вариантом. Подшихтовка 2-2,3% отсева ферросплавов и металлоконцентрата позволяет повысить содержание марганца в готовом агломерате до уровня базового. Подшихтовка мелкодисперсных и легкоплавких вторичных материалов способствует некоторому повышению механической прочности получаемого агломерата. Однако использование для спекания агломерата неподготовленных шихтовых материалов не обеспечивает должного взаимодействия составляющих шихты, что приводит к снижению механической прочности агломерата. Применение для спекания агломерата шихтовых материалов фракции -10 мм (вариант 7) оказывает определяющее влияние на механическую прочность продукта.

Свойства опытного агломерата. По содержанию марганца и фосфора готовый агломерат соответствует марке АМНВ-2, практически не отличается от промышленного и вполне пригоден для выплавки силикомарганца. Механические свойства агломерата (прочность и истираемость) несколько выше, что обусловлено более тщательной подготовкой шихты в условиях лабораторных опытов. Следует также отметить, что полученный агломерат был более оплавленный и имел плотную макроструктуру. Применение такого агломерата при восстановительной плавке снижает реакционную способность вследствие малой удельной поверхности.

С целью повышения восстановимости агломерата провели спекания с использованием в аглошихту разрыхлителей - шелуха зерна. В опытах использовали шелуху зерна подсолнечника, содержащей 2,5% золы, 7% влаги, 12% твердого углерода, остальные летучие. Вводили 2-3% шелухи. Пористость готового агломерата повысилась на 20-22%.

Для проведения спеканий вторичных материалов с марганцевым концентратомаглошихты был проведен химический анализ возврата и агломерата по фракциям (таблица 5). Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что спекание агломерата с использованием неподготовленного марганецсодержащего сырья (вариант 4) не обеспечивает высокую спекаемость мелкодисперсных вторичных материалов с марганцевым концентратом. Поэтому значительная часть шламов и пыли попадает в возврат. Спекание шихты аглокласса обеспечивает более равномерное распределение вторичных материалов в общей массе агломерата (вариант 6).

Таблица 5 – Химический состав возврата (1-7) и марганцевого агломерата (6-11) по фракциям*

№	Фракция, мм	Содержание компонентов, %								
		Mn	SiO ₂	Fe	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	R ₂ O	S
1.	-0,25	26,5	20,6	5,2	6,3	1,8	2,0	0,224	2,9	0,92
		32,3	22,4	3,1	5,5	1,9	2,0	0,220	2,6	0,78
2.	+0,25	28,3	25,2	4,1	6,2	1,7	2,0	0,205	3,75	0,70
		34,1	24,1	3,4	5,7	2,0	1,9	0,210	2,90	0,74
3.	+0,50	29,1	30,0	2,9	6,3	1,5	1,9	0,200	2,45	0,63
		35,2	26,2	2,0	6,0	2,1	2,0	0,200	2,50	0,65
4.	+1,0	36,3	22,6	2,4	6,9	1,6	2,1	0,290	2,35	0,60
		35,4	22,3	3,2	5,9	1,3	2,0	0,220	2,20	0,62
5.	+3,0	37,4	18,5	2,1	7,9	2,1	2,0	0,215	2,35	0,42
		36,2	20,5	3,6	6,3	1,9	2,1	0,210	2,20	0,51
6.	+5,0	39,0	18,8	2,1	8,2	2,5	2,0	0,255	2,2	0,28
		36,5	21,1	3,0	6,4	2,1	2,1	0,230	2,1	0,30
7.	+7,0	36,6	19,2	2,5	9,3	2,4	1,9	0,225	2,0	0,27
		36,9	23,2	2,9	6,7	2,3	2,0	0,220	2,1	0,29
8.	-0,5	30,4	19,1	4,4	8,3	1,6	1,9	0,201	1,35	0,24
		35,2	23,6	3,4	5,8	2,0	2,1	0,200	2,0	0,25
9.	-5,0	37,1	21,2	2,9	7,5	2,4	1,9	0,209	2,36	0,20
		37,3	24,2	2,6	6,6	2,5	2,0	0,205	2,4	0,21
10	+5,0	37,5	22,3	2,8	7,8	2,4	1,9	0,207	2,43	0,24
		37,6	25,1	2,3	6,4	2,6	2,1	0,204	2,3	0,25
11.	+10,0	37,2	23,3	4,1	7,3	2,4	2,0	0,206	2,45	0,20
		37,4	24,8	2,4	6,7	2,4	2,1	0,200	2,5	0,22

Числитель – вариант 4, знаменатель – вариант 6

Исследование микроструктуры опытного агломерата.

Агломерат, полученный по обычной технологии, имеет характерную структуру. Характерной особенностью агломерата есть преимущество силикатной составляющей и неоднородная структура, обусловленная составляющими шихты. Агломерат, полученный из окисленного концентрата, представлен гаусманитом, тефроитом и стеклом (рис. 1 а, б), а карбонатным - состоит из твердых растворов CaO·MnO, CaO·Mn₂O₃ и силикатных твердых растворов переменного состава.

Выполненный петрографический анализ микроструктуры образцов агломерата свидетельствует о том, что в процессе агломерации марганцеворудного сырья с вторичными материалами, содержащими металлические включения ферросплавов, окисления их практически не наблюдается. Мелкие частицы пыли и шламов подверглись тем же изменениям, что и окисленный концентрат (рисунок 1 в), а степень восстановимости больших агрегатов значительно ниже. При нагревании такие агрегаты потеряли структурно связанную воду, а при охлаждении снова были гидратированы. Тефроит и стекло в них не сформировались, цементирующая связка отсутствует, и при изготовлении шлифов такие агрегаты выкрашиваются (рисунок 1 г).

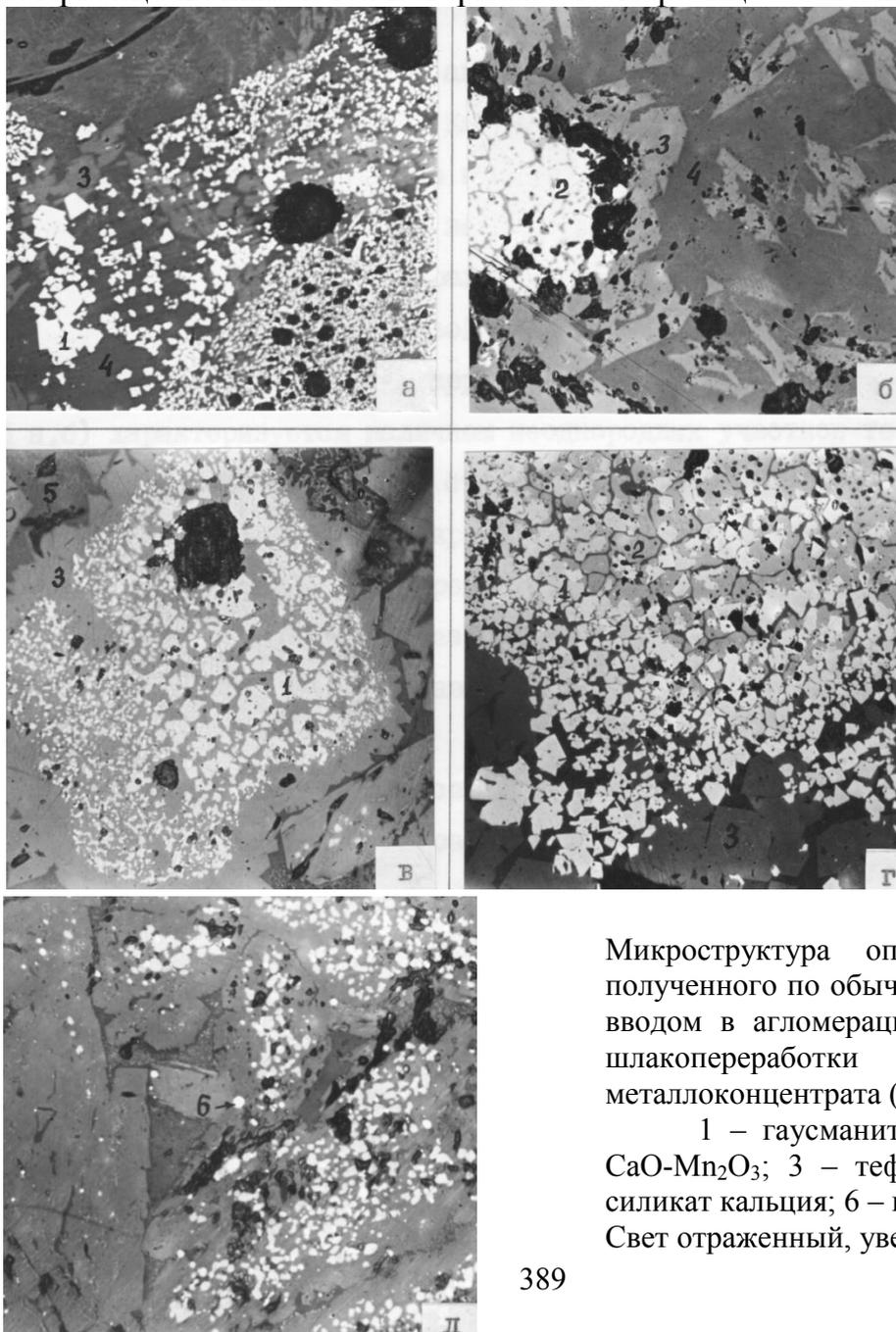
Стекловидные и скрыто кристаллические крупнопористые кусочки спека расположены в основном по периферии, о чем свидетельствует множество кратеров - следов выхода газовой фазы (рисунок 1 д). Более мелкие кусочки шлака расплавились, частично отреагировали с концентратом, в результате перекристаллизации образовали тефроит и кристобалит. Частицы металлоконцентрата, а также пограничная область не претерпели никаких изменений.

Большая часть вторичных марганецсодержащих материалов неполно используется. Отходы производства занимают значительные земельные площади. Повышение степени утилизации марганецсодержащих отходов ферросплавного производства позволит создать практически безотходную технологию их выплавки. Это позволит освободить значительные площади плодородных земель от шламохранилищ, улучшить экологическую обстановку в регионе и повысить эффективность использования марганца.

Анализ современного состояния интенсификации агломерационного производства, повышения качества продукции и утилизации мелкодисперсных вторичных материалов показал, что наиболее перспективным направлением является совершенствование методов подготовки аглошихты до спекания, включающие усреднения шихтовых материалов, дозирования, смешивания, окомкования с увлажнением, подогрев аглошихты, загрузку на аглоленту. Для получения качественного агломерата и обеспечения высокой; производительности агломашины особые требования предъявляются к гранулометрическому составу шихтовых материалов - крупность шихты должна составлять 0,3-0,5 мм, коксовой мелочи 1,0-2,0, возврат - 3,0-5,0 мм.

Мелкозернистая микроструктура минеральных фаз (рисунок 1 а) образовалась в окислительно-восстановительных условиях формирования структуры агломерата и является гаусманитом. Природный минерал гаусманит представле формулой $Mn^{2+}Mn_2^{3+}O_4$. В структуре агломерата гаусманитовая фаза может быть продуктом реакций восстановления рудных минералов марганца – пиролюзита, псиломелана, манганита и др. Кроме того, образовались сложные комплексные силикатные системы состава SiO_2 -CaO-MnO-MgO и Al_2O_3 .

Отмечено [7], что в процессе агломерации аглошихт при получении марганцевых агломератов с использованием различных по химическому и минералогическому составам марганцевых концентратов образуются синтетические щелочные алюмосиликатные образования сложного химического состава. Полученные авторами данные представляют интерес для оценки поведения опытных агломератов, полученных при использовании различных вторичных материалов. Имеющиеся сведения свидетельствуют о наличии в составе продуктов обогащения, пыли вентсистем оксидов натрия и калия. Такие минеральные образования могут возникать по границам зерен марганцевых минералов и приводят к понижению температуры плавления агломерата при выплавке силикомарганца. Кроме того, наличие в составе печных шлаков при выплавке силикомарганца MnC17 оксидов щелочных металлов снижает вязкость кремнеземистых шлаков [8], в результате чего улучшаются условия гравитационного осаждения корольков восстановленного силикомарганца и снижаются потери сплава марганца с отвальным шлаком.



Микроструктура опытного агломерата, полученного по обычной технологии (а, б), с вводом в агломерационную шихту отсевов шлакопереработки (в, г) и металлоконцентрата (д):

1 – гаусманит; 2 – твердый раствор CaO-Mn₂O₃; 3 – тефроит; 4 – стекло; 5 – силикат кальция; 6 – корольки металла.
Свет отраженный, увеличение 210.

Выводы. Анализ современного состояния агломерационного производства показал, что наиболее перспективным направлением является совершенствование методов подготовки аглошихты к спеканию. Для получения качественного агломерата и обеспечения высокой; производительности агломашинны особые требования предъявляются к гранулометрическому составу шихтовых материалов - крупность шихты должна составлять 0,3-0,5 мм, коксовой мелочи 1,0-2,0, возвращение - 3,0-5,0 мм. Наиболее рациональным способом утилизации мелкодисперсных вторичных материалов является их агломерация совместно с основной рудной составляющей аглошихты.

Исследование вещественного состава вторичных марганецсодержащих материалов показало, что они представлены оксидами марганца, железа, карбонатами, силикатами, кварцем и углеродом. По содержанию марганца пыль и шламы не уступают карбонатному концентрату I сорта.

Список литературы

1 Waste Management. Volume 80, October 2018, Pages 457-465. Recycling of ferromanganese gas cleaning plant (GCP) sludge by novel agglomeration. Y. Rama Murthya, Gajanan U. Kapurea, Sunil Kumar Tripathya, G.P. Sahub. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.023>

2 Hajime Ohno, Kazuyo Matsubae, Kenichi Nakajima, Yasushi Kondo, Shinichiro Nakamura, Yasuhiro Fukushima, Tetsuya Nagasak. Optimal Recycling of Steel Scrap and Alloying Elements: Input/Output based Linear Programming Method with Its Application to End-of-Life Vehicles in Japan. Environ. Sci. Technol. American Chemical Society. 2017, 51, 13086–13094. DOI: 10.1021/acs.est.7b04477

3 Utilization of Resources in Ferroalloy plant. Arnab Dey, Ayan Malakar, Rajarshi Chakraborty. <http://www.technobiz.org/3R-2019-Abstracts/Session-8-Recovery%20process%20for%20industriall%20and%20hazardous%20waste/8-5%20Rajarshi%20Chakraborty-oral.pdf>

4 Metallургия марганца Украины / Величко Б.Ф., Гаврилов В.А., Гасик М.И., Грищенко С.Г. и др. // - Київ: Техніка, 1996. - 472 с.

5 Камкина Л.В., Колбин Н.А., Мешалкин А.П., Анкудинов Р.В. Выбор углеродистых восстановителей для интенсификации восстановительных процессов. // II Международная научно-практическая конференция «Металлургия 2013». 21-23 мая 2013 г. Запорожье. - С. 265-266.

6 Пройдак Ю.С., Мянновская Я.В., Бабенко А.В., Камкин В.Ю. Управление эффективностью агломерационного процесса при вводе мелкозернистого марганцевого концентрата 2 сорта. // Тезисы МНК «Информационные технологии в металлургии и машиностроении». г. Днепрпетровск, март 2015 г. - С. 25.

7 Шуваев С.П., Гасик М.И., Жаданос А.В., Сальников А.С., Бортников Ю.Н. Рентгеноспектральный микроанализ минеральной структуры и

химического состава марганцевого агломерата с применением в аглошихти концентрата высокоинтенсивной магнитной сепарации шламов обогащения марганцевой руды. Сучасні проблеми металургії, №200 – 2017. С.102-110.

8 Жунусов А. К. Металлургическая переработка марганцевых руд месторождения «Тур» и «Западный Камыс» / А. К. Жунусов, Л. Б. Толымбекова. - Павлодар : Кереку, 2016. - 209 с.

УДК 669

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА КОВКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ЗАГОТОВОК СО ВЗАИМНЫМ СМЕЩЕНИЕМ БОЙКОВ

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE FORGING METHOD OF LONG-LENGTH BLANKS WITH MUTUAL DISPLACEMENT OF ANVILS

Волков В.П.¹, Салихьянов Д.Р.^{1,2}, Каманцев И.С.¹, Шамшиев А.А.²

¹ Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия, ² Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

d.r.salikhianov@urfu.ru

Volkov Vladimir¹, Salikhyanov Denis^{1,2}, Kamantsev Ivan², Shamshiev Aziret¹

¹ Institute of Engineering Science, Ural Branch of The Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia, ² Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

d.r.salikhianov@urfu.ru

Аннотация: Современное кузнечно-прессовое производство поковок из различных марок сталей и сплавов идет по пути повышения механических свойств готовых изделий, увеличения производительности труда и снижения энерго-силовых параметров ковочных операций. Об этом свидетельствует большое количество работ, посвященных разработке и исследованию новых технологийковки с применением специального инструмента, позволяющего реализовать интенсивную пластическую деформацию. Благодаря применению новых схемковки с интенсивной пластической деформацией удается обеспечить существенное измельчение структуры металла при тех же самых коэффициентах улова, что и при традиционных схемахковки. В работе представлены результаты разработки и исследования нового способаковки длинномерных стальных заготовок со взаимным смещением бойков. С помощью компьютерного моделирования методом конечных элементов выполнено сопоставление параметров напряженно-деформированного состояния при ковке стальных длинномерных заготовок по новой и традиционной схемам. Показано, что при ковке по новой схеме накопленная степень деформации и равномерность ее распределения по сечению заготовки выше, чем при ковке по традиционной схеме. Апробация нового способаковки

выполнена на гидравлическом прессе для заготовок из алюминиевого сплава Д16.

Ключевые слова: ковка, сдвиговая деформация, бойки, интенсивная пластическая деформация

Abstract: Modern forge–press production of large steel forgings is moving along the way of increasing service properties, labor productivity and reducing energy-power parameters. This is evidenced by a significant number of works devoted to the study of forging technology with the use of special tools that allow implementing severe plastic deformation. As a result, it is possible to significantly improve the fragmentation of metal structure at the same values of the forge reduction. The paper presents the results of the development and investigation of the new method of forging of large steel billets with intensification of shear deformation and with the use of standard anvils. The analysis of the stress-strain state in comparison with traditional forging scheme on an example of forging of billets made of steel is presented. It is shown that for the new method, with the same reduction values, the accumulated degree of shear deformation, as well as the uniformity of its distribution, is higher. Approbation of the new method of forging on a hydraulic press was carried out for the blanks made of aluminium alloy D16 (State Standard GOST 21488-97).

Key words: forging, shear deformation, anvils, severe plastic deformation

Введение

Разработка и исследование процессов протяжки стальных заготовок с интенсификацией сдвиговой деформации, в том числе реализация интенсивной пластической деформации, является актуальным направлением исследований в процессах кузнечно-прессового производства [Ошибка! Источник ссылки не найден.–21]. По сравнению с традиционными схемами ковки, процессы ковки с развитой сдвиговой деформацией в продольном и поперечном сечении позволяют значительно повысить эксплуатационные свойства, обеспечить закрытие внутренних дефектов литейного происхождения, а также проработать структуру металла заготовки [Ошибка! Источник ссылки не найден.,9]. Для изделий ответственного назначения процессы ковки с интенсификацией сдвиговой деформации позволяют исключить энерго-затратную операцию осадки из технологического процесса [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Из опубликованных работ известны следующие схемы ковки с интенсификацией сдвиговой деформации: ковка заготовок скошенными бойками [Ошибка! Источник ссылки не найден.], комбинированными несимметричными бойками [Ошибка! Источник ссылки не найден.,11], вырезными несимметричными бойками [9], ступенчатыми бойками [Ошибка! Источник ссылки не найден.], бойками с перекрещивающимися крест-накрест рабочими поверхностями [13] и некоторыми другими [Ошибка! Источник ссылки не найден.–16].

У вышеуказанных работ при существующих достоинствах можно отметить следующие недостатки: 1) потребность в специальном инструменте для заготовок разных формы поперечного сечения и размеров; 2) для

некоторых способов – отсутствие изменений в размерах, тогда как задачи процессовковки заключаются не только в улучшении механических свойств, но и в придании заготовке заданных размеров.

Описание способаковки со взаимным смещением бойков

В работе предложен новый способковки заготовок с интенсификацией сдвиговой деформации, заключающийся в ковке заготовок плоскими бойками стандартной формы с их взаимным смещением на определенную величину Δx . Смещение бойков относительно друг друга на величину Δx обеспечивает дополнительную сдвиговую деформацию и может осуществляться на гидравлическом прессе с помощью выдвигного стола. Схема процесса представлена на рис. 1, а. Ковка заготовки 3 осуществляется плоскими бойками 1 и 2 шириной b и c с взаимным смещением на величину Δx . Вследствие смещения бойков Δx заготовка 3 в процессековки подвергается продольному изгибу, поэтому после окончания прохода необходима операция правки. Продольного изгиба заготовки можно избежать, если после каждого обжатия осуществлять кантовку заготовки, а величина сдвига между бойками Δx при этом остается постоянной. В этом случае в конце прохода продольный изгиб минимален[17–18].

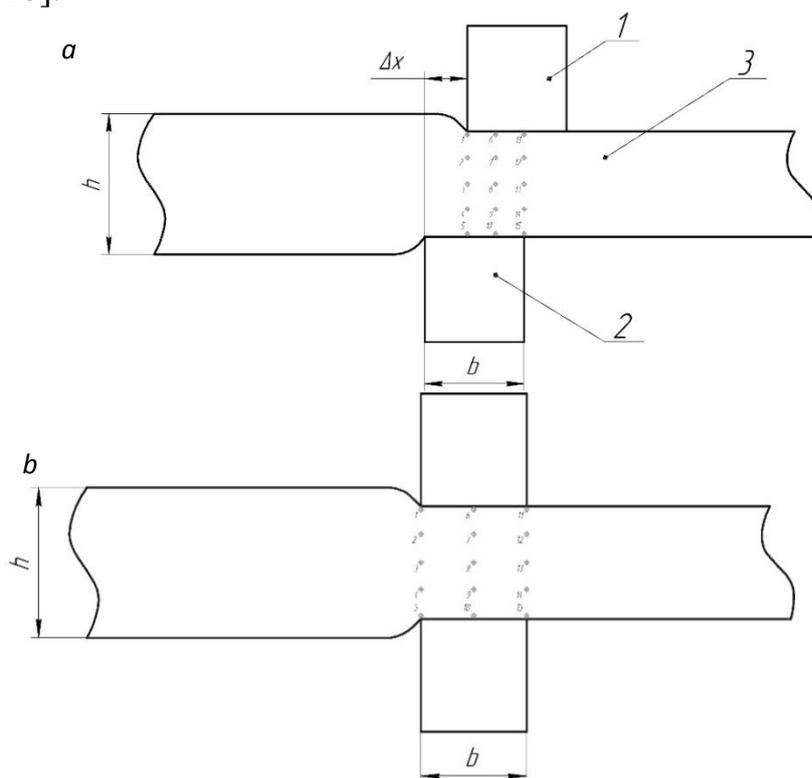


Рисунок 1 - Схемаковки с (a) и без (b) взаимного смещения бойков

Исследование параметров напряженно-деформированного состояния процессаковки

С целью анализа напряженно-деформированного состояния процессаковки с взаимным смещением бойков было выполнено компьютерное моделирование различных вариантовковки с помощью программного пакета Q-Form. В качестве материала заготовки была принята быстрорежущая сталь

Р6М5, размеры заготовки – 12x12 мм, ширина бойков b – 10 мм, коэффициент трения по Зибелю – 0,3. Обжатия за проход $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$ составляли 0,21, где h_0 и h_1 – исходная и конечная высота заготовки. Были поставлены задачи по трем вариантам: а) традиционная ковка (рисунок 1, б), б) ковка с взаимным смещением бойков (рисунок 1, а), с) ковка с попеременным смещением бойков. Параметры напряженно-деформированного состояния – степень деформации сдвига Λ , относительное среднее нормальное напряжение $\frac{\sigma}{T}$ оценивались по точкам геометрического очага деформации, в соответствии со схемой расположения, изображенной на рисунок 1 а, б. Исследуемые параметры сведены в таблице 1.

Таблица 1 - Параметры напряженно-деформированного состояния при ковке по традиционной и новым схемам

№ точки	Традиционная ковка		Ковка со взаимным смещением бойков		Ковка со попеременным смещением бойков	
	Λ	$\frac{\sigma}{T}$	Λ	$\frac{\sigma}{T}$	Λ	$\frac{\sigma}{T}$
1	0,20	-2,45	0,18	-11,13	0,24	-5,22
2	0,12	-2,22	0,14	-1,44	0,16	-9,21
3	0,09	-3,14	0,10	-3,99	0,15	-2,10
4	0,10	-1,30	0,10	-1,83	0,21	-0,98
5	0,15	-1,86	0,15	1,47	0,24	-2,74
6	0,28	-0,75	0,21	-1,61	0,32	-1,09
7	0,20	-1,23	0,20	-0,30	0,24	-2,95
8	0,16	-9,43	0,20	-1,69	0,20	-0,62
9	0,17	-13,79	0,22	-2,31	0,23	-1,25
10	0,24	1,83	0,27	-2,76	0,23	-2,85
11	0,25	2,05	0,36	-0,97	0,31	-1,90
12	0,18	-11,00	0,21	-4,76	0,28	1,28
13	0,18	-0,79	0,17	8,24	0,24	-3,15
14	0,19	4,24	0,22	4,99	0,24	-0,47
15	0,25	2,75	0,32	-2,11	0,28	-2,12
Среднее значение \bar{m}	0,18	-2,47	0,20	-1,35	0,24	-2,36
Стандартное отклонение S	0,04	3,66	0,05	2,69	0,03	1,60
Коэффициент вариации $\frac{s}{\bar{m}}$	0,23	-1,48	0,25	-2,00	0,14	-0,68
Минимальное значение	0,09	-13,79	0,1	-11,13	0,15	-9,21
Максимальное значение	0,28	4,24	0,36	8,24	0,32	1,28

Из полученных результатов видно, что в среднем накопленная степень деформации сдвига Λ за один проход дляковки со сдвигом бойка в одном направлении и с попеременным сдвигом бойков больше в 1,1 и 1,3 раза соответственно. Коэффициент вариации $\frac{s}{m}$ указывает на то, что при ковке с попеременным сдвигом бойков распределение деформации более равномерное – коэффициент вариации меньше в 1,6 раза. Максимальные значения относительного среднего нормального напряжения $\frac{\sigma}{T}$ больше дляковки со смещением бойков, что указывает на большую долю растягивающих напряжений.

Апробация способаковки со взаимным смещением бойков на гидравлическом прессе

Для оценки результатов конечно-элементного моделирования условий деформирования по предложенной схеме была проведена экспериментальная работа. Апробация процессаковки со взаимным смещением бойков была выполнена на гидравлическом прессе усилием 90 тс лаборатории деформирования и разрушения Института машиноведения УрО РАН. В качестве заготовки был использован пруток из алюминиевого сплава Д16 (ГОСТ 21488-97). В качестве критерия оценки интенсификации развитой сдвиговой деформации являлось условие появления линий сдвига на боковой поверхности. Сборка образца и бойков представлена на рис. 2, а. После единичного обжатия бойками со взаимным смещением на боковой поверхности образца отчетливо видны линии сдвига (рисунок 2, б), что подтверждает интенсификацию сдвиговой деформации.

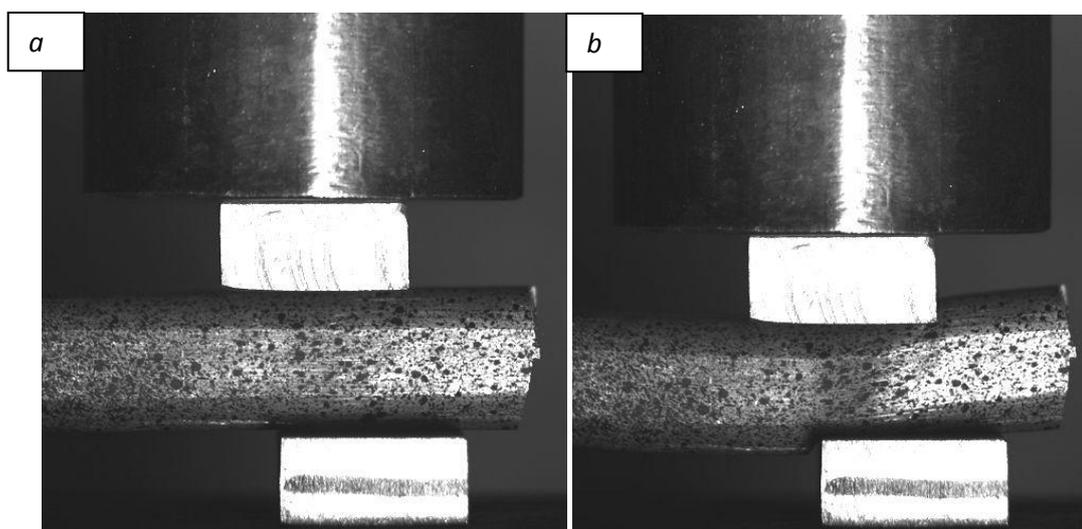


Рисунок 2 - Сборка образца и бойков со взаимным смещением (а), осаженный образец с линиями сдвига на боковой поверхности (б)

Стоит отметить, что при экспериментальной ковке энергосиловые параметры деформирования, контролируемые по величине развиваемого

давления, существенно ниже, чем при обычной ковке без смещения бойков. Это объясняется малой долей нормальных напряжений.

Заключение

Предложен новый способковки крупных заготовок с интенсификацией сдвиговой деформации. Способ заключается в ковке стальных заготовок с продольным смещением плоских бойков на заданную величину. Компьютерное моделирование процесса в программном пакете Q-Form показал, что по сравнению с традиционной схемой возможно повысить накопленную степень деформации сдвига Λ за один проход в 1,3 раза, а также равномерность ее распределения по сечению заготовки (коэффициент вариации меньше в 1,6 раза). Была успешно выполнена апробация нового способа на гидравлическом прессе в лабораторных условиях.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания № 11.9538.2017/8.9. Работа выполнена при финансовой поддержке постановления №2 11 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.A03.21.0006.

В исследовании было использовано оборудование ЦКП «Пластометрия».

Благодарим ООО «КванторФорм» за предоставленную лицензию на ПО QForm.

Список литературы

1 Zhbankov I.G., Perig A.V. Intensive Shear Deformation in Billets During Forging with Specially Formed Anvils // Materials and Manufacturing Processes. 2013. № 28. С. 577–583.

2 Алиев И.С., Жбанков Я.Г., Периг А.В. Факторы, влияющие на параметрыковки крупных поковок // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2013. № 1 (15) С. 27 – 45.

3 Tolkushkin A., Panin E., Talmazan V. Development and computer modeling of a new forging technology of forgings such as slabs and plates // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2016. № 4 (51) С. 443–450.

1 Tolkushkin A.O., Lezhnev S.N., Naizabekov A.B. Development and research of the billet forging technology in the newly designed step-wedge dies // Materials Science Forum. 2019. Vol. 946. P. 750–754.

2 Tolkushkin A.O., Panin E.A., Krivtsova O.N., Amanzholov Z.K. Study of microstructure of steel samples deformed in a step-wedge die // Computing, Control, Information and Education Engineering - Proceedings of the 2015 2nd International Conference on Computer, Intelligent and Education Technology (CICET 2015). P. 257–259.

3 Dyja H., Banaszek G., Berski S., Mroz S. Effect of symmetrical and asymmetrical forging processes on the quality of forged products // Journal of Materials Processing Technology. 2004. 157–158. P. 496 – 501.

4 Dyja H., Banaszek G., Mroz S., Berski S. Modelling of shape anvils in free hot forging of long products // Journal of Materials Processing Technology. 2004. 157–158. P. 131–137.

8 Балуев С.А., Тюрин В.А., Влияние формы слитка и технологии егоковки на качество поковок валков // Кузнечно-штамповочное производство. 1985. № 1. С. 7–10.

9 Тюрин В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов // Кузнечно-штамповочное производство. 2007. № 12. С. 8–9.

10 Banaszek G., Stefanik A. Theoretical and laboratory modelling of the closure of metallurgical defects during forming of a forging // Journal of Materials Processing Technology. 2006. № 177. P. 238–242.

5 Park C.Y., Yang D.Y. A study of void crushing in large forgings II. Estimation of bonding efficiency by finite-element analysis // Journal of Materials Processing Technology. 1997. № 72. P. 32–41.

6 Choi S.K., Chun M.S., Van Tyne C.J., Moon Y.H., Optimization of open die forging of round shapes using FEM analysis // Journal of Materials Processing Technology. 2006. № 172. P. 88–95.

7 Jafarzadeh H., Zadshakoyan M., Numerical and experimental studies of splines produced by injection forging process // Materials and Manufacturing Processes. 2011. № 5. P. 703–712.

8 Найзабеков А.Б., Котелкин А.В., Петров В.А., Воронцов Б.К., Ковка поковок прямоугольного сечения и заготовок штамповых кубиков // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1990. № 10. С. 4–6.

9 Тюрин В.А. Дополнительные макросдвиги - технологические резервыковки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1993. № 12. С. 8 – 9.

10 Тюрин В.А., Инновационные технологииковки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2006. № 5. С. 27 – 29.

11 Комбинированные бойки: а.с. 774756 СССР: МКИ В 21 J 13/22 / А.В. Котелкин, В.А. Петров. - № 2715513; заявл. 23.01.79; опубл. 30.10.80, Бюл. № 40.

12 Инструмент дляковки металлов и сплавов: а.с. 471143 СССР: МКИ В 21 J 13/22 / Л.В. Прозоров, Г.А. Пименов, А.А. Костава. - № 1870592; заявл. 11.01.73; опубл. 25.05.75, Бюл. № 19.

13 Инструмент дляковки: а.с. 393018 СССР: МКИ В 21 J 13/02 / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин, Ю.И. Мищенко, М.С. Экарев. - № 1643794; заявл. 30.03.71; опубл. 10.08.73, Бюл. № 33.

14 Воронцов В.К., Найзабеков А.Б., Котёлкина А.В., Петров В.А., Условия развития сдвиговых деформаций при ковке заготовок в ступенчатых бойках // Известия вузов. Черная металлургия. 1987. № 5. С. 50 – 53.

21 Banaszek G., Szota P., A comprehensive numerical analysis of the effect of relative feed during the operation of stretch forging of large ingots in profiled anvils // Journal of Materials Processing Technology. 2005. № 169. P. 437–444.

15 Khajezade A., Parsa M.H., Mirzadeh H., Crystal Plasticity Analysis of Texture Evolution of Pure Aluminum During Processing by a New Severe Plastic Deformation Technique // Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science. 2016. 2 (47) P. 941–948.

16 Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Panin E.A., Research of the deformation process of blanks in the dies with elastic elements // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2017.2 (52) P. 205–212.

17 Volkov V.P., Salikhyanov D.R., Kamantsev I.S., Shamshiev A.A., Development of a Method of Forging Long-Length Blanks with Intensification of Shear Deformation // Materials Science Forum. 2019. 946. P. 782 – 787.

18 Пат. 2674369 РФ, МПК В21J 1/04. Способковки длинномерных заготовок / Волков В.П., Салихьянов Д.Р., Каманцев И.С., Шамшиев А.А.–№ 2018127433, заявл. 25.07.2018; опубл. 07.12.2018.

УДК 621.73

ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ ОТ МАТЕРИАЛА И УСЛОВИЙ ТРЕНИЯ

DEPENDENCE OF FORMING OF FLAT WORKPIECE FROM MATERIAL AND FRICTION CONDITIONS

Соломонов К.Н., Тищук Л.И.

*Филиал Ростовского государственного университета
путей сообщения в г. Воронеж, Россия*

[*konssol@list.ru*](mailto:konssol@list.ru)

Solomonov K.N., Tishchuk L.I.

Branch of Rostov State University of Railway Engineering in Voronezh, Russia

[*konssol@list.ru*](mailto:konssol@list.ru)

Аннотация: представлены исследования зависимости формоизменения плоского образца от материала и условий трения. Приведены результаты виртуальных и лабораторных экспериментов. Показана независимость формоизменения плоского образца от материала и значительная зависимость от условий трения.

Ключевые слова: формоизменение, материал, трение, виртуальный эксперимент, лабораторный эксперимент, пластилин.

Abstract : Research is presented on the dependence of forming of flat workpiece on the material and friction conditions. The results of virtual and laboratory experiments are presented. The independence of forming of flat workpiece from the material and significant dependence from friction conditions are shown.

Key words: forming, material, friction, virtual experiment, laboratory experiment, plasticine.

В процессах объемной штамповки иковки значительную группу составляют плоские заготовки, из которых получают поковки различного назначения, в том числе и с ребрами жесткости. При этом существенную роль при формообразовании поковки играет характер течения металла по полотну заготовки. В этом случае важное значение имеет деформация металла в плоскости зеркала гравюры штампа. Такое деформирование описывается деформационной схемой осадки, при которой толщина слоя уменьшается в направлении действия деформирующей силы, а два других размера увеличиваются. В связи с этим изучение закономерностей и особенностей процесса осадки представляет научно-практический интерес.

Влияние материала на формоизменение при осадке исследовалось в работах отечественных и зарубежных авторов, в том числе и в значительной мере Уральской школы ученых-металлургов [1]. В частности, сравнение уширения параллелепипедов, изготовленных из различных металлов, при осадке на сухих сильно шероховатых плитах показало, что вид материала очень незначительно влияет на формоизменение образца (рисунок 1).



Рисунок 1 - Прямоугольные образцы из свинца, меди, алюминия, стали (слева направо) после осадки

Поскольку для моделирования процессов горячей пластической деформации – а большой ассортимент деталей получают в процессах именно горячей штамповки иковки – подходит, как известно, пластилин, нами были проведены сравнительные лабораторные эксперименты по осадке свинцовых и пластилиновых образцов одинаковой формы и толщины (рисунок 2). Использование пластилина в качестве материала для моделирования формообразования в процессах ОМД вполне оправдано, т.к. пластилин дешевле, удобнее и доступнее любого металла; кроме того, не требует специального оборудования для деформирования. В свою очередь, в качестве металла выбрали свинец по схожим причинам, как наиболее дешевый и легко

деформируемый металл. Тем более, что многолетняя научно-исследовательская практика доказала его обоснованное применение при комнатной температуре для физического моделирования процессов горячей пластической деформации.

Для расширения обобщительной базы результатов экспериментов использовались образцы не традиционной (прямоугольник, квадрат) формы поперечного сечения – пятиконечная звезда.

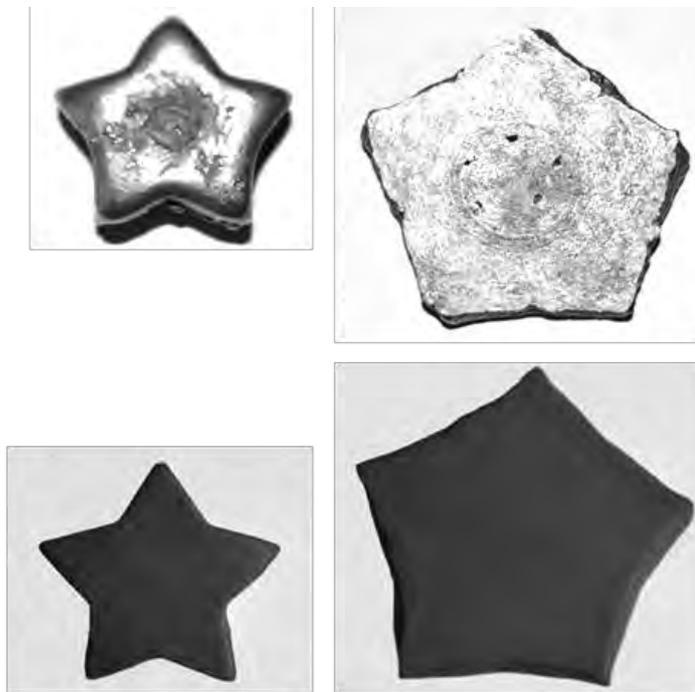


Рисунок 2 - Результаты лабораторных экспериментов по осадке свинцовых (вверху) и пластилиновых (внизу) образцов: слева – до осадки, справа – после осадки

Эксперименты проводились при следующих параметрах и условиях:

Исходный размер образцов был приблизительно одинаковым – диаметр описанной окружности равнялся примерно 60 мм. После осадки размер диаметра окружности стал приблизительно 80-85 мм.

Начальная толщина – 20 мм, конечная – 10 мм, т.е. степень деформации достигла 0,5.

В экспериментах на пластилине образцы осаживались на шлифованных плитах, для предотвращения прилипания пластилина к рабочим поверхностям пресса в качестве смазки использовалась мука. При осадке свинцовых образцов смазка не использовалась. Предположительно можно считать, что коэффициент трения был близок к 0,5, что соответствует реальным промышленным условиям деформационных процессов.

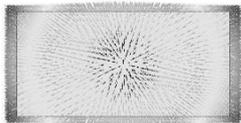
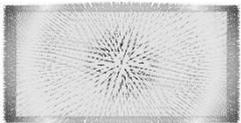
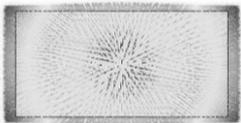
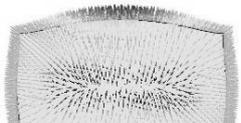
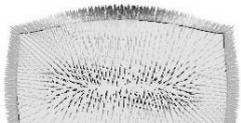
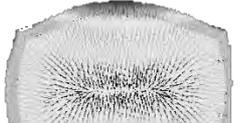
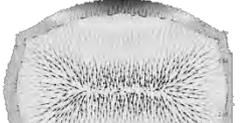
Эксперименты показали практически полное совпадение по форме поперечного сечения (на виде в плане) свинцовых и пластилиновых образцов после осадки.

Для более детального исследования влияния материала и условий трения на формоизменение плоской заготовки был проведен виртуальный эксперимент

с помощью программного комплекса DEFORM-3D по осадке прямоугольных пластин размером 20x40 мм и начальной толщиной 4 мм из различных материалов, в том числе и гипотетического (идеально пластичный материал).

Результаты виртуального эксперимента подтверждают сделанные ранее выводы о том, что материал очень незначительно влияет на формоизменение прямоугольного образца, чего нельзя сказать об условиях трения, которые существенно влияют на формообразование заготовки (табл. 1). Образцы зафиксированы при степени деформации $\varepsilon = 0,5$.

Таблица 1 - Влияние материала и условий трения на формоизменение заготовки

Материал Коэфф. трения	Алюминиевый сплав АМц	Сталь 35	Идеально пластичный материал
0,001			
0,5			
0,999			

Для более корректного исследования влияния материала и условий трения на формоизменение плоских образцов было проведено сравнение результатов компьютерного и физического моделирования на пластилине. Компьютерное моделирование осуществлялось при помощи того же программного комплекса DEFORM-3D. В ходе физического моделирования (лабораторного эксперимента) проводилось свободное осаживание прямоугольного пластилинового параллелепипеда с геометрическими размерами: высота 20 мм, длина 40 мм, ширина 20 мм. При компьютерном моделировании (в виртуальном эксперименте) использовались образцы с такими же размерами из алюминия Aluminium 3003 (соответствует сплаву

АМц) при температуре заготовки 420°C, температуре штампа 400°C, температуре окружающей среды 20°C, с учетом теплообмена со средой и инструментом.

Оговоримся, что аналогичные результаты были получены при моделировании картины течения металла с помощью разработанного авторами программного комплекса EQUI. Проблемы изучения влияния материала и условий трения с помощью указанного программного комплекса освещены в последних работах [2-6]. Однако применение EQUI носит ограниченный характер, который проявляется в построении картины течения металла по полотну заготовки, а не в целом описании напряженно-деформированного состояния материала, как во множестве прикладных вычислительных систем широкого профиля, в том числе DEFORM-3D.

Для удобства сравнения результатов компьютерного (с помощью вычислительной системы DEFORM-3D) и физического моделирования сопоставление проводилось при одинаковой степени деформации $\varepsilon = 0,7$. Условия трения в виртуальном и лабораторном экспериментах также максимально схожи. На рис. 3 приведены результаты виртуальных экспериментов и фотографии лабораторных экспериментов на пластилиновых образцах при различных условиях трения.

Форма образцов после осадки в виртуальном и лабораторном экспериментах при незначительном трении показана на рисунках 3, а и 3, б соответственно. В виртуальном эксперименте коэффициент трения был принят равным 0,1. В лабораторном эксперименте для достижения минимального трения в качестве смазки использовалось машинное масло. Как видим, и при компьютерном, и при физическом моделировании образец после деформации сохранил форму, близкую к прямоугольнику, что соответствует радиальной схеме течения металла, которая характеризуется тем, что частицы металла перемещаются вдоль радиусов дуг окружностей от центра образца.

На рисунках 3, в и 3, г показаны результаты виртуального и лабораторного экспериментов соответственно при максимальном трении (в программном комплексе DEFORM-3D коэффициент трения был задан равным 0,9). Для обеспечения приблизительно таких же условий трения в лабораторном эксперименте осадка проводилась между двумя неполированными металлическими плитами без смазки. На рисунке видно, что и при максимальном трении результаты виртуального и лабораторного экспериментов также практически полностью совпадают. В этом случае кинематическая схема течения металла соответствует нормальной схеме, в соответствии с которой прямоугольный в плане образец после осадки приобретает форму эллипса, как видно на рис. 3, а затем при большей степени деформации его поперечное сечение, ортогональное направлению деформирующей силы, должно превратиться в круг, что обосновано принципом наименьшего периметра. В рассматриваемых экспериментах для этого не была достигнута достаточная степень деформации.

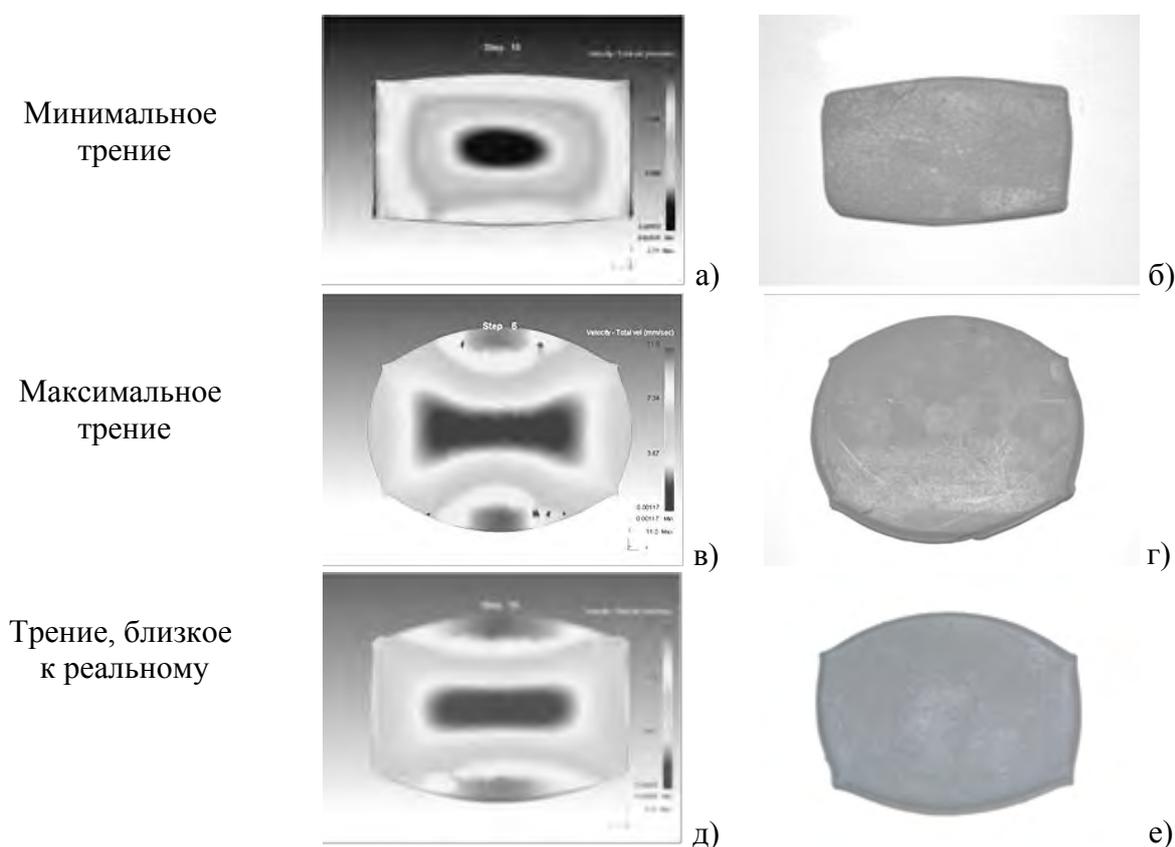


Рисунок 3 - Виртуальный и лабораторный эксперименты: левый столбец – абстрактный материал, правый столбец – пластилин

Результаты экспериментов при условиях трения, близких к реальным (в DEFORM-3D коэффициент трения равен 0,5), приведены на рисунках 3, д и 3, е. В лабораторном эксперименте образцы осаживались на шлифованных плитах, а для смазки использовалась мука. Как видно на рисунке 3, и для таких условий трения, которые можно считать приближенными к реальным, результаты виртуального и лабораторного экспериментов также почти полностью совпадают.

Выводы:

1. Формоизменение плоской заготовки не зависит от вида металла, из которого она изготовлена.

2. Сравнение результатов лабораторных экспериментов на свинцовых и пластилиновых образцах показывает, что формоизменение пластилина аналогично формоизменению металла.

3. Результаты виртуального эксперимента, проведенного с помощью программного комплекса DEFORM-3D, позволяют считать, что картина течения металла и формоизменение плоского образца не зависят от материала при любых условиях трения; однако на формообразование плоской заготовки из разных материалов существенно влияет фактор трения, а именно, при минимальном трении проявляется радиальная кинематическая схема течения металла, при значительном и максимальном – нормальная. Чем больше трение, тем кинематическая схема течения металла ближе к нормальной.

4. В виртуальном эксперименте на металле и лабораторном эксперименте на пластине образцы, подвергнутые деформированию, почти полностью совпадают по форме поперечного сечения при различных условиях трения.

Список литературы

1 Тарновский И.Я., Поздеев А.А., Ганаго О.А. Деформации и усилия при обработке металлов давлением. М.: Машгиз, 1959.

2 Solomonov K. Development of software for simulation of forming forgings // Procedia Engineering, 2014, № 81, p. 437-443.

3 Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.

4 Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.

5 Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251-253

6 Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла в процессах осадки плоских заготовок // Вестник научно-технического развития, 2016, № 2, с. 36-55.

УДК 620.175

АПРОБАЦИЯ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА КРУЧЕНИЕ

ASSESSMENT OF THE NEW EQUIPMENT FOR MECHANICAL TESTING OF MATERIALS BY TORSION

Богатов А.А., Шварц Д.Л.¹, Толкушкин А.О.¹,
Лежнев С.Н.², Найзабеков А.Б.²

¹Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ²Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан
a.o.tolkushkin@urfu.ru

Bogatov A.A., Shvarts D.L.¹, Tolkushkin A.O.¹,
Lezhnev S.N., Naizabekov A.B.²

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ²Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan
a.o.tolkushkin@urfu.ru

Аннотация: В работе представлены результаты опробования нового оборудования для испытания цилиндрических образцов на однонаправленное и знакопеременное кручение. С целью выбора оптимальной формы рабочей части испытуемых образцов проведено компьютерное моделирование процесса однонаправленного кручения. По результатам сравнительного анализа распределения показателей НДС по длине рабочей части дана рекомендация об использовании конкретной конфигурации образцов. Проведена серия экспериментов на кручение алюминиевых образцов с разной скоростью вращения и амплитудой знакопеременной деформации. По результатам эксперимента на основании данных датчиков построены графики крутящего момента при испытании каждого образца в зависимости от скорости деформации и амплитуды деформации при знакопеременном кручении.

Ключевые слова: испытания на кручение, компьютерное моделирование, крутящий момент.

Abstract: The paper presents the results of assessment of the new equipment for cylindrical samples testing by unidirectional and alternating torsion. In order to choose the optimal shape of the working part of the test samples, computer simulation of the unidirectional torsion process was carried out. Based on the results of a comparative analysis of the distribution of stress strain state indicators along the length of the working part, a recommendation on the use of a specific configuration of samples is given. A series of experiments on torsion of aluminum samples with different rotation speed and amplitude of alternating deformation was carried out. According to the results of the experiment based on sensor data, graphs of the torque during the test of each sample depending on the strain rate and strain amplitude during alternating torsion are constructed.

Key words: torsion testing, computer simulation, torque.

Введение

В настоящий момент в мире существует множество методик и видов оборудования для осуществления механических испытаний с целью определения различных характеристик испытуемых материалов. В зависимости от необходимости определить конкретные характеристики материалов могут использоваться испытания на растяжение/сжатие, кручение и др. Наиболее распространенным и часто используемым методом испытаний является растяжение [1], которое позволяет определять ряд важных механических характеристик испытуемых материалов, таких как пределы прочности и текучести, а также относительные удлинение и сужение. В данном случае реализуется схема напряженного состояния одноосного растяжения и во время испытаний длина образцов увеличивается, затем происходит образование шейки и конечном итоге их разрушение. Однако, испытание на растяжение может применяться не во всех случаях, так, например, испытания малопластичных материалов могут быть затруднительны. Альтернативным методом определения механических характеристик материалов является способ

испытания цилиндрических образцов на кручение [2-8]. В данном случае реализуется схема напряженного состояния чистого сдвига, при этом образец не претерпевает формоизменения и во время испытания не образуется шейка. Метод испытания цилиндрических образцов на кручение также позволяет определить соответствующие механические характеристики испытываемых материалов. Существующие на рынке решения в области оборудования для проведения испытаний на кручение в большинстве случаев являются дорогостоящими. В связи с этим была поставлена и решена задача проектирования и конструирования более дешевого аналога оборудования, для проведения механических испытаний цилиндрических образцов на кручение [9]. В данной работе представлены результаты опробования данного оборудования.

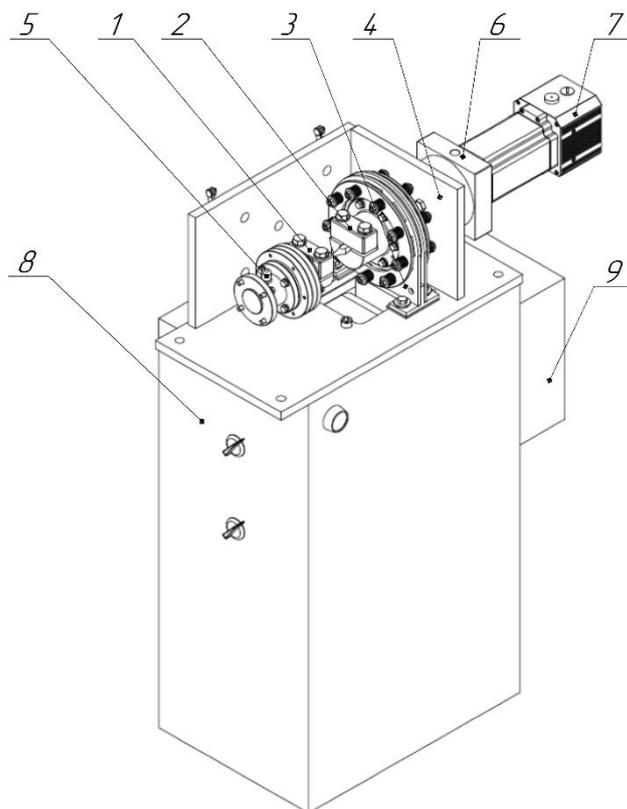
Оборудование

На кафедре обработки металлов давлением Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина был разработан стенд (рис. 1) для механического испытания материалов на кручение, сопротивление деформации и пластичности, исследования процессов упрочнения и разупрочнения в зависимости от параметров нагружения: температуры, степени и скорости деформации в условиях однонаправленного и знакопеременного характера нагружения цилиндрических образцов.

В качестве силового возбуждающего устройства используется интегрированный сервопривод СПШ-20-34100 (7), который через планетарный редуктор (6) с передаточным числом 10 передает крутящий момент на подвижный захват (2). Исследуемый образец одним концом крепится в подвижном, а другим в неподвижном захвате (1). Крепление производится вручную с помощью торцового ключа на 19 мм. Программы нагружения задаются с ПК при помощи программного обеспечения «Мотомастер». Исследуемый образец может быть подвергнут нагреву. Нагрев может производиться, как перед, так и во время исследования. В качестве нагревателя используется машина сварочная контактная АСП-10 (8). Вторичная обмотка трансформатора подключена к неподвижному и к подвижному захватам. Включение нагрева производится нажатием и удержанием в нажатом состоянии кнопки, расположенной на лицевой стороне стенда. Величина тока нагрева задается переключателями, расположенными на левой стороне стенда. Контроль величины нагрева производится пирометром GM 1850. По достижению заданной температуры кнопку нагрева следует отпустить.

Крутящий момент, соответствующий углу закручивания образца, считывается цифровым измерительным модулем ZET 7111, построенном на базе тензодатчика TCN-10k (5), показания которого регистрируются ПК с помощью программного обеспечения «ZETLAB». Показания момента и угла закручивания соответствуют одному и тому же моменту времени при испытании. Затем осуществляется обработка экспериментальной информации для расчета сопротивления деформации, степени и скорости деформации, анализа процессов упрочнения и разупрочнения. Алгоритм и программа

расчета указанных параметров выполнены с учетом влияния температурных полей, которые определяются путем компьютерного моделирования процесса испытания. Пластичность материалов определяется в результате испытания образцов до разрушения. Технические характеристики стенда представлены в Таблице 1.



1 – неподвижный захват, 2 – подвижный захват, 3 – щеточный узел, 4 – корпус, 5 – измерительный сенсор TCN-10k, 6 – редуктор Alphira115, 7 – интегрированный сервопривод СПШ10-340100, 8 – электросварочная контактная машина АСП-10, 9 – электрический шкаф

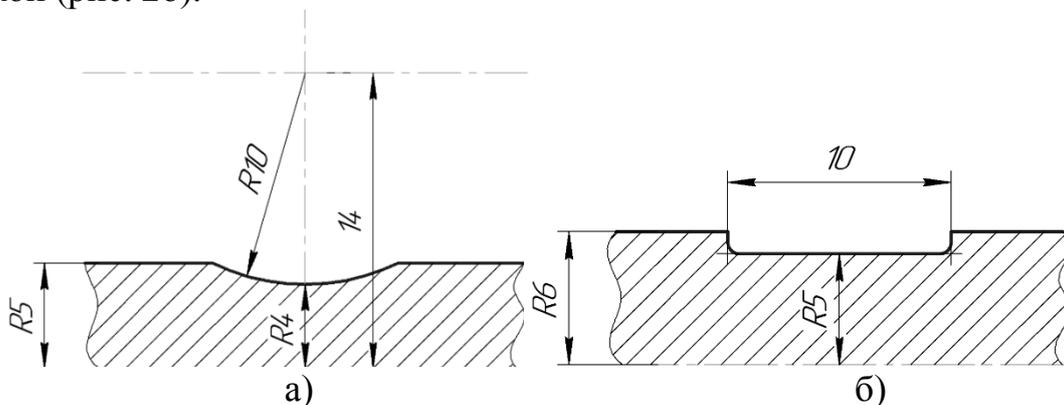
Рисунок 1 – Стенд для испытаний на кручение

Таблица 1 – Технические характеристики стенда

Потребляемая мощность(пиковая в момент нагрева)	10 кВт
Ток нагрева	3,7 кА
Напряжение	220/380 В
Максимальный крутящий момент, передаваемый образцу	70 Н/м
Частота вращения активного захвата:	
- при знакопеременном кручении	6-30 об/мин
- при однонаправленном кручении	1-50 об/мин
Температура нагрева образца	макс 1250°C

Выбор формы испытываемых образцов

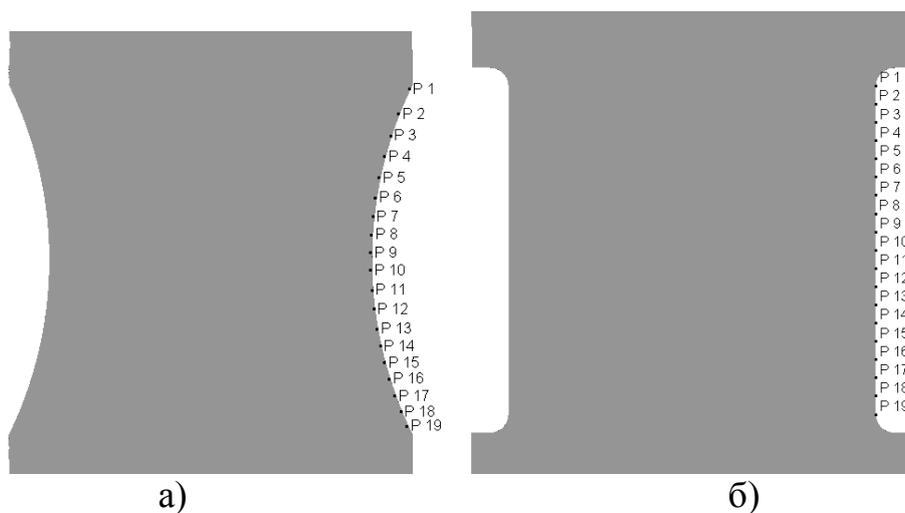
Для выбора оптимальной формы рабочей зоны образцов для испытания на предложенном стенде было осуществлено компьютерное моделирование процесса однонаправленного кручения. В процессе моделирования были использованы образцы, имеющие разную конфигурацию рабочей зоны: с выточкой в форме шейки с соотношением $R/d=1,25$ (рис. 2а) и с плоской выточкой (рис. 2б).



а – с выточкой в форме шейки, б – с плоской выточкой

Рисунок 2 – Размеры испытываемых образцов

По результатам компьютерного моделирования проведен сравнительный анализ параметров напряженно-деформированного состояния с целью определения равномерности распределения данных параметров по длине рабочей зоны. Для этого на поверхности заготовок были нанесены 19 отслеживаемых точек (рис. 3) Граничные условия и материал образцов идентичны для обеих конфигураций. В качестве материала был выбран алюминий АД0. Деформация осуществлялась при температуре 20°C без учета влияния теплопередачи.



а – с выточкой в форме шейки, б – с плоской выточкой

Рисунок 3 – Твёрдотельные модели образцов с отслеживаемыми точками

В качестве сравниваемых параметров были взяты эквивалентная деформация (рисунок 4а), которая позволяет оценить общий уровень накопленной деформации на любой стадии процесса, интенсивность касательных напряжений (рисунок 4б) и показатель Лоде (рисунок 4в) при угле закручивания 180°.

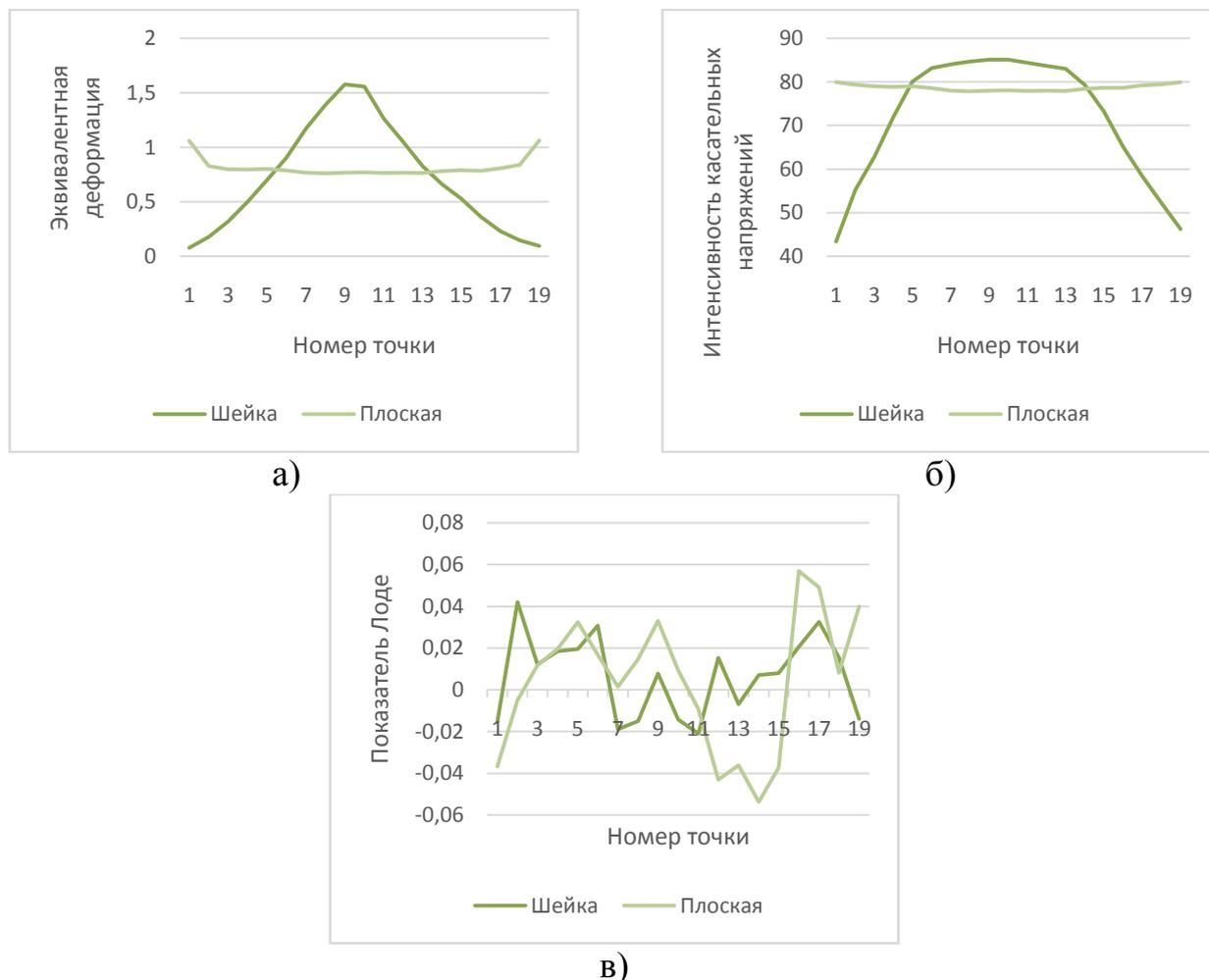


Рисунок 4 – Распределение параметров НДС по длине рабочей зоны образцов

Эквивалентная деформация определяется по формуле [10]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – главные деформации.

Интенсивность касательных напряжений T определяется по формуле [10]:

$$T = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}, \quad (2)$$

где σ_1 – максимальное главное напряжение, МПа;

σ_2 – среднее главное напряжение, МПа;

σ_3 – минимальное главное напряжение, МПа

Показатель Лоде позволяет провести оценку природы возникающей деформации в заготовке, т.е. определить, какой тип деформации реализуется в конкретной точке – растяжение, сжатие или сдвиг.

Расчет коэффициента Лоде ведется по формуле [10]:

$$\mu = 2 \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} - 1 \quad (3)$$

Как видно из рисунков 4а и 4б форма рабочей зоны образца значительно влияет на картину распределения параметров НДС по ее длине. Так как по первой конфигурации образец имеет выточку в форме шейки, в месте наименьшего диаметра происходит значительное накопление эквивалентной деформации и интенсивность касательных напряжений. При второй конфигурации формы рабочей зоны, имеющей плоский вырез распределение параметров НДС осуществляется более равномерно. Картина распределения показателя Лоде (рис. 4в) в обоих случаях схожа при этом значения данного показателя находятся в диапазоне от -0,06 до 0,06, что свидетельствует о том, что осуществляется чистый сдвиг и что форма рабочей части образца в данном случае существенно не влияет на картину распределения данного показателя.

На основании проведенного сравнительного анализа для проведения лабораторного эксперимента предлагается использовать образцы второй конфигурации, имеющие плоскую выточку.

Подготовка эксперимента

Для проведения серии опытов было подготовлено 9 образцов, имеющих рабочую область с плоской выточкой. Размеры образцов составили: длина 140 мм, диаметр 12 мм, диаметр рабочей зоны 10 мм, длина рабочей зоны 10 мм. Для фиксации образцов в подвижном и неподвижном захватах были сточены небольшие области (рисунок 5). Все испытания проводились в условиях холодной деформации без нагрева.

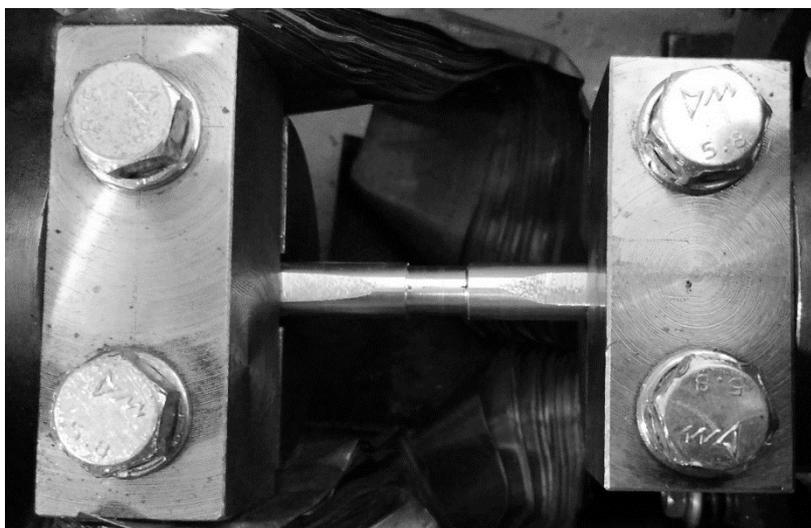


Рисунок 5 – Крепление образца в захватах

Химический состав образцов представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав образцов

Элемент	Содержание %
Al	98,7
Si	0,66
Mg	0,64

Испытание каждого образца осуществляли при однонаправленном или знакопеременном кручении со значениями скорости и амплитуды знакопеременной деформации, представленных в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы деформации

Номер образца	Тип деформации	Скорость, об/м	Амплитуда, °
1	монотонная (однонаправленное кручение)	1	-
2	знакопеременная	1	30
3	знакопеременная	1	60
4	монотонная (однонаправленное кручение)	5	-
5	знакопеременная	5	30
6	знакопеременная	5	60
7	монотонная (однонаправленное кручение)	10	-
8	знакопеременная	10	30
9	знакопеременная	10	60

Вращение на активный захват осуществлялось при помощи программного обеспечения «МоторМастер», поставляемого вместе с шаговым сервоприводом СПШ10-340100. Базовая версия программы не позволяла задавать произвольный закон деформирования, для этого был разработан алгоритм [11-13], позволяющий осуществлять любые режимы деформации, не превышающие технические характеристики стенда. Во всех случаях время деформации ограничивалось конечным вращением активного захвата равному одному обороту, либо до разрушения образца.

Результаты и их обсуждение

По результатам проведенных испытаний на основании данных измерительного сенсора TCN-10k были построены графики крутящего момента (рисунок 6). В случае однонаправленного кручения графики крутящего момента были сравнены одновременно для трех образцов в зависимости от скорости вращения подвижного захвата. В случае знакопеременного вращения

сравнение проводилось для образцов при одинаковой скорости вращения подвижного захвата, но с разной амплитудой знакопеременной деформации.

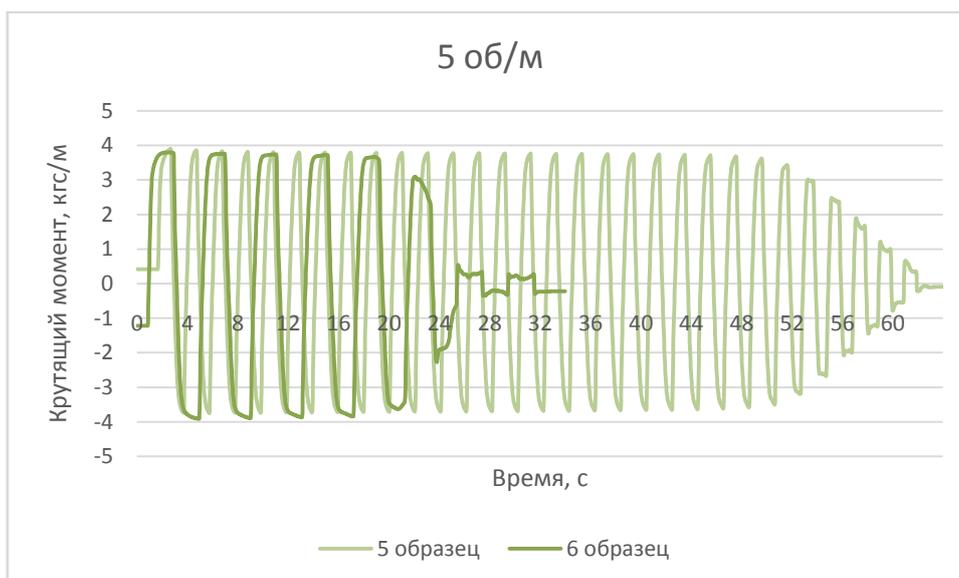
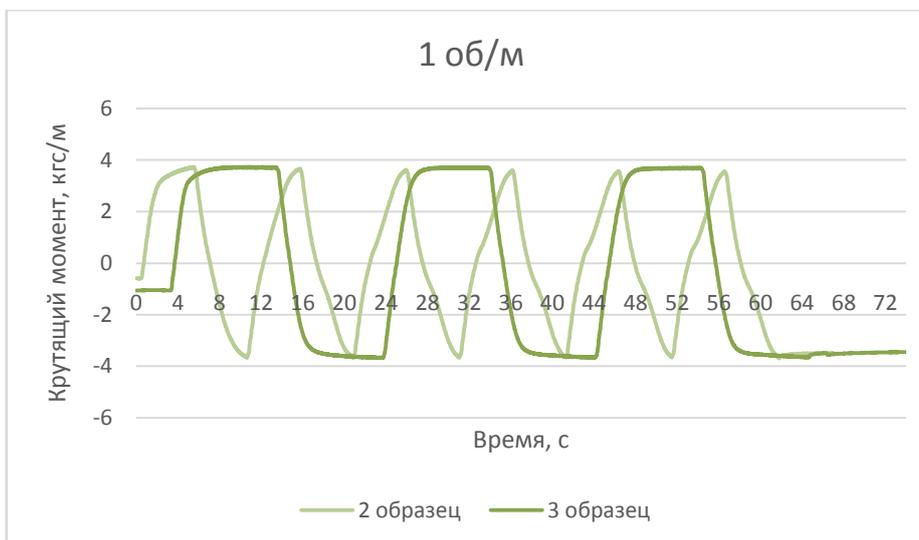
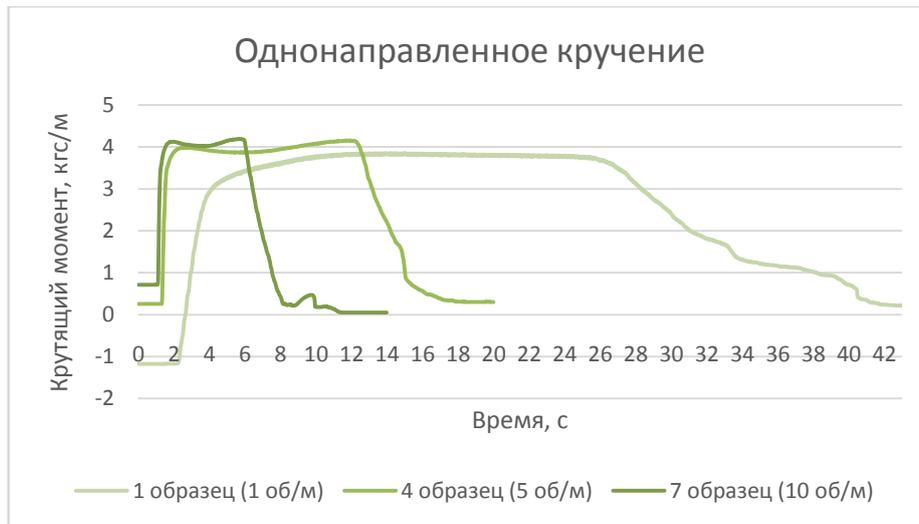




Рисунок 6 – Крутящий момент

При однонаправленном кручении произошло разрушение всех трех образцов (рисунок 7), при чем с повышением скорости вращения подвижного захвата разрушение образца происходило быстрее. Для знакопеременной деформации при скорости вращения активного захвата 1об/м разрушение не произошло. При повышении скорости до 5 об/м и 10 об/м разрушение образцов происходило во всех случаях знакопеременной деформации, однако при амплитуде 30° в обоих случаях образец выдерживал значительно большее количество циклов деформации в отличие от образцов, деформированных с амплитудой 60° . Значения крутящего момента для всех образцов не превышало 5 кгс/м.



Рисунок 7 – Образец после разрушения

Выводы: Результаты компьютерного моделирования скручивания цилиндрических заготовок при одинаковых граничных условиях, но имеющих разную форму выточки, показал, что в случае с образцом, исполненным по первой конфигурации, имеющим форму выточки в виде шейки с соотношением $R/d=1,25$ происходит концентрированное накапливание эквивалентной деформации и интенсивности касательных напряжений в зоне наименьшего диаметра. В случае использования образца, исполненного по второй конфигурации, имеющего плоскую выточку накопление вышеупомянутых параметров напряженно-деформированного состояния осуществляется равномерно по длине рабочей зоны. Для апробации стенда на испытания на кручение были выбраны образцы второй конфигурации. Для проведения эксперимента всего было изготовлено 9 образцов, каждый из которых испытывали при различных схемах деформации: три при однонаправленном кручении со скоростью закручивания активного захвата 1, 5 и 10 об/м; три пары образцов при знакопеременном кручении при двух амплитудах 30° и 60° с аналогичными скоростями закручивания активного захвата. В результате испытаний для каждого образца были построены графики крутящего момента, которые показали, что наибольшее влияние на количество циклов деформации до разрушения образца оказывает амплитуда при знакопеременной деформации, чем она ниже, тем большее количество циклов может выдержать образец до разрушения. Также по результатам проведенной работы была доказана возможность использования стенда для проведения механических испытаний материалов.

Список литературы

- 1 ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение, М.: Стандартинформ, 2008.
- 2 ГОСТ 3565-80 Металлы. Метод испытания на кручение, М.: Издательство стандартов, 1988.
- 3 New specimen and horn design for combined tension and torsion ultrasonic fatigue testing in the very high cycle fatigue regime / Pedro Costa, Mário Vieira, Luis Reis et al. // International Journal of Fatigue, Vol. 103, pp. 248–257, 2017.
- 4 Effect of torsion angle on tension-torsion multiaxial fretting fatigue behaviors of steel wires / Xiangru Wang, Dagang Wang, Dekun Zhang et al. // International Journal of Fatigue Vol. 106, pp. 159–164, 2018.
- 5 Khoddam S., Hodgson P.D., A heuristic model selection scheme for representing hot flow data using the hot torsion test results, Materials and Design, Vol. 31, pp. 2011–2017, 2010.
- 6 Khoddam S., Hodgson P.D., Post processing of the hot torsion test results using a multi-dimensional modelling approach, Materials and Design, Vol. 31, pp. 2578–2584, 2010.

7 Effects of varying twist and twist rate sensitivities on the interpretation of torsion testing data / John J. Jonas, Frank Montheillet, Laszlo S. Toth et al. // *Materials Science & Engineering A*, Vol. 591, pp. 9–17, 2014.

8 Evolution of texture and microstructure during hot torsion of a magnesium alloy / Somjeet Biswas, Benoit Beausir, Laszlo S. Toth et al. // *Acta Materialia*, Vol. 61, pp. 5263–5277, 2013.

9 Новое научное оборудование на кафедре ОМД УрФУ / Богатов А.А., Князев С.В., Толкушкин А.О. // *Материалы III молодежной научно-практической конференции Magnitogorsk Rolling Practice 2018*. - С. 44-46.

10 Теория обработки металлов давлением / Тарновский И.Я., Поздеев И.Я., Ганаго О.А. и др. – Москва, Металлургиздат, 1963. – 674 с.

11 Erpalov M.V., Pavlov D.A., Torsion testing method for cylindrical samples of continuous section, *Chernye Metally*, Iss. 12, pp. 72-76, 2018.

12 Erpalov M.V., Pavlov D.A., Control and experimental data processing in torsion testing with variable acceleration, *CIS Iron and Steel Review*, Vol. 16, pp. 71–75, 2018.

13 Erpalov M.V., Kungurov E.A., Examination of hardening curves definition methods in torsion test, *Materials Physics and Mechanics*, Vol. 38, Iss. 1, pp. 82-89, 2018.

УДК 621.74:669.13

ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОУГЛЕРОДНЫЕ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

EFFECTS OF COMPLEX MODIFIERS CONTAINING NANOCARBON ADDITIVES ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIGH-STRENGTH CAST IRON

Раковец А. С.¹, Куис Д. В.¹, Свидуневич Н. А.¹, Лежнев С. Н.²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь; ²Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

KuisDV@belstu.by

Rakovets A. S.¹, Kuis D. V.¹, Svidunovich N.A.¹, Lezhnev S. N.²

¹Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus; ²Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan

KuisDV@belstu.by

Аннотация: Решение вопросов повышения прочностных и эксплуатационных свойств отливок, снижения их металлоемкости на современном этапе возможно при оптимизации существующих технологий и составов материалов, а также применение новейших технологий и материалов,

в частности нанотехнологий и наноматериалов, с учетом новых достижений в области исследований по строению многокомпонентных расплавов чугуна, использования явлений наследственности и внедрения различных методов воздействия на расплавы.

В статье исследовано влияния комплексного модификатора, содержащего нанокarbonные компоненты, на структурообразование высокопрочного чугуна. Проведена оценка микроструктуры и показателей механических свойств.

Установлено, что разрабатываемые модификаторы за счет непосредственного ввода в расплав центров кристаллизации в виде дисперсных углеродных частиц позволяют значительно повысить эффект модифицирования и снизить затраты на модификаторы благодаря их меньшему расходу.

Ключевые слова: высокопрочный чугун, комплексные модификаторы, лигатура, нанокarbonные компоненты, фуллереновая сажа, структурообразование, прочность, твердость, эффективность модифицирования.

Abstract: The solution to the issues of increasing the strength and working properties of castings, the reduction in their metal consumption at the current stage is possible by optimization of the existing technologies and the compositions of materials, as well as the application of the latest technologies and materials, in particular nanotechnologies and nanomaterials, taking into account new achievements in the field of research on the structure of multicomponent melts of cast iron, the use of heredity phenomena and the introduction of various methods of influence on melts. The paper examined the effects of a complex modifier containing nanocarbon components on the structure formation of high-strength cast iron. The microstructure and mechanical properties were evaluated.

It has been found that the modifiers under development, by directly introducing the crystallization centres into the melt in the form of dispersed carbon particles, can significantly increase the effect of modification and reduce the costs of modifiers due to their lower consumption.

Key words: high-strength cast iron, complex modifiers, ligature, nanocarbon components, fullerene soot, structure formation, strength, hardness, efficiency of modification

Введение. Стабильность структуры и высокий уровень технологических, механических и служебных свойств отливок из высокопрочного чугуна достигается применением высококачественных шихтовых материалов, прогрессивных процессов плавки, модификаторов с гарантированным узкоинтервальным содержанием магния и других модифицирующих элементов, высокоэффективных методов модифицирования, легирования и термической обработки [1].

Анализ современного состояния производства отливок из различных сплавов показывает, что на сегодняшний день и ближайшую перспективу

одним из наиболее широко распространенных литейных конструкционных материалов, как в Республике Беларусь, так и за рубежом, является чугун.

Решение вопросов повышения прочностных и эксплуатационных свойств отливок, снижения их металлоемкости на современном этапе возможно при оптимизации существующих технологий и составов материалов, а также применение новейших технологий и материалов, в частности нанотехнологий и наноматериалов, с учетом новых достижений в области исследований по строению многокомпонентных расплавов чугуна, использования явлений наследственности и внедрения различных методов воздействия на расплавы.

Вместе с тем ряд вопросов применительно к чугунам во многом остается еще не решенным. В частности, не достаточно изучено влияние модифицирования на управление процессами структурообразования и формирования свойств в чугунах [2-4]. Создание новых составов модификаторов, в том числе с использованием углеродных компонентов различной степени дисперсности и структурированности, и рациональных технологий их применения, обеспечивающих получение требуемых структуры и свойств, требует дальнейшего исследования влияния отдельных и комплексных добавок на структуру и свойства чугуна, изучения технологических условий модифицирования чугуна различными присадками на эффективность их действия [5]. Актуальными являются вопросы влияния перегрева жидкого чугуна, его температуры при модифицировании и продолжительности выдержки перед заливкой в формы на эффективность действия различных модификаторов, сохранения эффекта модифицирования (наследственности) после переплава.

Целью данной работы является исследование структурного состояния и показателей механических свойств высокопрочных чугунов полученных с использованием комплексных модификаторов, содержащих наноуглеродные компоненты.

Методика исследований. При разработке комплексных модификаторов высокопрочного чугуна в рамках данной работы в качестве базового был выбран сфероидизирующий модификатор для чугуна с магнием ЭМ(пс) и графитизирующий бариевый модификатор «Графитплюс» для инокулирующего модифицирования высокопрочного чугуна. Рекомендуемый расход сфероидизирующего модификатора составляет 0,8...1,8% в зависимости от степени очистки расплава и метода ввода в расплав, графитизирующего – 0,05-0,3%.

В качестве наноуглеродных компонентов использовали фуллереносодержащую сажу. С целью обеспечения усвоения высокодисперсных углеродных частиц расплавом в качестве добавок в составе комплексного модификатора применяли прессованные алюминийкремниевые лигатуры, содержащие наноуглеродные компоненты. При этом, известна высокая эффективность алюминия в составах модификаторов длительного действия, что определяет целесообразность его использования [6].

Образцы лигатур готовили путем предварительной механоактивации в шаровых мельницах измельченной стружки силумина АЛ9 и фуллереносодержащей сажи, с последующим экструдированием лигатур Al-Si-C с расчетом содержания в них 10 масс.% углерода [7]. Используемые углеродные материалы были получены на оборудовании ООО «ФизТехПрибор» на базе Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург.

В составе смесового модификатора использовали лигатуру Al-Si-C в количестве 30 % по отношению к базовому графитизирующему модификатору.

Исследование влияния разрабатываемых модификаторов на структурообразование проводили с использованием чугуна индукционной плавки, выплавленного с использованием чугуна марки ВЧ40 с получением стабильного базового химического состава, %: С 2,7 – 3,8; Si 0,5 – 2,9; Mn 0,2 – 0,6; P до 0,1, S до 0,02. Модификатор вводили в струю металла при переливке в разливочный тигель, который предварительно был подогрет в муфельной печи до температуры 750 °С. Заливка расплава высокопрочного чугуна производилась при температуре 1400 – 1420 °С. Температура контролировалась многоканальным регистратором РМТ 39D, подключенным к ПК. Производили отбор проб для исследования структуры и показателей свойств.

Микроструктуру образцов исследовали на микрошлифах до и после травления с применением металлографического комплекса на базе микроскопа МИ-1. Фазовый состав определяли на рентгеновском дифрактометре D8 Advance фирмы «Bruker», с использованием программ «X-RAY» автоматизации рентгенофазового анализа. Спектры комбинационного рассеяния света при фиксированном значении разрешения (2 см^{-1}) регистрировали с помощью спектрально-аналитического комплекса на основе сканирующего конфокального микроскопа «Nanofinder HighEnd» (LOTIS-TII, Беларусь – Япония).

Таким образом, для дальнейших исследований были получены образцы модифицированных чугунов, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Образцы модифицированных чугунов, полученных при выплавке

Обозначение образца	Характеристика
А	Чугун модифицированный 1,5% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% графитизатора «Графитплюс»
Б	Чугун модифицированный 0,8% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% графитизатора «Графитплюс»
В	Чугун модифицированный 0,8% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% графитизатора «Графитплюс» и 0,3% лигатуры (Al-Si+фуллереновая сажа)

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты исследований фазового (рисунок 1) и элементного составов показывают, что исследованная фуллереновая сажа в основе своей состоит из аморфного углерода о чем свидетельствует ярко выраженное «галло» в интервале углов $2\theta=13-25^\circ$ характерное для неупорядоченного аморфного состояния, содержит $\approx 8\%$ фуллеренов и не содержит, кроме небольшого количества кислорода, никаких посторонних примесей.

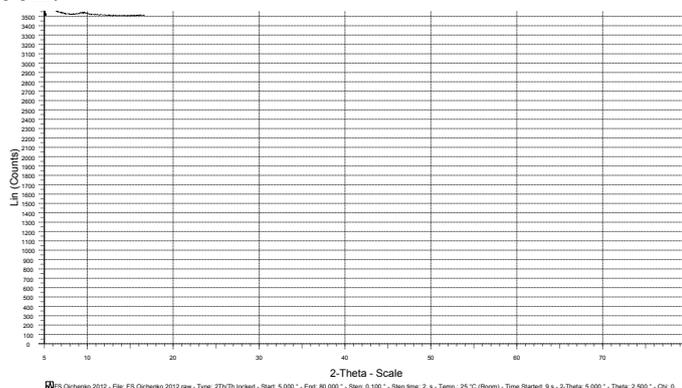


Рисунок 1 – Дифрактограмма фуллереновой сажи

Результаты исследований экструдированных лигатур Al-Si-C показали необычные структурное состояние алюминиевых сплавов [7]. Рентгеноструктурным анализом определено структурное превращение углерода с образованием в лигатурах аморфной углеродной фазы наряду с карбидообразованием.

Спектроскопией комбинационного рассеяния света в спектрах углерода установлено наличие линии различной интенсивности слева от основного пика (рисунок 2), свидетельствующее об аморфизации и образовании стеклоуглерода, что подтверждает результаты рентгеноструктурного анализа.

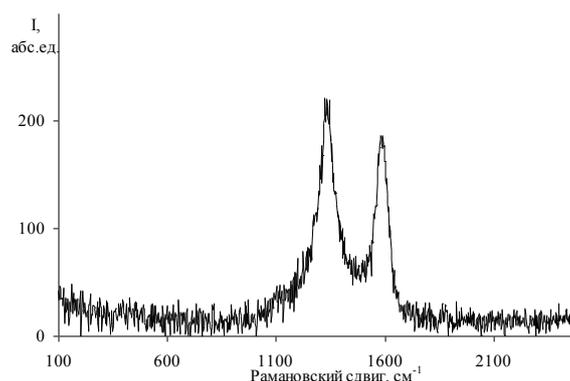


Рисунок 2 – Спектр комбинационного рассеяния света образца лигатуры Al-Si-C

Такое структурное состояние полученных лигатур определяет возможность их использования в качестве высокоактивных добавок в составах модификаторов литейных железоуглеродистых сплавов.

Одним из общепринятых критериев оценки эффективности графитизирующего модифицирования высокопрочного чугуна является

плотность распределения включений шаровидного графита в структуре. Немаловажным считается уменьшение степени переохлаждения в процессе кристаллизации эвтектики.

Микроструктура образцов высокопрочного чугуна с использованием наноуглеродных компонентов и без них приведена на рисунке 3.



a

б

в

a) образец А модифицированный 1,5% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% «Графитплюс»; *б*) образец Б модифицированный 0,8% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% «Графитплюс»; *в*) образец В модифицированный 0,8% сфероидизирующего модификатора, 0,2% «Графитплюс» и 0,3% лигатуры (Al-Si+фуллереновая сажа) (в)(x100).

Рисунок 3 – Микроструктура модифицированного чугуна:

Анализ структурного состояния образцов показывает, что в образце В, в который были введены наноуглеродные компоненты, согласно ГОСТ-3443-87 графитные включения правильной формы и равномерно распределены по всей плоскости шлифа, диаметр включений 15 мкм, количество включений графита – ШГ10, металлическая основа: 10 % перлита и 90 % феррита. В образце А, содержащем 1,5% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% «Графитплюс» наблюдается равномерное распределение графитных включений, количество включений графита – ШГ6, размер включений 25 мкм, металлическая основа: 20% перлита и 80% феррита. Образец Б с 0,8% сфероидизирующего модификатора ЭМ(пс) и 0,2% «Графитплюс» имеет неравное распределение графитных включений, количество включений графита ШГ12, размер включений от 15 до 45 мкм, металлическая основа: 6 % перлита и 94 % феррита.

При измерении твердости образцов по методу Бринелля получены следующие результаты. Образец В, выплавленный с добавкой разработанной лигатуры в составе комплексного модификатора имеет твердость 200 НВ, образец А – 220НВ, образец Б – 190НВ.

Предел прочности при растяжении образца, содержащего наноуглеродные компоненты (образец В), составил – 620 МПа, образца чугуна, модифицированный стандартным комплексным модификатором (образец Б) –

420 МПа, образца чугуна с увеличенным вдвое количеством комплексного модификатора (образец А) – 600 МПа.

Выводы. Модифицирование чугуна комплексным модификатором, содержащим нанокремниевые компоненты в виде фуллереновой сажи, повышает механические свойства отливок из высокопрочного чугуна, за счет измельчения структуры чугуна, а также позволяет снизить затраты на модификаторы, вследствие их меньшего расхода.

Список литературы

1 В.Б. Бубликов Влияние модификаторов при внутриформенном графитизирующем модифицировании на структуру высокопрочного чугуна/ В. Б. Бубликов Д. Н. Берчук, Ю. Д. Бачинский, Е. Н. Берчук, В. А. Овсянников // *Металл и литье Украины* – 2014 – № 8 (255) – С. 6-10

2 Афонаскин А.В. Технология производства сложных тонкостенных чугунных отливок в металлических формах: Монография / Афонаскин А.В., Чуркин Б.С., Быстров М.В. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2009. – 66

3 J. Piaskowski Ductile iron – the greatest achievement in foundry materials of the latest fifty years / , J. Piaskowski , J. Tybulczyk, A. Kowalski // *Proceedings of the 8th Scientific International Conference „Achievements in Mechanical and Materials Engineering” AMME’99, Gliwice-Rydzyna-Pawowice-Rokosowo, 1999 – P.473-476.*

4 A. Pytel. K. Sekowski, Microstructure and mechanical properties of vermicular low-alloy cast iron / A. Pytel. K. Sekowski// *Proceedings of the 7th Scientific International Conference „Achievements in Mechanical and Materials Engineering” AMME’98, GliwiceZakopane, 1998 – P.435-438, (in Polish).*

5 Мищенко С.В. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

6 Писаренко, Л.З. Модификатор длительного действия/ Л.З.Писаренко, Н.А. Свидуневич, Д.В. Куис// *Литье и металлургия*. – 2006. – №2. – С.84-90.

7 Волочко, А.Т. Формирование структуры и свойств композитов, полученных при обработке алюминиевого расплава лигатурами, содержащими стеклоподобные углеродные частицы / А. Т. Волочко, А.А.Шегидевич, Д.В. Куис // *Композиты и наноструктуры*. – 2014. – Т. 6, № 2. – С. 2–13.

UDC 621.771

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОМД ПРИ АНАЛИЗЕ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ

TO THE QUESTION OF CLASSIFICATION OF WORKING METALS PROCESSES DURING ANALYSIS OF POWER-FORCE PARAMETERS OF THE DEFORMATION ZONE

Добров И. В., Семичев А.В., Морозенко Е.П.
Национальная металлургическая академия Украины¹
igordobrov@yahoo.com

Dobrov I. V., Semichev A. V., Morozenko E., P.
National Metallurgical Academy of Ukraine
igordobrov@yahoo.com

Аннотация: Проведены теоретические и экспериментальные исследования энергосиловых параметров очага деформации при прокатке, волочении и прессовании. Установлены общие закономерности и характерные особенности перемещения деформируемых слоев материала в очаге деформации для каждого из этих способов обработки материалов давлением. Приведена классификация этих процессов, а также совмещенных процессов прокатки-волочения и прокатки-прессования в зависимости от положения нейтрального сечения в очаге деформации и направления линии действия силы давления заготовки на инструмент относительно его оси вращения.

Ключевые слова: заготовка, прокатка, прокатка с натяжением, прокатка с подпором, волочение в фильере, волочение в роликах, прессование в фильере, прессование в роликах, прокатка-волочение, прокатка-прессование, очаг деформации, нейтральное сечение, нейтральный угол.

Abstract: Theoretical and experimental research of the power-force parameters of the deformation zone during rolling, drawing and pressing is carried out. The general laws and characteristic features of the movement of deformable layers of material in the deformation zone for each of these methods of working of materials by pressure are shown. The classification of these processes, as well as the combined rolling-drawing and rolling-pressing processes, is given, depending on the position of the neutral section in the deformation zone and the direction of the line of action of the stock pressure force acting on the tool relative to its axis of rotation.

Key words: stock, rolling, rolling with tension, rolling with pulling, drawing in a die, drawing in rollers, pressing in a die, pressing in rollers, rolling-drawing, rolling-pressing, deformation zone, neutral section, neutral angle.

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к внедрению литейно-прокатных комплексов для получения заготовок, предназначенных для последующей обработки методами холодной прокатки, волочения и прессования [1-3]. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки, определяющих целесообразность их применения, в конкретных условиях производства [4]. С целью наилучшего удовлетворения потребительским свойствам готовой продукции на практике все шире применяют совмещенные процессы ОМД, такие как: прокатка-волочение,

¹ Экспериментальные исследования выполнены при участии учебного мастера каф. ПМ НМетАУ В.Г. Патоки.

прокатка-прессование и т. д. [5,6,7]. В этой связи возрастают требования к уточнению классификации этих процессов, учитывающие их характерные особенности, связанные с условиями деформации заготовок в зависимости от энергосиловых параметров каждого из рассматриваемых процессов с учетом конструктивных параметров очагов деформации [8,9]

Цель работы. Теоретические и экспериментальные исследования энергосиловых параметров стационарных очагов деформации для уточнения классификации совмещенных процессов ОМД.

Исследования

Рассмотрим распределения энергосиловых силовых параметров при деформации полосы при прокатке (рисунок 1), волочении и прессовании (рис. 2), прокатке-волочении и прокатке-прессовании (рис. 3) [10-14]. На рис. 1 – 3 приняты следующие обозначения: v_1 и v_0 - соответственно скорость заготовки на выходе и на входе в очаг деформации; h_1 и h_0 - соответственно высота заготовки единичной ширины $b=1$ на выходе и на входе в очаг деформации; α_k - угол контакта заготовки 1 и инструментов 2 (2_g - при прокатке, 2_p - при прессовании в роликах, 2_ϕ - при прессовании в фильере) соответственно радиусами (R_g , R_p , R_ϕ); L - длина очага деформации; γ - нейтральный угол, разделяющий очаг деформации, образованный вращающимися инструментами, на два участка: зону отставания заготовки и зону опережения заготовки; $T_{12,F}$ - сила трения, действующая на заготовку 1 со стороны инструмента 2 в зоне отставания заготовки в направлении v_1 ; $T_{12,Q}$ - сила трения, действующая на заготовку 1 со стороны инструмента 2 в зоне опережения заготовки в направлении противоположном v_1 ; ω - угловая скорость вращения инструмента 2; $M_{mp,r}$ - момент трения вращающихся инструментов 2 радиусами соответственно R_g и R_p .

На рисунке 1 представлены схемы различных способов прокатки полосы. В каждом из этих способов энергия на деформацию заготовки со стороны привода прокатной клетки передается валками, радиусом R_g . На рисунке 1, а и последующих рисунках, приводы, обеспечивающие процесс деформации заготовки и ее перемещение, условно не показаны, а направление передачи

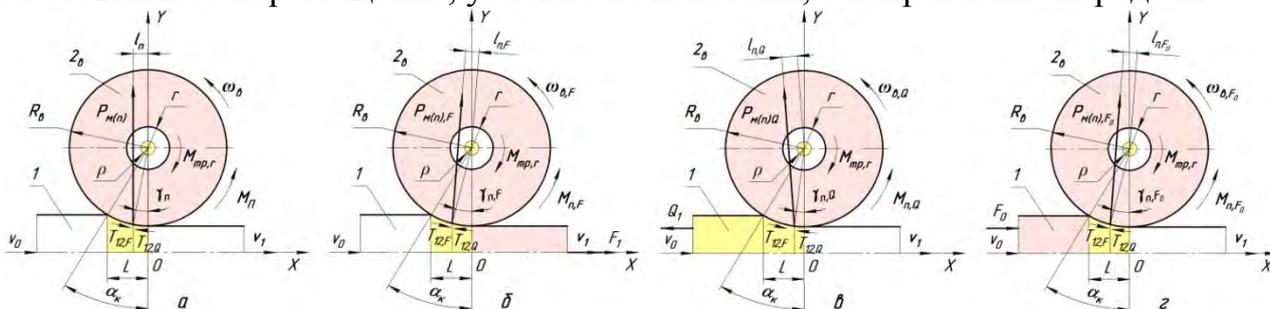


Рисунок 1 - Способы прокатки: прокатка на гладкой бочке (а); прокатка с передним натяжением (б); прокатка с задним натяжением (в); прокатка с подпором (г)

энергии от привода к заготовке показано сиреневым цветом. Энергия, на преодоление которой в процессе деформации расходуется энергия привода деформации и движения заготовки на рисунке 1, *a* и последующих рисунках показана желтым цветом. В частности, при прокатке рис. 1, *a* привод валков затрачивает мощность на деформацию заготовки

$$W_n = M_n \omega_\varepsilon = P_{M(n)} l_n \omega_\varepsilon, \quad (1)$$

где $\omega_\varepsilon = \frac{v_l}{R_\varepsilon} \frac{h_l}{(h_l + R_\varepsilon(1 - (\cos \gamma_n))) \cos \gamma_n}$ - угловая скорость вращения валков;

l_n - плечо силы давления $P_{M(n)}$ материала заготовки на валок, направленная вдоль оси OY системы координат XOY и приложенной к валку в нейтральном сечении очага деформации; $M_n = P_{M(n)} l_n$ - момент прокатки, затрачиваемый на деформацию заготовки.

При этом «полный» момент привода валков ($M_{\Sigma n}$) учитывает дополнительно момент трения ($M_{mp,r}$) в опоре валков

$$M_{\Sigma n} = M_n + M_{mp,r} = M_n + P_{M(n)} f_{on} r = M_n + P_{M(n)} \rho, \quad (2)$$

где f_{on} - коэффициент трения в опоре валка; $\rho = f_{on} r$ - радиус круга трения в опоре валка радиусом r .

Величина нейтрального угла при прокатке определяется уравнением

$$\sin \gamma_n = \frac{\sin \alpha_k}{2} - \frac{1 - \cos \alpha_k}{2f}; \quad (3)$$

где f - коэффициент трения скольжения в очаге деформации.

Аналогичным образом происходит распределения энергосиловых параметров очага деформации при других способах прокатки (рис. 1, *b* - *z*).

При прокатке с передним натяжением (рис. 1, *b*):

$$\sin \gamma_{n,F} = \frac{\sin \alpha_k}{2} - \frac{1 - \cos \alpha_k}{2f} + \frac{F_l}{p_{cp} f b R_\varepsilon}; \quad (4)$$

$$\omega_{\varepsilon,F} = \frac{v_l}{R_\varepsilon} \frac{h_l}{(h_l + R_\varepsilon(1 - (\cos \gamma_{n,F}))) \cos \gamma_{n,F}}; \quad (5)$$

$$W_{n,F} = M_{n,F} \omega_{\varepsilon,F} = P_{M(n),F} l_{n,F} \omega_{\varepsilon,F}; \quad (6)$$

$$M_{\Sigma n,F} = M_{n,F} + M_{mp,r} = M_{n,F} + P_{M(n),F} f_{on} r = M_{n,F} + P_{M(n),F} \rho. \quad (7)$$

При прокатке с задним натяжением (рис. 1, *в*):

$$\sin \gamma_{n,Q} = \frac{\sin \alpha_k}{2} - \frac{1 - \cos \alpha_k}{2f} - \frac{Q_l}{p_{cp} f b R_\varepsilon}; \quad (8)$$

$$\omega_{\varepsilon,Q} = \frac{v_l}{R_\varepsilon} \frac{h_l}{(h_l + R_\varepsilon(1 - (\cos \gamma_{n,Q}))) \cos \gamma_{n,Q}}; \quad (9)$$

$$W_{n,Q} = M_{n,Q} \omega_{\varepsilon,Q} = P_{M(n),Q} l_{n,Q} \omega_{\varepsilon,Q}; \quad (10)$$

$$M_{\Sigma n,Q} = M_{n,Q} + M_{mp,r} = M_{n,Q} + P_{M(n),Q} f_{on} r = M_{n,Q} + P_{M(n),Q} \rho. \quad (11)$$

При прокатке с подпором (рис. 1, *z*):

$$\sin \gamma_{n,F_0} = \frac{\sin \alpha_k}{2} - \frac{1 - \cos \alpha_k}{2f} + \frac{F_0}{p_{cp} f b R_6}; \quad (12)$$

$$\omega_{6,F_0} = \frac{v_1}{R_6} \frac{h_1}{(h_1 + R_6(1 - (\cos \gamma_{n,F_0}))) \cos \gamma_{n,F_0}}; \quad (13)$$

$$W_{n,F_0} = M_{n,F_0} \omega_{6,F_0} = P_{M(n),F_0} l_{n,F_0} \omega_{6,F_0}; \quad (14)$$

$$M_{\Sigma n,F_0} = M_{n,F_0} + M_{mp,r} = M_{n,F_0} + P_{M(n),F_0} f_{on} r = M_{n,F_0} + P_{M(n),F_0} \rho. \quad (15)$$

Анализ (1) - (15) и схемы распределения энергосиловых параметров прокатки (рис. 1) при равных значений $h_1, \alpha_k, R_6, f, F_1 = |Q| = F_0$ показывает, что для различных способов прокатки соблюдаются условия:

$$0,5\alpha_k \geq \gamma_{n,F_0} \approx \gamma_{n,F} > \gamma_n > \gamma_{n,Q} \quad (16)$$

$$P_{M(n),F_0} > P_{M(n),F} > P_{M(n)} > P_{M(n),Q}; \quad (17)$$

$$l_{n,Q} > l_n \approx l_{n,F} > l_{n,F_0} \quad (18)$$

и направление линии действия сил $P_{M(n),Q}, P_{M(n)}, P_{M(n),F}, P_{M(n),F_0}$ относительно оси вращения валка не зависит от величины $M_{mp,r}$. При этом $M_{mp,r}$ увеличивает расход мощности привода прокатной клетки и не оказывает влияния ни на схему напряженного состояния заготовки в очаге деформации ни на кинематические параметры очага деформации, которые определяет, нейтральный угол очага деформации.

На рисунке 2 представлены схемы распределения энергосиловых параметров очага деформации при различных способах волочения заготовки силами $P_{вол}$ и

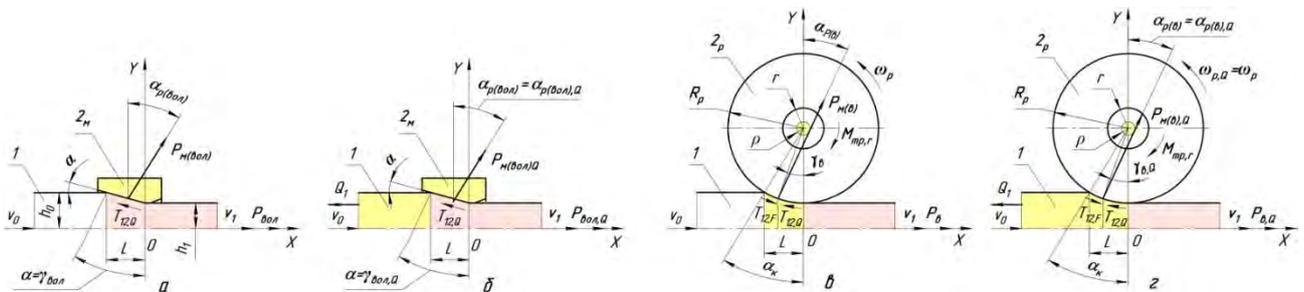


Рисунок 2 - Способы волочения: в фильере (а); в фильере с противонапряжением (б); в неприводных роликах (в); в неприводных роликах с противонапряжением (г)

нейтральный угол очага деформации, который определяет направление линии действия силы трения $T_{12,Q}$ в очаге деформации, не зависит от наличия (рис. 2, б) или отсутствия противонапряжения (рис. 2, а) при волочении.

$$\gamma_{вол} = \gamma_{вол,Q} = \alpha, \quad (19)$$

где α - угол конусности монолитной волоки, который меньше угла наклона $\alpha_{P(вол)} = \alpha_{P(вол,Q)}$ силы давления материала заготовки на поверхность волоки при волочении с противонапряжением $P_{M(вол),Q}$ и при волочении без

противонапряжения $P_{M(вол),Q} < P_{M(вол)}$, за счет действия на волоку со стороны заготовки силы трения $T_{21,Q} = -T_{12,Q}$ (на рис. 2 условно не показанной).

При волочении полосы в двухроликовой волоке силами $P_в$ и $P_{в,Q}$ (рис. 2, в, з) нейтральный угол

$$\gamma_в = \gamma_{в,Q} = 0,5\alpha_k \left(1 + \frac{f_{np}}{f}\right) \text{ и } \alpha_k > \gamma_в \geq 0,5\alpha_k, \quad (20)$$

где $f_{np} = f_{on} \frac{r}{R_p}$ - приведенный радиус трения, не изменяется независимо

от величины противонапряжения Q , которая оказывает влияние на величину силы давления заготовки на ролик $P_{M(в),Q} < P_{M(в)}$, точку приложения которых определяет нейтральное сечение заготовки (нейтральный угол очага деформации), направления этих сил проходит касательно кругу трения в опоре ролика, преодолевая момент трения $M_{mp,r}$ роликовой волоки. Таким образом, часть мощности силы волочения $W_в = P_в v_1$ и $W_{в,Q} = P_{в,Q} v_1$ будет расходоваться на преодоления мощности силы трения в опоре ролика и соответственно $M_{mp,r}$ при волочении влияет на напряженное состояние материала заготовки в очаге деформации. Схема напряженного состояния заготовки в очаге деформации в монолитной волоке (рис. 2, а) соответствует схеме осевого растяжения материала заготовки. При волочении в роликах напряженное состояние заготовки в очаге деформации приближается к схеме осевого сжатия за счет действия сил трения в очаге деформации, направленных навстречу друг другу. Соответственно $P_{M(вол)} < P_{M(в)}$.

На рис. 3 представлены схемы распределения энергосиловых параметров очага деформации при различных способах прессования заготовки силами P_{np} в

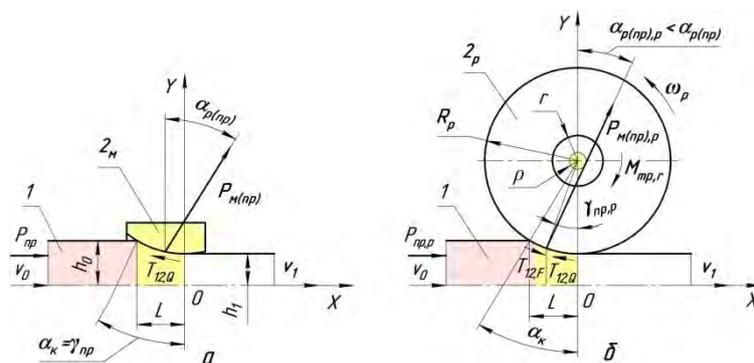


Рисунок 3 - Способы прессования: в фильере (а); в неприводных роликах (б)

фильере (рисунок 3, а) и $P_{np,p}$ в роликах (рисунок 3, б). Распределение энергосиловых параметров в процессах прессования аналогично распределению энергосиловых параметров при волочении ($\gamma_{np} = \gamma_{вол}$, $\alpha_{p(np)} = \alpha_{p(вол)}$, $\gamma_{np,p} = \gamma_в$, $\alpha_{p(np),p} = \alpha_{p(в)}$), но при этом $P_{np} > P_{вол}$, $P_{np,p} > P_в$ и схема напряженного состояния заготовки как при волочении в фильере, так и при прессовании в роликах происходит в условиях всестороннего сжатия

материала заготовки в очаге деформации. Соответственно $P_{M(np)} > P_{M(вол)}$ и $P_{M(np)} \cdot P > P_{M(в)}$.

Анализ распределения энергосиловых параметров процессов: прокатки (рисунок 1) и волочения (рисунок 2) и показывает, что совмещенный процесс прокатка-волочение (рисунок 4, а) будет иметь место тогда и в том случае, когда

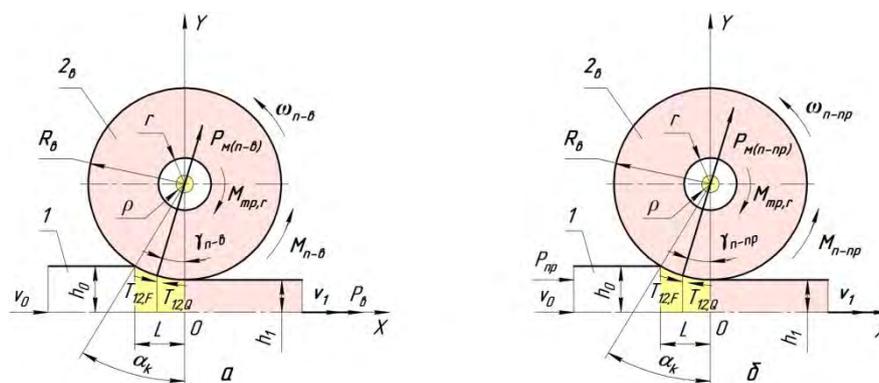


Рисунок 4 - Совмещенные процессы прокатки: прокатка-волочение (а); прокатка-прессование (б)

кинематические и силовые параметры каждого из совмещаемых процессов ОМД (прокатка и волочения) не будут противоречить друг другу в совмещенном процессе. Для кинематических параметров (16), (20) это условие соответствует

$$\gamma_{n-в} = 0,5\alpha_k \quad (21)$$

В отношении силового параметра процесса прокатки-волочения $P_{M(n-в)}$. Точкой приложения $P_{M(n-в)}$ является нейтральное сечение очага деформации, которое определяет нейтральный угол $\gamma_{n-в}$, а направление $P_{M(n-в)}$ проходит через ось вращения инструмента (валка). В этом случае момент трения в опоре валка преодолевается моментом привода прокатной клетки, а для процесса волочения это соответствует волочению заготовки без трения в опоре ролика (валка).

Аналогичное распределение энергосиловых параметров имеет место при прокатке-прессовании (рисунок 4, б)

$$\gamma_{n-np} = 0,5\alpha_k \quad (22)$$

и сила $P_{M(n-np)}$ проходит через ось вращения валка (ролика).

Для качественного исследования локальных деформаций материала заготовки в очаге деформации при различных способах ОМД разработан метод и устройство для его осуществления (рисунок 5, а) [14,17-19]. Устройство представляет модель очага деформации, которая содержит основание θ , на котором в один слой расположены намагниченные металлические шарики различного цвета (1 и $1'$), представляющие центры масс элементарных объемов материала заготовки и установленные с возможностью вращения

металлические ролики 2. При неподвижных роликах 2_{ϕ} ($\omega_p = 0$) перемещение разноцветных намагниченных шариков 1 (белых), представляющих основной слой материала заготовки, и 1' (затемненных), представляющих исследуемый слой материала заготовки, осуществляется пуансоном 3, который расположен в направляющих 4 и приводится в движение с помощью зубчатой передачи, состоящей из двух вращающихся зубчатых колес 5 и двух подвижных реек 6, связанных с пуансоном 3. В этом случае моделируется процесс прессования в фильере (рисунок 5 б, в) согласно схеме прессования, представленной на рисунке 3, б, когда профиль волокна в осевом сечении имеет радиальную форму волоочильного канала. При вращении роликов 2_p ($\omega_p \neq 0$) шариками 1 и 1' за счет перемещения пуансона 3, моделируется процесс прессования в роликах (рисунок 5, г, д) согласно схеме прессования на рисунке 3, в. При перемещении шариков 1 и 1' вращающимися (ω_g) валками 2_g без воздействия пуансона 3 на торцевой слой шариков на входе в волоку, моделируется процесс прокатки (рисунок 5, е, з) согласно схеме прокатки на рисунке 1, а. При перемещении шариков 1 и 1' за счет одновременного согласованного вращения (ω_g) валков 2_g и перемещения пуансона 3, моделируется процесс прокатки-прессования (рис. 5, и, к) согласно схеме прокатки-прессования на рис. 4, б.

Анализ результатов экспериментов (рис. 5 б – к) показывает, что при любом способе ОМД, представленном на рис.: 1 – 4 в процессе обжатия заготовки с коэффициентом $\mu = \frac{h_0}{h_1}$ исследуемый прямолинейный слой материала заготовки на входе в очаг деформации (рисунок 5, б, г, е, и) изменяет свою форму на выходе из очага деформации (рисунок 5, в, д, з, к). При прессовании в фильере (рисунок 5, б, в) исследуемый слой материала заготовки на выходе из очага деформации приобретает форму линии выпуклой в направлении v_1 . При прессовании в роликах (рисунок 5, г, д) исследуемый слой материала на выходе из очага деформации представляет кривую, которая имеет две симметричные относительно оси симметрии очага деформации выпуклости в направлении v_1 и вогнутость на оси симметрии очага деформации. При прокатке (рисунок 5, е, з) слой на выходе из очага деформации в направлении v_1 представляет вогнутую кривую. При прокатке-прессовании форма кривой на выходе из очага деформации в направлении v_1 имеет незначительную выпуклость вблизи оси симметрии очага деформации.

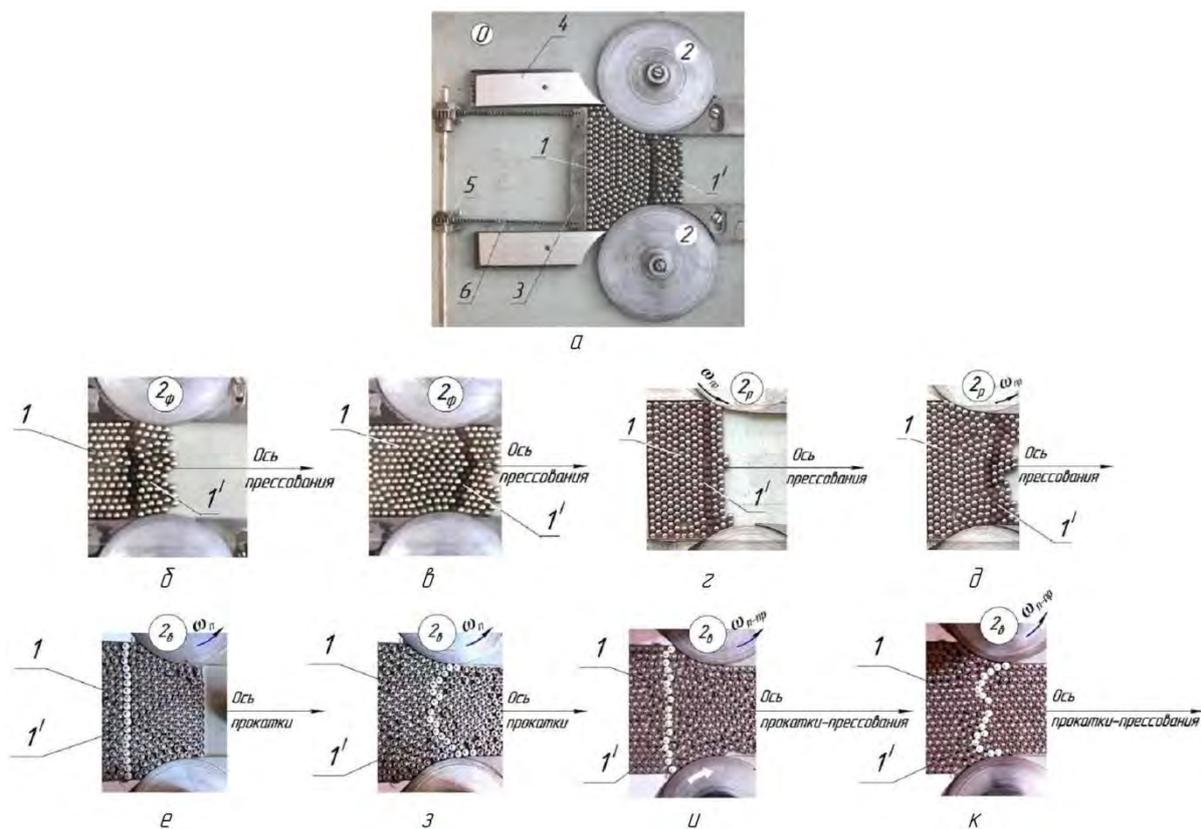


Рисунок 5 - Установка для моделирования локальных деформаций ОМД (а) и результаты моделирования процесса: прессования $\mu = 1,07$ в фильтре (б, в) [19]; прессования $\mu = 1,25$ в роликах (г, д) [19]; прокатки $\mu = 1,4$ (е, з) [20]; прокатки-прессования $\mu = 1,45$ (и, к) [20]

Обсуждение результатов

Определены условия необходимые и достаточные для осуществления совмещенных процессов прокатки-волочения и прокатки-прессования, при которых энергосиловые параметры совмещаемых процессов: прокатки, волочения и прессования не противоречат друг другу, а взаимно дополняют друг друга, обеспечивая улучшения потребительских свойств готового изделия.

Нейтральный угол очага деформации при совмещенном процессе прокатке-волочении, равен половине угла контакта заготовки и вращающегося инструмента. При этом, величина нейтрального угла при прокатке-волочении равна величинам нейтральных углов, которые не противоречат величинам этих углов для каждого из совмещаемых процессов: прокатки с натяжением и волочения в роликовой волоке.

Величина нейтрального угла при совмещенном процессе прокатке-прессовании составляет половину угла контакта заготовки и инструмента и равна величинам нейтральных углов, которые могут иметь совмещаемые процессы: прокатки с подпором и прессования в роликах.

Сила давления материала заготовки на вращающийся инструмент при совмещенном процессе прокатке-прессовании, проходит через ось вращения

инструмента, что соответствует преодолению момента трения в опоре вращающегося инструмента приводом прокатного валка при прокатке с подпором и прессованию в роликах без трения в опорах роликов.

Аналогичная зависимость имеет место при совмещенном процессе прокатки-волочения, когда совмещаемыми процессами являются прокатка с натяжением и волочение в роликах при отсутствии момента трения в опорах роликов.

В осевом сечении очага деформации вертикальный слой материала заготовки на входе в очаг деформации в процессе деформации изменяет свою форму за счет локальных деформаций материала заготовки относительно средней вертикальной линии деформируемого слоя, элементы которого по ходу деформации находятся как впереди средней линии, на средней линии, так и за ней.

Воздействие на контактную поверхность заготовки сил внешнего трения в очаге деформации определяет на выходе из очага деформации изменение исходной формы слоя материала заготовки на входе в очаг деформации:

- в условиях прессования заготовки в фильере постоянные по направлению силы внешнего трения, противодействуя силе прессования, тормозят внешние слои материала заготовки и обеспечивают выпуклость деформируемого исходного слоя материала заготовки, соответственно, снижая резерв пластичности готового изделия.

- в условиях прокатки на заготовку действуют силы трения, направленные навстречу друг другу, но при этом процесс прокатки обеспечивает сила трения, действующая на заготовку в зоне отставания заготовки, которая существенно превышает противодействующую ей силу трения в зоне опережения заготовки. Взаимодействие этих сил на заготовку в очаге деформации обеспечивают вогнутость слоя материала заготовки на выходе из очага деформации, при которой резерв пластичности готового изделия снижается по сравнению с аналогичным изделием, полученным при прессовании в роликах;

- в условиях процесса прокатки-прессования происходит оптимизация взаимодействия сил внешнего трения в очаге деформации с силой прессования и силой, приложенной к заготовке за счет момента прокатки. При этом снижается кривизна исходного слоя заготовки на выходе из очага деформации, обеспечивая повышение ресурса пластичности готового изделия по сравнению, аналогичным изделием, полученным как прокаткой, так и прессованием в роликах.

Выводы

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований энергосиловых параметров очагов деформации различных способов ОМД установлены характерные особенности этих процессов: прокатки, волочения и прессования в роликах, а так же совмещенных процессов прокатки-волочения и прокатки-прессования. В основу классификации этих процессов положены: величина нейтрального угла очага

деформации и направление линии действия силы давления заготовки на валок (ролик) относительно его оси вращения.

В случае, когда нейтральный угол меньше половины угла контакта заготовки и вращающегося инструмента (валка) имеет место процесс прокатки, независимо осуществляется ли простой процесс прокатки, прокатка с передним или задним натяжением, прокатка с подпором. При этом сила давления заготовки на инструмент не проходит через ось вращения валка и момент трения в опоре валка преодолевает момент привода клетки.

В случае, когда нейтральный угол больше половины угла контакта заготовки и вращающегося инструмента (ролика) имеет место процесс волочения или прессования в роликах. При этом сила давления заготовки на инструмент проходит касательно кругу трения в опоре ролика и обеспечивает вращение ролика, за счет составляющей (части) силы волочения (прессования), приложенной со стороны привода непосредственно к заготовке.

При условии, когда нейтральный угол равен половине угла контакта заготовки и вращающегося инструмента имеет место процесс прокатки-волочения или прокатки-прессования. При прокатке-прессовании в готовом изделии обеспечивается максимальный ресурс пластичности изделия по сравнению с аналогичными изделиями, получаемыми при других непрерывных процессах ОМД в стационарных очагах деформации.

Список литературы

1 Коновалов Ю.В. Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов / Ю.В. Коновалов // Производство проката. – 2009. – № 9. – С. 37–43.

2 Логинов Ю.Н. Сравнительный анализ процессов холодной сортовой прокатки и волочения проволоки из латуней / Ю.Н. Логинов, А.Ю. Горланов, О.Л. Мурзинов // Производство проката. – 2005. – № 1. – С. 16–19.

3 Перерва А.В. Прессование из заготовки неограниченной длины / А.В. Перерва, Г.В. Кожевников, Л.И. Алиева // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - 2010. – № 1 (18). - С. 221-225.

4 Райков Ю.Н. Экономика предприятий обработки цветных металлов. М.: Интермет-Инжиниринг, 2003. - 336с.

5 Минаев А.А. Совмещенные металлургические процессы / А.А. Минаев. – Донецк: Унитех, 2008. – 552 с.

6 Выдрин В.Н. Производство листов и ленты способом «прокатка-волочение» / В.Н. Выдрин, Л.М. Агеев. – М.: Черметинформация, 1971. – 21 с.

7 Титов В.А. Особенности течения металла в цилиндрическом канале матрицы при прессовании с перемешиванием / В.А. Титов, Л.В. Шмелева // Вестник НТТУ «ЖПИ». Машиностроение. – 2013. – № 67. – С. 214–224.

8 Огинский И.К. Совмещенные процессы в обработке металлов давлением / И.К. Огинский, К.В. Таратута, С.Н. Востоцкий // Обработка материалов давлением. - 2018. - № 1 (46). – С.167-174.

- 9 Добров И.В. Сравнительный анализ процессов прокатки и волочения в роликовых волокнах / И.В. Добров, А.П. Грудев, Ю.И. Коковихин // Изв. вуз. Черная металлургия. – 1987. – № 10. – С. 44–48.
- 10 Целиков А.И. Теория прокатки / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин. Справочник. - Москва: Металлургия, 1982. – 335 с.
- 11 Перлин И.Л. Теория волочения / И.Л. Перлин, М.З. Ерманок. – М.:Металлургия, 1971.- 448 с.
- 12 Гун Г.С. Развитие теории обработки металлов давлением (научный обзор) часть 2 / Г.С. Гун // Вестник Южно-Уральского государственного университета. - 2015. – Том 15 (№ 3). – с.116-126.
- 13 Выдрин В.Н. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко, В.И. Крайнов. – М.: Металлургия, 1970. – 456 с.
- 14 Dobrov I.V. On Kinematics - of Stock Deformation Process during Drawing / I.V. Dobrov // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – pp. 760–770.
- 15 Добров И.В. Энергосиловые параметры процесса волочения в роликовой волоке / И.В. Добров // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 2009. – № 3. – С. 34 –39.
- 16 Большаков В.И. Комплексный подход к решению задач освоения производства арматурной проволоки, соответствующей требованиям ISO 10544 (Сообщение 1) / В.И. Большаков, И.В. Добров // Производство проката. – 2008. – № 11. – С. 23–27.
- 17 Pat. 118653 Ukraine, MPC G01B11 / 16. A method for modeling the kinematics of local plastic deformation / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, I.I. Getman (Ukraine). – No u201610915; posted 31 of October 2016; publ. 28 of August 2017, Bul. No. 16. – 3 p.
- 18 Dobrov I.V. Optical method of physical simulation of local deformation during strip drawing using monolithic tool / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, E.P. Morozenko, A.V. Koptilyy // Working of materials by pressure. - Kramatorsk: DGMA, 2018. - No. 2 (47). - pp. 26-30.– ISSN 2076-2151.
- 19 Dobrov I.V. To the question of the mechanics of the deformation zone during pressing of the strip / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, O.P. Morozenko, O.V. Koptilyy // International Scientific and Technical Conference "Progressive Technology Technology and Engineering Education", Kyiv, 3-7 June 2019: Materials of the Conference - Kyiv: 2019. - pp. 93-95.
- 20 Добров И.В. К вопросу классификации процессов ОМД при анализе кинематики очага деформации / И.В. Добров, А.В. Семичев, Е.П. Морозенко / Міжнародна науково-технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта, м. Херсон, 10-13 вересня 2019 р.: Матеріали конференції Київ-Херсон: 2019.- с.158-160.

УДК 621.771, 621.778

**РЕЦИКЛИНГ МЕТАЛЛОЛОМА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНИСТАНА РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ
ПРОКАТКИ И ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА**

**RECYCLING OF METAL SCRAP OF FERROUS METALS USING MINI-
MILL OF RADIAL-SHEAR ROLLING AND DRAWING MILL**

*Лежнев С.Н.¹, Найзабеков А.Б.¹, Панин Е.А.², Волокитина И.Е.²,
Турабаева М.Б.², Йорданова Р.М.³, Салько О.Ю.¹*

¹Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан; ²Карагандинский
государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан;

³Университет химической технологии и металлургии г. София, Болгария
sergey_legnev@mail.ru

*Lezhnev S.N.¹, Naizabekov A B¹, Panin E.A.², Volokitina I.E.²,
Turabaeva M.B.², Yordanova R.M.³, Sal'ko O.Yu.¹*

¹Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan; ²Karaganda State Industrial
University, Temirtau, Kazakhstan; ³University of chemical technology and

metallurgy, Sofia, Bulgaria
sergey_legnev@mail.ru

Аннотация: Переработка металлолома является одним из важнейших направлений в производстве металлов и сплавов, а так же при изготовлении различных металлоизделий; данная деятельность называется рециклинг. Рециклинг металлолома можно осуществлять, как путем его переплавки, или же технологией, набирающей в настоящее время распространение на некоторых металлургических и машиностроительных заводах и которая включает в себя переработку отслуживших срок металлоизделий методом горячей обработки давлением. В данной работе предложена технология рециклинга металлолома черных металлов в условиях Акмолинского филиала АО «Казвторчермет», с целью получения высококачественного торгового продукта в виде прутков круглого поперечного сечения или проволоки.

Ключевые слова: рециклинг, радиально-сдвиговая прокатка, волочение, металлолом, металл, интенсивная пластическая деформация.

Abstract: Re-processing of scrap metal is one of the most important directions in the production of metals and alloys, as well as in the manufacture of various metal products; this activity is called the recycling. Recycling of scrap metal can be carried out, both by melting it, or by technology, currently gaining distribution in some metallurgical and engineering plants and which includes the processing of end-of-life metal products by hot forming. In this paper, the technology of recycling of ferrous metal scrap in the conditions of Akmola branch of JSC "Kazvtorchmet", in order to obtain high-quality commercial product in the form of bars of circular cross-section or wire.

Key words: recycling, radial-shear rolling, drawing, scrap, metal, severe plastic deformation.

Одной из важнейших проблем в области охраны окружающей среды является проблема утилизации отходов различных производств и дальнейшее их потребление. Поэтому уже не одно десятилетие во всем мире уделяется большое внимание разработке различных способов не только утилизации отходов, но и их переработки, т.е. рециклинга, в том числе металлолома.

«Железный мусор» составляет особую категорию отходов, которую называют металлоломом. Идеальное современное решение для утилизации металлолома является вторичная переработка его с целью дальнейшего использования для нужд человека.

Трудно не согласиться, что одним из простых способов переработки лома черных металлов и сплавов является его переплавка и дальнейшее вторичное использование. Но известен и другой способ переработки некоторых металлоизделий отслуживших срок службы – это метод горячей обработки их давлением с получением готового товарного продукта. Одной из первых таких технологий является технология переработки железнодорожных рельсов горячей прокаткой в калибрах с целью получения фланцевых профилей, которая была разработана еще в начале прошлого столетия американским ученым E.E. Slick [1]. В последующем был предложен целый ряд технологий, направленных на переработку железнодорожных рельсов горячей прокаткой с целью получения металлоизделий различного профиля и назначения [2-7]. Одна из таких технологий нашла применение на новом металлопрокатном заводе в городе Тула (Россия) на площадке бывшего ОАО «Комбайнмашстрой», которая предполагает перекатку железнодорожных рельсов в строительную арматуру.

Также в настоящее время набирает оборот и еще один способ переработки вышедших из строя металлоизделий - это технология рециклинга, путем обработки этих металлоизделий с применением одного из перспективного способа горячей обработки давлением, а именно радиально-сдвиговой прокатки [8]. И одной из таких технологий является инновационная технология рециклинга насосных штанг с применением технологии и министанов радиально-сдвиговой прокатки в условиях ОАО «Очерский машиностроительный завод» [9-11] и бывших в эксплуатации железнодорожных осей [12].

Отличие радиально-сдвиговой прокатки от обычной винтовой прокатки, применяющейся, например, при прошивке труб [13-14], состоит в том, что идет прокатка сплошного прутка по трехвалковой схеме с большими значениями углов подачи. При этом очаг деформации образуется тремя приводными валками, развернутыми под углом к оси заготовки и под углом друг к другу.

При радиально-сдвиговой прокатке в очаге деформации, в продольном направлении заготовка испытывает сжатие по двум направлениям и растяжение в одном направлении, которое соответствует ходу прокатки. В поперечном направлении, помимо обжатия, также реализуется скручивание заготовки, что происходит под действием крутящего момента от валков. В результате, после

прохождения очага деформации в валках, заготовка уменьшается в диаметре, удлиняется, а также скручивается вокруг своей оси на определенный угол. Значение угла скручивания будет зависеть от величины крутящего момента, материала заготовки и ее геометрических параметров.

Главной особенностью радиально-сдвиговой прокатки является немонокотность и турбулентность деформации, а также отличия в пластическом течении и проработке структуры разных зон (центральной, нейтральной и поверхностной) заготовки, вследствие, траекторно-скоростных особенностей процесса [15]. Эта особенность позволяет создавать в станах радиально-сдвиговой прокатки условия не для разрыхления центральной зоны, как при использовании традиционных трубных станов винтовой прокатки, а наоборот, для уплотнения и интенсивной деформационной проработки металла во всем объеме металла. Поэтому на станах радиально-сдвиговой прокатки с указанными выше особенностями возможна прокатка широкого спектра материалов вплоть до сложнолегированных труднодеформируемых специальных сплавов черных и цветных металлов с получением в заготовке ультрамелкозернистой структурой [16-22].

Мы же предлагаем использовать технологию радиально-сдвиговой прокатки для переработки обычного металлолома черных металлов в условиях Акмолинского филиала АО «Казвторчермет» с целью получения высококачественного товарного продукта в виде прутков круглого поперечного сечения. Или же использовать ее совместно с технологией волочения, но уже для получения проволоки.

Акционерное общество «Казвторчермет» - крупнейшее в Республике Казахстан и Центральной Азии специализированное предприятие по приему, хранению и переработке лома (отходов) черных металлов. В состав АО «Казвторчермет» входят 23 филиала. И одним из таких филиалов является Акмолинский филиал, на котором в настоящее время имеется большое количество черного лома (рисунок 1), который можно было бы так же подвергнуть обработке на стане радиально-сдвиговой прокатки с целью получения высококачественных прутков с мелкозернистой структурой и повышенным уровнем механических свойств. А при необходимости полученный на стане радиально-сдвиговой прокатки высококачественный пруток может быть подвергнут дальнейшему деформированию на волочильном стане для получения высококачественной проволоки.



Рисунок 1 – Номенклатура черного лома на металлобазе Акмолинского филиала АО «Казвторчермет»

Представленная на рисунке 1 номенклатура металлолома включает, как длинномерные прутки черных металлов различного диаметра, так и обрезки прутков черных металлов различного диаметра, а также арматуру различного диаметра и длины.

С целью подтверждения возможности рециклинга различного металлического лома был проведен лабораторный эксперимент с использованием стана радиально-сдвиговой прокатки СВП-08 (рисунок 2) в условиях кафедры «Металлургия и горное дело» Рудненского индустриального института и промышленного волочильного стана В-1/550М (рисунок 3) в условиях кафедры «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета.

В качестве исходных заготовок были использованы куски ржавой арматуры из стали марки Ст5сп класса А-II (А300) ГОСТ 5781-82 диаметром 18 мм и длиной 300 мм, от которых были отрезаны небольшие темплеты для подготовки микрошлифов с целью исследования исходной микроструктуры.



Рисунок 2 – Стан радиально-сдвиговой прокатки СВП-08



Рисунок 3 – Общий вид волочильного стана В-1/550М

На первом этапе осуществляли горячее деформирование арматуры на стане радиально-сдвиговой прокатки. Прокатку осуществляли следующим образом: исходные куски арматуры, размеров указанных выше, предварительно нагревали в трубчатой печи сопротивления до температуры начала деформирования 12000С с выдержкой при данной температуре в течение 20 минут. После нагрева заготовка подавалась к трехвалковой клети прокатного стана с коническими валками, которые за счет сил контактного трения захватывали её и за счет смещения осей валков, обеспечивали осевую составляющую сил прокатки, и, следовательно, поступательное движение прокатываемой заготовки. После нескольких проходов уже подстывшая заготовка отправлялась на подогрев и потом опять прокатывалась до необходимого диаметра, в нашем случае до диаметра 9 мм.

На втором этапе осуществляли холодное (при комнатной температуре) деформирование, полученных на стане радиально-сдвиговой прокатки, прутков диаметром 9 мм на волочильном стане. Волочение осуществляли за три прохода до получения проволоки диаметром 7 мм. При этом использовались волокни диаметром 8,2 мм; 7,5 мм и 7 мм.

После осуществления процессов прокатки и волочения нами были подготовлены микрошлифы из исходной заготовки в виде арматуры, из полученного прутка диаметром 9 мм и из проволоки диаметром 7 мм. Микрошлифы были подготовлены как в поперечном, так и в продольном направлении.

В исходном состоянии исследуемая сталь имеет феррито-перлитную структуру с содержанием перлита около 26 % со средним зерном 37 мкм (рисунок 4).

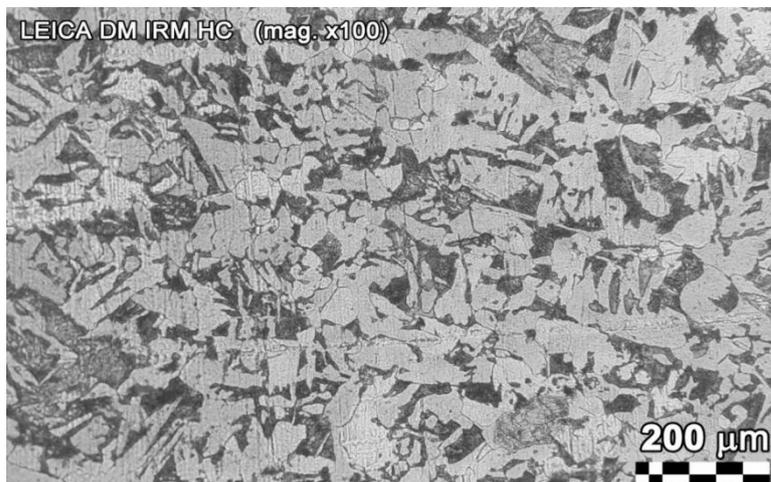
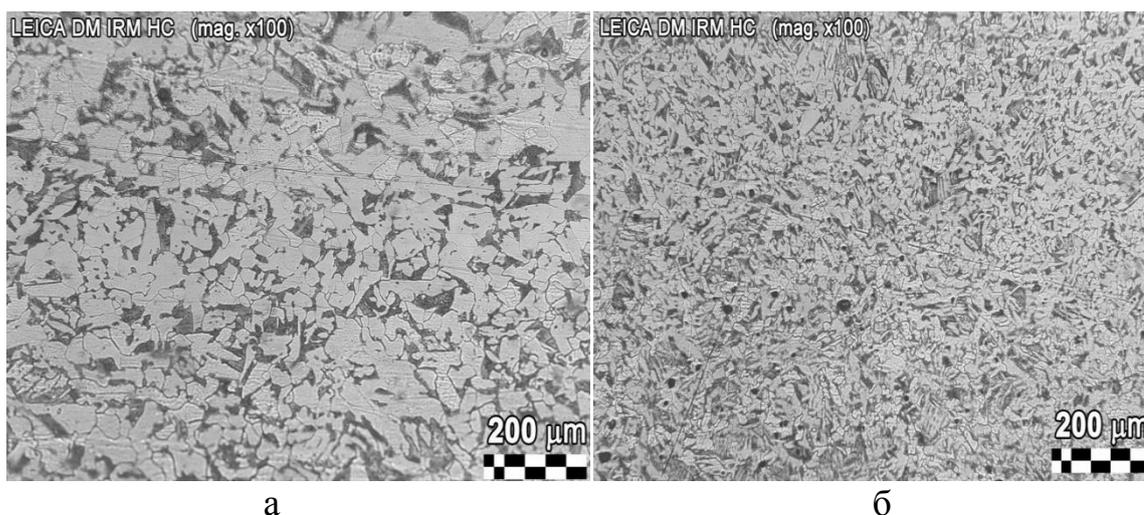


Рисунок 4 - Исходная микроструктура арматурного прутка стали марки Ст5сп, размер зерна 37 мкм

После радиально-сдвиговой прокатки в центральной области прутка, где имеет место чистое растяжение, наблюдается практически равноосное неоднородное субмикроструктурное состояние, которое трансформируется в вытянутую вдоль оси прутка (волокнистую) структуру (рисунок 5а). По границам крупных вытянутых в направлении оси прутка фрагментов структуры наблюдаются отдельные скопления равноосных зерен размером от 1-2 мкм, образование которых, обусловлено развитием процессов динамической рекристаллизации.



а - центр прутка; б - поверхность прутка

Рисунок 5 - Микроструктура стали марки Ст5сп после радиально-сдвиговой прокатки

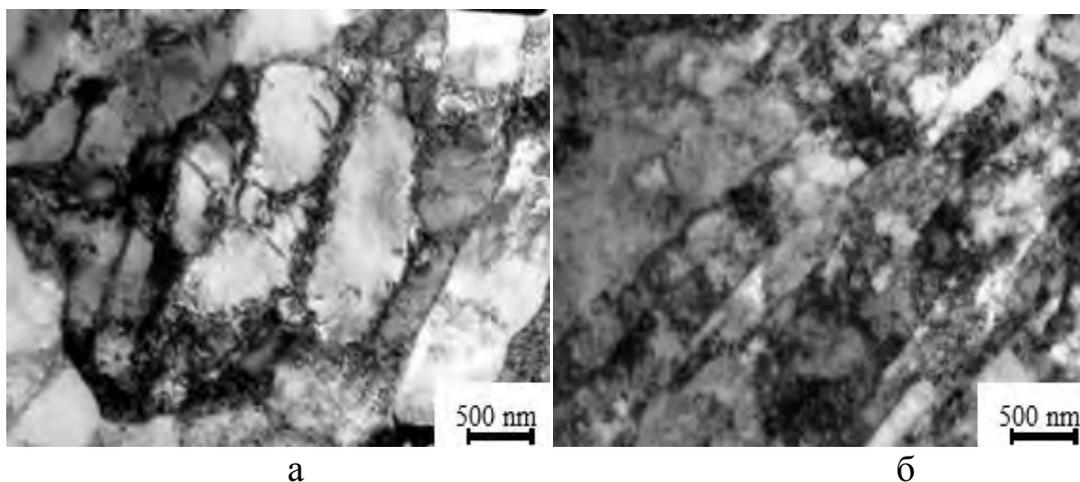
Значительное измельчение структуры исследуемой стали в результате реализации радиально-сдвиговой прокатки происходит в приповерхностном слое (рисунок 5б). Средний размер зерен составляет примерно 11-12 мкм, при этом формируется достаточно однородная зеренная структура. Полученная структура имеет преимущественно зеренный, а не субзеренный характер.

Образование спиральной макроструктуры влияющей на разность между размерами зерен в поверхностном слое и центральной области прутка при радиально-сдвиговой прокатке вызвано силовыми и кинематическими условиями воздействия технологического инструмента на заготовку. Картина движения различных слоев металла с различным шагом и углом подъема винтовых линий наглядно доказывает, что в процессе радиально-сдвиговой прокатки, помимо кардинального измельчения всей структуры заготовок, происходит послойное ориентирование новой измельченной структуры. Элементы измельченной структуры при деформировании прутка в очаге деформации имеют траекторию движения, свойственную только одному конкретному слою прутка бесконечно малой толщины [23].

В работе [24] было доказано, что феррит легче поддается фрагментации и его содержание оказывает влияние на процесс формирования структуры при деформации, а на деформирование перлитных зерен сильное влияние оказывает межпластиночное расстояние. Чем больше межпластиночное расстояние, тем менее интенсивно деформируется перлит [25].

Также после радиально-сдвиговой прокатки наблюдается дробление цементитных пластин, цементитные пластины изгибаются и закручиваются, возникают полосы сброса, пластины, расположенные параллельно направлению приложения силы, разрушаются срезом. В перлите происходит уменьшение межпластиночного расстояния [26].

Из-за измельчения микроструктуры проволоки до мелкозернистой, световой микроскопией не удалось выявить четкого очертания зерен, поэтому дальнейшие исследования микроструктуры были выполнены на просвечивающем электронном микроскопе JEM2100. Результаты исследования представлены на рисунке 6.



а – поперечное сечение; б – продольное сечение

Рисунок 6 - Микроструктура стали марки Ст5сп после волочения

Электронно-микроскопические исследования образцов проволоки после волочения показали, что по всему объёму прутков после волочения в деформированных зёрнах феррита наблюдаются разориентированные ячейки, которые, как правило, вытянуты в направлении волочения, их размеры составляют около 0,5-0,6 мкм в ширину и порядка 1-3 мкм в длину. В отличие от периферийной области в микроструктуре центральной части образцов наблюдаются слабо разориентированные произвольной формы ячейки (рисунок ба), которые свидетельствуют о менее высокой интенсивности накопленной деформации в центральной области. Размер зерен после волочения меньше, чем после радиально-сдвиговой прокатки, что естественным образом связано с вытягиванием зерен феррита в продольном направлении и уменьшением сечения зерен в поперечном направлении в процессе волочения.

Для исследования однородности микроструктурных параметров по поперечному сечению арматуры были проведены исследования распределения микротвердости как для поверхностной, так и для центральной областей образцов. Исследования микротвердости проводили на световом микроскопе Leica оборудованном микротвердомером.

Микротвердость поверхности в исходном состоянии была на 27 МПа выше микротвердости центральной области образцов и составляла 242 МПа, что может быть объяснено предварительной обработкой заготовки (при получении исходного арматурного профиля), а, следовательно, более интенсивным наклепом поверхности.

Анализ изменения величины микротвердости полученной проволоки от центра образцов к периферии показал, что этот параметр находится в прямой зависимости от интенсивности деформации и возрастает с повышением уровня накопленной деформации. При этом значения микротвердости возрастают от центра к периферийной области. После радиально-сдвиговой прокатки и волочения разность в микротвердости между поверхностной и центральной частями проволоки сохраняется, но после нескольких циклов деформирования было выявлено, что с увеличением числа проходов происходит не только увеличение микротвердости с 242 МПа до 415 МПа, но и постепенное выравнивание данного параметра между центральной и поверхностной зоной.

Вывод: проведенные исследования подтвердили не только возможность переработки различных отходов черных металлов, в том числе и арматуры, с получением товарного продукта в виде металлического прутка и проволоки, но и возможность получения при этом мелкозернистой структурой, что обеспечит существенное повышение механических свойств, а соответственно и качество получаемых металлоизделий.

Таким образом, радиально-сдвиговая прокатка совмещённая с волочением является эффективным способом получения проволоки с мелкозернистой структурой. Она не меняет сути используемого технологического процесса и может быть просто реализована на применяемом сегодня волочильном оборудовании. Одновременное действие двух механизмов (вытяжки и кручения) формирования структуры и возможность управления ими позволяют получать

проволоку с требуемой микроструктурой при одновременном снижении затрат на ее изготовление.

Список литературы

- 1 Patent USA № 1086789. Method of rolling flanged shapes/ Edwin E. Slick, 1914.
- 2 Patent USA № 4982591. Rail recycle process/ Darrell B. McGahhey, 1991.
- 3 Патент РФ № 2509615. Способ перекатки рельсов/ Трайно А.И., Иванов Д.М., 2014.
- 4 Патент РФ № 2491139. Способ производства фасонного проката/ Вольшонок И.З., Иванов Д.М., Русаков А.Д., Рыжик М.П., Трайно А.И., 2013.
- 5 Патент РФ № 2511201. Способ перекатки железнодорожных рельсов./ Трайно А.И., Иванов Д.М., 2014.
- 6 Патент РФ № 2541211. Способ изготовления сортового металлопроката из фрагментов рельс/ Матлашов А.М., 2015.
- 7 Патент РФ № 2574531. Способ производства сортового проката из демонтированного железнодорожного рельса/ Злобин А.А., 2016.
- 8 Патент РФ № 2293619. Способ винтовой прокатки / Галкин С.П., 2007.
- 9 Патент РФ № 2356718. Способ ремонта штанг насосных методом пластической деформации./ Богатов Н.А., 2009.
- 10 Инновационная технология рециклинга насосных штанг с применением технологии и министанов радиально-сдвиговой прокатки в условиях ОАО «Очерский машиностроительный завод»/ Галкин С.П., Романцев Б.А. и др.// Инженерная практика, 2014. №9. – С. 58-61.
- 11 Осачук Э.А. Ремонт насосных штанг по принципу горячей радиально-сдвиговой винтовой прокатки// Инженерная практика, 2017. №1-2.
- 12 Гревцева В.В., Галкин С.П. Экспериментальное опробование технологии повторного использования железнодорожных осей с применением радиально-сдвиговой прокатки./ 72-е Дни науки студентов НИТУ "МИСиС",
- 13 Трубное производство/ Романцев Б.А., Гончарук А.В., Вавилкин Н.М., Самусев С.В. - М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. – 970 с.
- 14 Потапов И.Н., Полухин П.И. Технология винтовой прокатки. – М.: Металлургия, 1990. – 344 с.
- 15 Галкин С.П. Траекторно-скоростные особенности радиально-сдвиговой и винтовой прокатки. «Современные проблемы металлургии». – Днепропетровск: "Системні технології", 2008. Т. 11. – С. 26-33.
- 16 Формирование наноструктурированных состояний и связанных с ними улучшенных свойств материалов медицинского и технического назначения/ Колобов Ю.Р., Иванов М.Б., Голосов Е.В.// Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии (Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies). 2011. Т. 9, № 2. – С. 489-498.

17 Mathematical modeling of radial-shear rolling of the VT6 titanium alloy under conditions of formation of a globular structure/ Lopatin N.V., Salishchev G.A., Galkin S.P. // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2011. №52 (5). – P. 442-447.

18 Лопатин Н.В. Улучшение технологической деформируемости сталей 45 и У10А термомеханической обработкой с использованием радиально-сдвиговой прокатки: автореф. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2007. – С.3-10.

19 Галкин С.П., Михайлов В.К., Романцев Б.А. Технология и министан винтовой прокатки как технико-технологическая система// Производство проката. 1999. №6. – С. 42-48.

20 The effect of cross rolling on the microstructure of ferrous and non-ferrous metals and alloys/ A.B. Naizabekov, S.N. Lezhnev, H. Dyja, T. Bajor, K.Tsay, A. Arbuz, N. Gusseyunov, R. Nemkaeva// METALURGIJA 56 (2017) 1-2, 199-202.

21 The effect of radial-shear rolling on microstructure and mechanical properties of stainless austenitic steel AISI-321/ Nayzabekov A., Lezhnev S., Arbuz A., Panin E.// 5th International Conference on New Forming Technology (ICNFT2018), Bremen, MATEC Web of Conferences 190, 11003 (2018).

22 Влияние радиально-сдвиговой прокатки на микроструктуру и механические свойства технического титана/ Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин Е.А., Арбуз А.С.// Обработка материалов давлением. Краматорск ДГМА, 2019. № 1 (48) - С. 163-169.

23 Е.И. Панов. Основные факторы, влияющие на механизм структурообразования и повышение пластических свойств заэвтектических силуминов при трехвалковой поперечно-винтовой прокатке// Металлург, 2006 №4. – С. 69 - 75.

24 Naizabekov A., Lezhnev S., Volokitina I. Features of change of the structure and mechanical properties of steel at ECAP depending on the initial state. Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 52, 4, 2017. – pp. 626-635.

25 Вакуленко, И. А. Влияние дисперсности перлита на усталостную прочность средне- и высокоуглеродистых сталей / И. А. Вакуленко, О. Н. Перков, В. Г. Раздобреев, Н. Н. Грищенко // Известия вузов. Черная металлургия. 2006. № 8. – С. 26 – 28.

26 Полякова, М. А. Влияние схемы деформирования на формирование ультрамелкозернистой структуры углеродистых сталей / М. А. Полякова, Э. М. Голубчик, А. Е. Гулин // IV междунар. конф. «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»: сб. мат. – М.: ИМЕТ РАН, 2011. – С. 201-203.

UDC 621.73.002.63.001

THE IMPROVEMENT OF LARGE GRADE FORGING TECHNOLOGY ON HYDRAULIC PRESS

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ КРУПНОГО СОРТА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ

Matiukhin A. Yu., Obdul V. D., Kulabneva E. A.
“Zaporizhzhia Polytechnic” National University, Zaporozhye, Ukraine
mco2005@i.ua

Матюхин А.Ю., Обдул В.Д., Кулабнева Е.А.
Национальный университет «Запорожская политехника», Запорожье,
Украина
mco2005@i.ua

Abstract: The paper considers the problems of increasing the efficiency in the production process of large grades from high alloy steels and alloys in the forge and press shops of metallurgical plants. Methods for improving forging productivity by optimizing the technological process in the forging and pressing sections are described.

Key words: forging, hydraulic press, large grade, productivity of forging units.

Аннотация: В работе рассмотрены проблемы повышения эффективности процесса производства крупного сорта из высоколегированных марок сталей и сплавов в кузнечно-прессовых цехах металлургических заводов. Приведены способы повышения производительностиковки за счет оптимизации технологического процесса в кузнечно-прессовых и адьюстажных участках.

Ключевые слова: ковка, гидравлический пресс, крупный сорт, производительность ковочных агрегатов.

Nowadays, the major production of the assortment out of special steels and alloys are made on hydraulic press, radial crimping machines, or hammers. Forging castings is time consuming technological processes, where technological forging techniques, selection of operations, their sequence, and forging efficiency can serve as a means of reducing of material consumption and increasing productivity. The improvement of forging efficiency can be achieved in such ways [1-7] :

-due to the shape of the tool that results in the improvement of stress-strain state and decrease carbide heterogeneity-C-ZF [1-3];

due to the shape and geometric parameters ingots [4, 5];

due to the optimization of technological methods of forging, for example, exclusion of ticketed operations or the progression from the forging cycle [5,6];

due to the combination of different types of heterogeneity, when forging, because of the heterogeneity of the temperature fields-[7]

by the improving accuracy and uniformity of dimensions for the length of the forging, which can save, for example, metal up to 18% and up to 33% on adjustage processing at forging tool steels.

The purpose of the work was to identify opportunities of the performance improving of forging aggregates, for example, on the basis of hydraulic presses with simultaneous | improving of quality and accuracy of forgings, saving forged steels and alloys.

The object of the study is the technology of forging ingots from high-grade grades of steels and alloys on forging units, based on hydraulic presses. The task was to exclude ticketing, smoothing and clogging corners with further performing them on separate, highly efficient basic equipment from the forging cycle. We must determine the factors, which affect the performance of the forging unit and quality and accuracy of high-alloy ingot forging steels and alloys. Forging data, done on hammers, were analyzed [8]. In addition, data obtained by the authors during the study the process of forging on a hydraulic press 63 MN were analyzed too. The results of studies are shown in table 1 and table 2.

Analysis of the given data according to forging results indicates that the component of the forging process depends on the degree of alloying of steels and alloys, which affects crystallization rate. Low recrystallization rate in comparison with the deformation rate does not help the conductivity of complete process of consolidation. The specified fact is confirmed by the data [8]. So when hammering alloys ZI37A, B and ZI617 are transformed from a hammer to the press at a forging temperature of 1000 ° C and the degree of deforming 30%, the resistance to deformation was respectively 62 those 12 kg / mm for ZI437A, B and 104 and 36 kg / mm² ZI617.

In addition, table data indicates a significant share of auxiliary forging operations - smoothing, ticketing, and clogging corners, especially, in forging cycles. It can be noticeable when analyzing the components of forging heat resistant and precision alloys. So, part of the mentioned operation is 32.32% for ZI437B-U-VD alloy out of the total forging time, and it is 42,6% for alloy ZP708-VD. The same tendency is observed for high-allies tool steels (e.g. 4X5MFS, 4X5MZF this part is 39.93%). This means, that when the operation of forging ironing (ticketing, cornering), which needs 0.03-0.04 R nominal force, is removed, press can be used with high efficiency through enhancement productivity averaged 1.4 times.

Removed operations can be separately performed on crimpers built in the forging line unit, which is only designed for calibration of cross-sectional dimensions of the workpiece with small values of relative crimping or expense transfer of the workpiece with a special wagon – thermos for crimping or pipe milling rolling mill.

The effort of rolling (calibration), calculated by known dependencies [9], does not exceed 2.5-4.0 MN, and power consumption cage from the network does not exceed 200 kW at rolling speed of 1 m / s.

Forging accuracy is influenced by characteristics of hydraulic press (rigidity of construction, inertia of the hydraulic actuator), and resistance of the workpiece to deformation, due to the duration of the hardening and hardening processes that take place in the metal billets. The data represented (Tables 1, 2) show that up to 40% of the forging time is consumed precisely to obtain the precision forging accuracy. Withdrawal of directional operations, directed on accuracy and transferring them to the rolling mill cage, allows providing quality of geometry and precision forging dimensions in addition to the above mentioned. How testify [10], The accuracy of the transverse dimensions of the forging, when forging on the press 63 MN is limited by

speed run, which is 7 mm, and by inertial run, which is 3.1 mm and the table deflection is 3-4 mm, then total height error reaches 14-15 mm.

In order to achieve the necessary precision forging we need to increase the duration of the smoothing, which is not profitable in terms of press efficiency, or to use other more effective ways for improving the accuracy of the forging dimensions.

Following all of this mentioned above, the use of rolling stands for cross calibration sizes of forgings are suggested. The increasing rigidity of the forging size and their approximation to a satisfactory size are enough effective way to increase productivity of forging units based on hydraulic presses.

The data given in table C indicate all above. Therefore, metal waste scrap can be reduced 2.8 times for steel 4X5MFS (4X5MZF), 2.4 times for type alloys ZI 437B (U) -VD and 2.6 times for precision alloys type RF 708-VD for investigated forging processes.

Further consideration of this problem with cost analysis of time for adjuster under the conditions of forging and press shows that the time, spent for ripping forgings, forged on the press 63 MN at an average length of the workpiece 4,0 m, for structural grades of steels covers about 11.2 hours. The time for tool steels is about 11.61 hours. The time for heat-resistant alloys is about 19, 24 hours. Reduction of allowances for tearing and extending the rods, forged to the sizes shown in table C, reduces the duration nearly a third part of the forged processing of forgings, which will increase productivity about 30-40%.

Table 1 - Parameters of the forging process of some tool grades of steels and heat-resistant alloys on a hammer with MPH 5000 kg

Brand of steel (alloy)	X12M X12Φ1	ЗИ437А	ЗИ811
Casting weight, kg	750	750	1000
Forging size mm	Ø 100	Ø 100	Ø 105
Forging duration, p	639	658	404
Procrastination, ticketing, cornering: - in c 54 87 181 - in% of the forging duration	54 8.5	87 13.2	181 44.8

Table 2 - Parameters of forging process of some tool grades of steels and heat-resistant alloys on hydraulic press 63 MN

Brand of steel (alloy)	4X5MΦC 4X5M3Φ	ЗИ437Б-У-ВД	ЗИ708-ВД
Casting weight, (electrode), kg	4360	1900	1100
The dimensions of the intersectionbillets, mm	630x630	0500	0370
Forged size,	Ø 460	Ø430	Ø325

Total forging duration, p	864	656	406
Smoothing: in p. in % out of total forging time	345 39,93	212 32,32	173 42,6

Table 3 - Results of forging of some steels and alloys on the press 63 MN

a) Steel 4X5MFS, 4X5MZF The good size is 0430+5mm Casting weight is 4360 kg			
Good size, mm	Ø460+5	Ø445+5	Ø440+5
Weight bearing kg	3805	4077	4160
Wastes -in kg -in%	555 12.7	5283 6.	200 4.6
b) Steel ZI 437B (B) -VD The good size is 0400mm Casting weight 1900 kg			
Good size, mm	Ø425+5	Ø415+5	Ø410+5
Weight bearing kg	1678	1766	1807
Wastes -in kg -in%	222 11.7	134 7.1	93 4.9
c) Stop ZP 708-VD The passing size is 0300 mm Casting weight 1000 kg			
Good size, mm	Ø325+5	Ø315+5	Ø310+5
Weight bearing kg	859	918	946
Wastes -in kg -in%	141 14.1	82 8.2	54 5.4

Conclusion

The conducted investigations about forging on hydraulic press 63 MN show expediency removal of the smoothing operation and reductions it on a rolling stand from the forging cycle, which will allow improving the performance of the forging unit. A rolling stand can be fitted in one line with forging unit. Smoothing in rolling cage will also significantly reduce the allowances and machining tips, which in their turn will greatly improve the performance of the adjuster sections and output of ready-made metal.

Literature

- 1 Manusov A.L. Technology of steel forging 8X4V9F2 / Manusov A.L., Uchaev N.N., Ermakov N.A. and others // Forging and stamping production. - 1997. - No. 4. - S. 22-23.
- 2 Tyurin V. A. Intensification of the deformation study of metal during forging in cut-out strikers / V.A. Tyurin, V.A. Kulikov // Forging and stamping production. - 1988. - No. 4. - S. 2-3.
- 3 Zagorsky V.I. Research and development of optimal technology for forging high-speed steel for hammers / Zagorsky V.I., Zalessky V.I., Kovalev V.N. and others // Forging and stamping production. - 1974. - No. 7. - S. 7-9.
- 4 Baluev S. A. Influence of the shape of the ingot and its forging technology on the quality of forgings of shafts / S. A. Baluev, V. A Tyurin // Forging and stamping - 1985. - No. 1. - P. 7-10.
- 5 Sokolov L.N. State and development of technology for forging large ingots / L.N. Sokolov // Forging and stamping. - 1985. - No. 8. - S. 21-23.
- 6 Belova L.P. Investigation of the forging process of large forgings of rotors / Belova L.P., Dubkov A.N., Delyagina N.F., Gorovaya E.K. // Forging and stamping. - 1985.-No 1. - S. 5-7.
- 7 Pestov V. S. Improving the quality and deformability of forgings metal due to combinations of different types of heterogeneity during forging / V. S. Pestov // Forging and stamping. - 1988. - No. 2. - S. 6-8.
- 8 Forging on hammers of billets of alloy steels / S.Z. Yudovich. - M.: Mechanical Engineering, 1968. -- 215 p.
- 9 Tselikov A. I. Theory of longitudinal rolling / A.I. Tselikov, G.S. Nikotin, S.E. Rokotyan. M.: Metallurgy, 1980.-320 p.
- 10 Zolotukhin N. M. An experimental study of the resistance of forgings to deformation during broaching / N.M. Zolotukhin, O.M. Shinkarenko // Forging and stamping. - 1980. - No. 3. - S. 3-5.

УДК 658.516 : 621.88

РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ВЫБОРУ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ В НОРМАТИВНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

DEVELOPMENT OF THE APPROACH TO CHOICE OF COATINGS PROPERTIES FOR SETTING NORMS IN NORMATIVE AND TECHNICAL DOCUMENTATION

Полякова М.А., Янсаитова М.И.

Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

m.polyakova@magtu.ru

Polyakova M.A., Iansaitova M.I.

Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia

m.polyakova@magtu.ru

Аннотация: Рассмотрены структурные особенности системы «изделие – покрытие». Отмечено, что свойства изделия с покрытием и свойства покрытия имеют взаимообусловленную связь. Это следует учитывать при разработке требований нормативной и технической документации на изделия с покрытием. На примере вакуумного ионно-плазменного покрытия показана возможность применения функционально-целевого анализа для установления связей между функциями изделия с покрытием со свойствами покрытия, которые обеспечивают выполнение этих функций. Показано использование предложенного подхода для классификации свойств покрытий. Приведены рекомендации для применения полученных результатов исследования при регламентации свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий в нормативной и технической документации.

Ключевые слова: Покрытие, изделие с покрытием, свойства, функции, вакуумное ионно-плазменное покрытие, функционально-целевой анализ, классификация свойств, нормативная и техническая документация.

Abstract: Structural peculiarities of the system «product - coating» are analyzed. It is mentioned that properties of the product with coating and properties of the coating have interdependent connection. This should be taken into consideration at setting norms in normative and technical documentation on products with coatings. On the example of vacuum ion-plasma coating it is shown the possibility to use function-target analysis for fixing connections between functions of the product with coating with coating properties which ensure the accomplishment of these functions. It is appointed the usage of the proposed approach for coating properties classification. Recommendations for application the obtained results at setting norms for vacuum ion-plasma coating properties in normative and technical documentations are given.

Key words: Coating, product with coating, properties, functions, vacuum ion-plasma coating, functional-target analysis, properties classification, normative and technical documentation.

Нанесение покрытий является одним из технологических приемов, позволяющих придавать поверхности изделий, требуемые свойства. Как известно, свойства покрытий определяются и зависят от свойств наносимого материала, метода и режимов нанесения покрытия [1, 2 и др.]. Кроме того, следует учитывать тот факт, что покрытие всегда наносится на какое-либо изделие или подложку, то есть иными словами покрытие не существует само по себе. С этой точки зрения на свойства покрытия будут также оказывать влияние и свойства подложки: материал, из которого произведено изделие, форма изделия, наличие/отсутствие загрязнений на его поверхности и т.д. Поэтому,

говоря о свойствах покрытия, следует рассматривать систему «изделие – покрытие», поскольку только в данном случае система будет обладать теми функциональными свойствами, которые необходимы при определенных видах внешнего воздействия.

Вполне очевидно, что свойства покрытий регламентируются в различных видах нормативной и технической документации [3]. Анализ нормативной документации на свойства покрытий показал, что, как правило, нормируются такие свойства, как химический состав покрытия, его толщина, пористость, внешний вид и т.д. Однако, свойства покрытия, зависящие от свойств изделия, не регламентируются в нормативной и/или технической документации.

Целью данного исследования является разработка подхода к выбору свойств покрытий, которые должны быть регламентированы в нормативной и технической документации, так как обеспечивают функциональные свойства изделия с покрытием. В качестве объекта исследования выбрано вакуумное ионно-плазменное покрытие TiN, наносимое на детали газотурбинного двигателя [4-6]. Применение вакуумных ионно-плазменных покрытий характеризуется широкими технологическими возможностями по изменению функциональных свойств поверхности изделий. Применение этого вида покрытия обусловлено экстремальными условиями эксплуатации деталей газотурбинного двигателя при высоких динамических и статических нагрузках, температурах, радиационных и электромагнитных полях различной природы и интенсивности [7].

Одним из эффективных методов, устанавливающих взаимосвязь между свойствами и функциями, является метод функционально-целевого анализа (ФЦА). Сущность данного метода заключается в построении структуры свойств изделия на основе анализа его полезных функций [8-10]. Для реализации функционального принципа структурирования предлагается иерархия свойств, во главе которой стоит главная полезная функция, обеспечение которой обусловлено полезными свойствами. Свойства последующего уровня определяют функции, выполняемые изделием на протяжении определенного уровня потребительской фазы. Применение данного метода для ряда металлоизделий позволило определить наиболее важные показатели качества, которые являются определяющими для выполнения ими полезных функций [11-13].

Рассмотрим возможность применения ФЦА для изделия с вакуумным ионно-плазменным покрытием. Для этого необходимо определить функции изделия с покрытием, а также свойства, которые обеспечивают выполнение этих функций. Основными свойствами, которыми должно обладать изделие с вакуумным ионно-плазменным покрытием, являются износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, термостойкость, прочность и трещиностойкость. Этот комплекс свойств необходим изделию с покрытием, исходя из особенностей внешних воздействий, которые оно испытывает в условиях эксплуатации. С другой стороны, эти свойства зависят от процесса формирования покрытия на поверхности изделия, а также от свойств

рассматриваемой системы в целом, например, геометрические размеры изделия с покрытием, его масса и др. Схематично взаимосвязь функций изделия с покрытием со свойствами представлена на рисунке 1.

На данной схеме (рисунок 1) представлены свойства изделия с покрытием. Однако, следует учитывать, что свойства покрытия зависят также и от технологических особенностей его нанесения, этапов его формирования. Сущность процесса заключается в том, что происходит конденсация испаряемого материала (титан, который является катодом) на подложку при одновременном взаимодействии ионов титана с атомами легирующего газа (азота) [14].

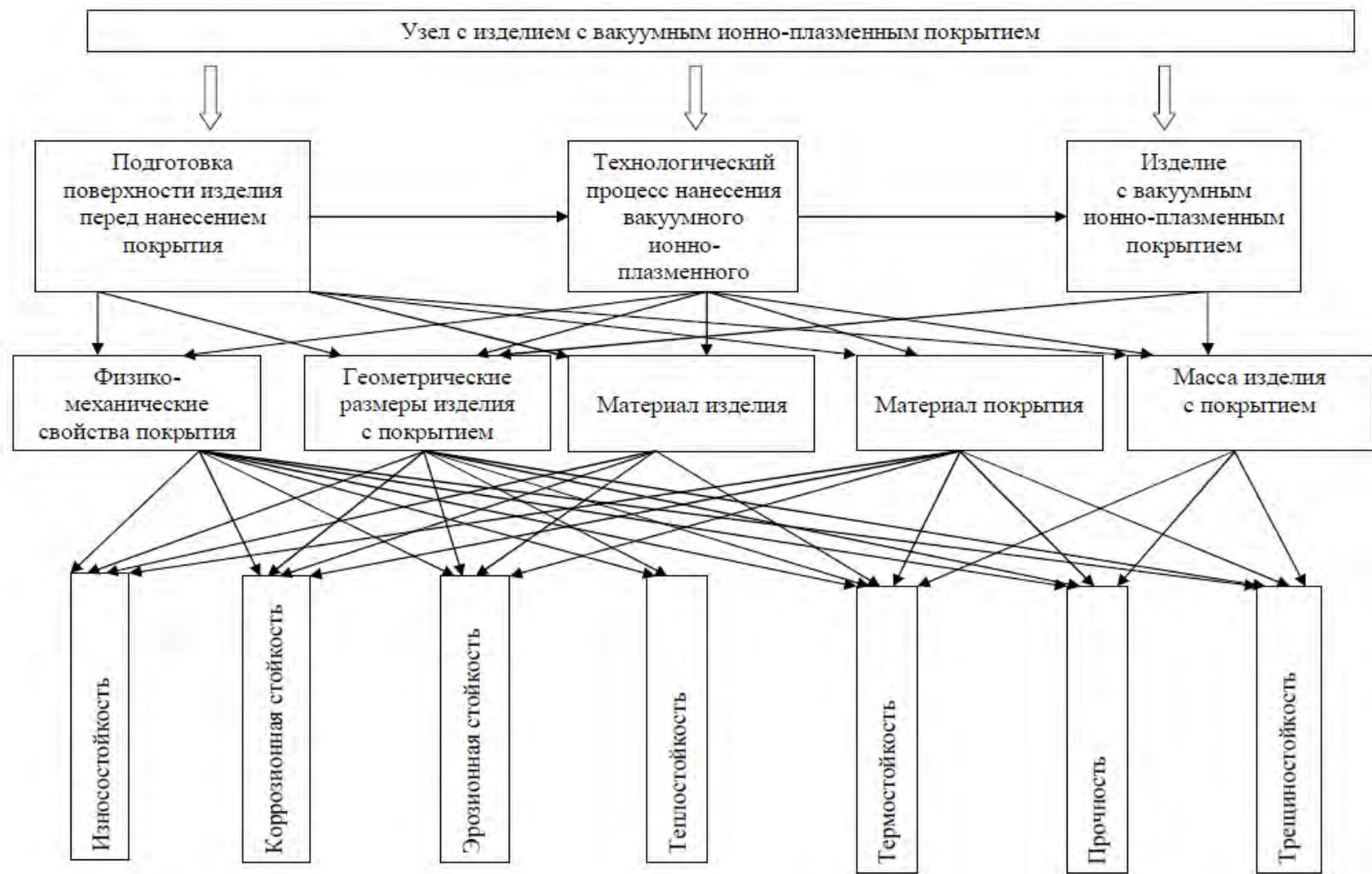


Рисунок 1 - Схема взаимосвязи функций и свойств системы «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие»

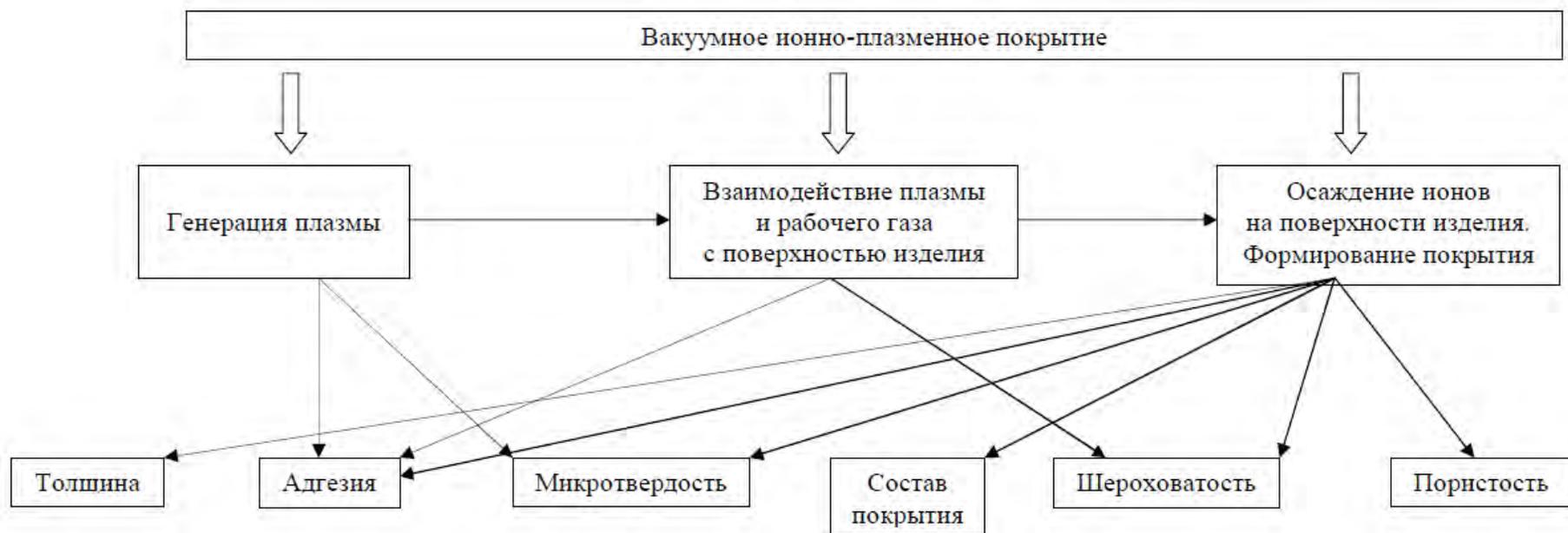


Рисунок 2 - Взаимосвязь свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия с этапами его формирования

Стадиями формирования ионно-плазменного покрытия являются генерация плазмы в вакуумной камере, взаимодействие плазмы и рабочего газа с поверхностью изделия, а также осаждение ионов на поверхности изделия, в результате чего и происходит формирование покрытия. Температура, до которой нагревается обрабатываемая поверхность, оказывает влияние на скорость движения атомов. Чем выше температура, тем выше диффузия атомов и, следовательно, лучше адгезия вакуумных ионно-плазменных покрытий. Взаимодействие плазмы и рабочего газа с поверхностью изделия обеспечивает поверхностную миграцию атомов и ионов титана, ионное перемешивание адсорбированных частиц. Последняя стадия - непосредственно осаждение ионов на поверхность изделия. В процессе осаждения покрытий необходимо осуществлять равномерное планетарное вращение обрабатываемого изделия относительно собственной оси и одновременно вокруг оси стола, тем самым, обеспечивая равномерность толщины покрытия. Существующие взаимосвязи между специфическими особенностями формирования вакуумного ионно-плазменного покрытия и его свойствами представлены на рисунке 2. Выходными параметрами в данном случае являются толщина, адгезия, микротвердость, состав, шероховатость и пористость покрытия.

Проведенный функционально-целевой анализ системы «изделие - вакуумное ионно-плазменное покрытие» и элемента «вакуумное ионно-плазменное покрытие» позволяет установить те свойства покрытия, которые, с одной стороны, обеспечивают выполнение потребительских функций изделию с покрытием, а с другой – зависят от особенностей формирования покрытия ионно-плазменным методом. Это может служить основой для классификации свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий, основанной на рассмотрении взаимосвязи свойств в системе «изделие – вакуумное ионно-плазменное покрытие» (рисунок 3).



Рисунок 3 - Классификация свойств вакуумного ионно-плазменного покрытия, основанная на функциональных связях в системе «изделие – покрытие»

Свойства покрытий зависят от большого числа факторов. Для того, чтобы из большого числа факторов выявить основные и учесть их влияние на физико-

механические и эксплуатационные свойства получаемых покрытий, которые обеспечивают выполнение потребительских функций изделия в заданных условиях эксплуатации, необходим системный подход. Наиболее наглядным приемом, представляющим собой совокупность взаимосвязей между свойствами и функциями покрытия, является функционально-целевой анализ. Он позволяет определить существующие связи между свойствами и функциями на любом уровне системы «изделие – покрытие». Результаты проведенного исследования могут быть рекомендованы в практике нормирования свойств вакуумных покрытий, получаемых ионно-плазменным методом, в различных видах нормативной и технической документации на изделия с такого рода покрытиями.

Список литературы

1 Основы обеспечения качества металлических изделий с неорганическими покрытиями: учеб. пособие для вузов / В.Ф. Безъязычный, В.Ю. Замятин, А.Ю. Замятин, Ю.П. Замятин – М.: Машиностроение, 2005. – 608 с.

2 Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.: ил.

3 ГОСТ 9.301-86 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования.

4 Технология вакуумной ионно-плазменной обработки: учебное пособие / В.В. Будилов, Р.М. Киреев, С.Р. Шехтман. – М.: Изд-во МАИ, 2007. – 155 с.

5 Технологическая наследственность, качество поверхности, точность и эксплуатационные свойства деталей с покрытиями из плазмы вакуумного дугового разряда: монография / В.В. Будилов, В.С. Мухин, И.И. Ягафаров. – М.: Машиностроение, 2015. – 269 с.

6 Интегрированные методы обработки конструкционных и инструментальных материалов с использованием тлеющих и вакуумно-дуговых разрядов / В.В. Будилов, Н.Н. Коваль, Р.М. Киреев, К.Н. Рамазанов. – М.: Машиностроение, 2013. – 320 с.

7 Оценка точности деталей ГТД при ионно-плазменном нанесении покрытий / В.В. Будилов, Р.М. Киреев, И.И. Ягафаров // Известия вузов. Авиационная техника. – 2012. - №2. – С. 65-68.

8 Рубин, Г.Ш. Квалиметрия метизного производства / Г.Ш. Рубин – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012. – 167 с.

9. Функционально-целевой анализ как метод структурирования свойств и функций металлоизделий / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.А. Полякова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 2016. - Т. 59. - № 10. - С. 715 - 719

10 New approach to development methodology of requirements of standards for metal products / M.A. Polyakova, G.Sh. Rubin, G.S. Gun, Yu.V. Danilova // CIS Iron and Steel Review. – 2016. - Vol. 12. - P. 45-48.

11 Рубин, Г. Ш. Функциональный анализ структуры и свойств геофизического кабеля / Г.Ш. Рубин, И.М. Камалутдинов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2010. - № 1. - С. 70-71.

12 Функционально-целевой анализ как метод структурирования функций и свойств металлоизделий. Сообщение 1 / Г.Ш. Рубин, Ю.В. Данилова, М.А. Полякова // Производство проката. - 2015. - № 5. - С. 27-31.

13 Функционально-целевой анализ как метод структурирования функций и свойств металлоизделий. Сообщение 2 / Г.Ш. Рубин, Ю.В. Данилова, М.А. Полякова // Производство проката. - 2015. - № 6. - С. 38-43.

14 Нанотехнологии обработки поверхности деталей на основе вакуумных ионно-плазменных методов: Физические основы и технические решения / В.В. Будилов, В.С. Мухин, С.Р. Шехтман. – М.: Наука, 2008. – 194 с.

УДК 621.73.073

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**THE ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE
SYMMETRIC FORGED PIECE BY METHOD OF FINAL ELEMENTS**

Рябичева Л. А., Дьяковская О. С.

*Луганский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина
ryabic@gmail.com*

Ryabicheva L. A., Dyakovskaya O. S.

*Vladimir Dalh Lugansk National University, Lugansk, Ukraine
ryabic@gmail.com*

Аннотация: Проведен анализ неравномерности напряженно-деформированного состояния при штамповке, позволяющий повысить геометрическую точность поковок. Для предупреждения разрыхления металла поковок выполнена оценка пластического равновесия по методу функций Ляпунова.

Ключевые слова: поковка, напряженно-деформированное состояние, функция Ляпунова.

Abstract: Analysing of non-uniformity of stress-strain state during forging that allows to increase geometrical precision of forged pieces was conducted. Estimation

of plastic equilibrium was executed by Lyapunov's functions method for preventing of metal loosening of forged pieces.

Key words: forged piece, stress-strain conditions, Lyapunov's functions.

При решении задачи максимального приближения форм и размеров поковок к готовым изделиям получают дальнейшее развитие новые методики разработки технологий, основанные на использовании конечно-элементного моделирования на ЭВМ при помощи пакетов прикладных программ [1-3]. Применительно к горячей штамповке на молоте исследование сводится к решению нестационарной нелинейной связанной задачи термопластичности для системы «поковка-штамп» методом конечных элементов [5]. Сущность задачи заключается в определении напряженно-деформированного состояния (НДС) поковки при формоизменении с учетом механических свойств материала в зависимости от температурно-скоростных условий деформирования [4, 5].

Основные недостатки многих существующих методик заключаются в отсутствии четких критериев оценки геометрической точности и качества поковок на основе параметров НДС. В работе [6] уменьшение неравномерности НДС поковки достигается минимизацией функции геометрической точности, построенной на основе решений нестационарной нелинейной связанной задачи термопластичности для нескольких наборов штамповочных уклонов и радиусов закруглений с использованием программы Q-Form. При этом для предупреждения нарушений целостности металла проводится анализ пластического равновесия точек поковки с использованием метода функций Ляпунова [7].

Целью работы является повышение точности проектирования осесимметричных поковок путем анализа неравномерности НДС в процессе штамповки методом конечных элементов с применением функции геометрической точности.

Задача рассмотрена на примере поковки «гнездо» (рис. 1). Величины кузнечных напусков и масса поковки приведены в табл. 1. Материал поковки - сталь 40 ГОСТ 1050-88.

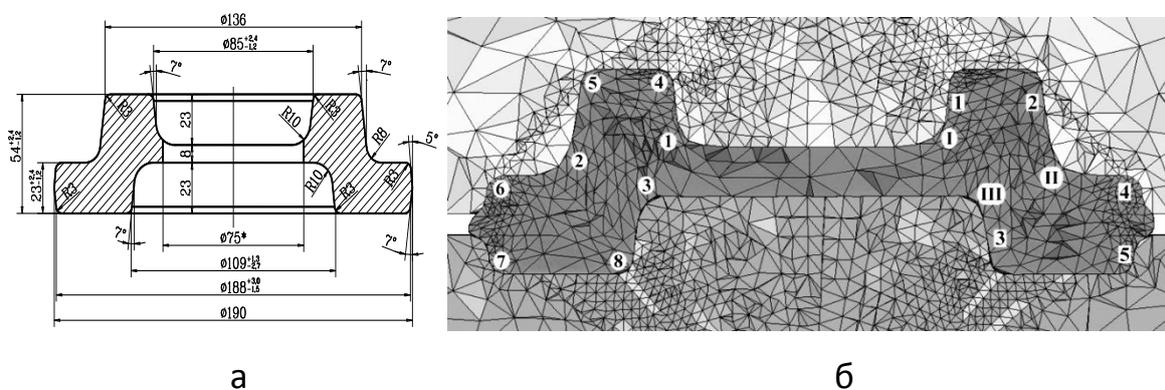


Рисунок 1 - Чертеж базовой поковки «гнездо» (а) и конечно-элементная модель системы «поковка-штамп» (б): I, II, III – «жесткие» зоны; 1 - 5 – номера штамповочных уклонов на поверхностях 1 - 5; 1 - 8 - номера радиусов закруглений

Таблица 1 - Базовая поковка «гнездо»

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	Масса поковки	Годовая программа
Уклон, °	10	7	7	7	7	-	-	-	6,52 кг	7000 штук
Радиус, мм	15	10	15	3	3	3	3	3		

При построении функции, характеризующей геометрическую точность поковки, используем методы геометрического программирования [6, 8]. Как показано в работе [6], функция геометрической точности представляет собой зависимость неравномерности напряженного состояния от величин штамповочных уклонов, радиусов закруглений и размеров поковки. Обозначения поверхностей и «жестких» зон показаны на рис. 1б.

Исходя из подобия тензоров напряжений и деформаций по аналогии с [6] запишем функции размеров поковки Φ^q и функции формы поковки Φ^h и Φ^{rad} через интенсивности деформаций:

$$\Phi^q = e_i^q \begin{pmatrix} \xi_1^q \\ \xi_2^q \end{pmatrix}, \quad \Phi^h = e_i^h (\alpha^h), \quad \Phi^{rad} = e_i^{rad} (r), \quad (1)$$

где q – порядковый номер «жесткой» зоны;

h – порядковый номер поверхности поковки;

ξ_1^q, ξ_2^q – размеры поверхностей, примыкающих к зоне q ;

e_i^q – разность наибольшей и наименьшей интенсивности деформаций в «жесткой» зоне q ;

e_i^h – разность наибольшей и наименьшей интенсивности деформаций на поверхности h ;

α^h – величина штамповочного уклона;

r – величина радиуса закругления;

rad – порядковый номер радиуса закругления;

e_i^{rad} – зависимость разности наибольшей и наименьшей интенсивности деформаций на поверхности радиуса закругления от величины радиуса закругления.

На основании функций размеров и формы (1) запишем функцию геометрической точности поковки от неравномерности НДС в процессе штамповки:

$$\Phi = \sum_{q=1}^R \Phi^q + \sum_{h=1}^A \Phi^h + \sum_{rad=1}^C \Phi^{rad}, \quad (2)$$

где R – количество «жестких» зон в поковке;

A – количество поверхностей поковки с штамповочными уклонами;

C – количество радиусов закруглений.

Поиск минимума функции (2) позволяет выбрать из нескольких сочетаний штамповочных уклонов и радиусов закруглений такое, которое обеспечивает достижение наименьшей неоднородности НДС поковки. При поиске минимума функции (2) используются интенсивности деформаций e_i , полученные при конечно-элементном анализе системы «поковка-штамп» [5, 6].

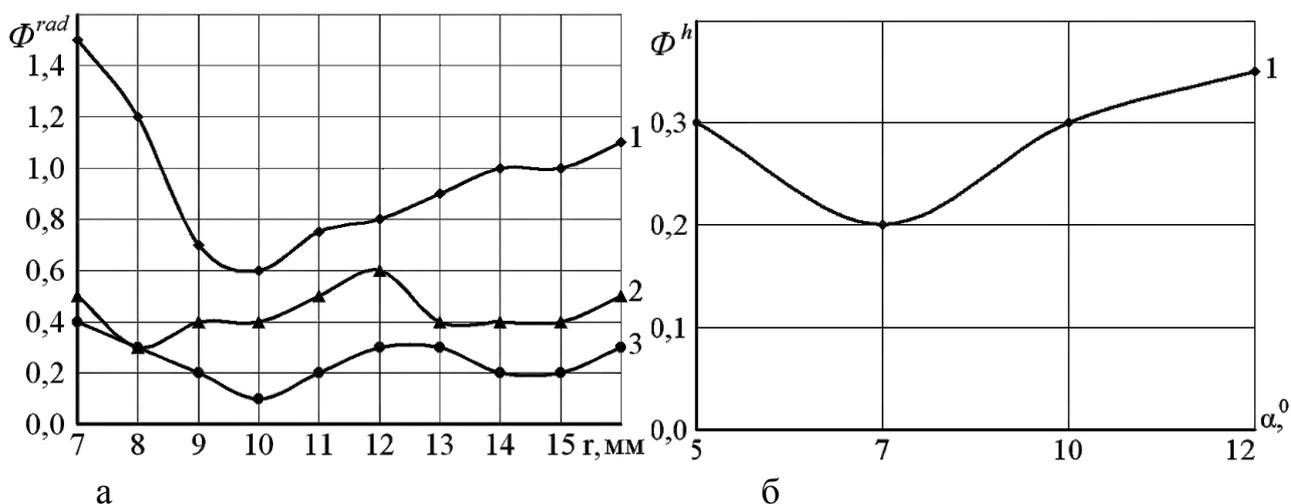
Во избежание разрыхления металла поковки в процессе деформирования в работах [6, 7] предложена методика оценки устойчивости пластического равновесия точек поковки методом функций Ляпунова, которая основана на зависимости скорости изменения интенсивности напряжений относительно интенсивности деформаций в виде функционала, описывающего закон деформирования точек поковки через компоненты тензора напряжений. Сохранения пластического равновесия в любой точке поковки является необходимым и достаточным условием ее деформирования без разрушения [6].

Анализ конфигурации поковки показал, что она имеет вторую степень сложности по ГОСТ 7505-89, а также три зоны концентрации напряжений I, II и III, обозначенные на модели системы «поковка-штамп» (рисунок 1 б). Расчеты НДС, выполненные с помощью МКЭ для базовой поковки по методике, изложенной в работах [4, 5], показали, что на стадии доштамповки в теле поковки образуются три «жесткие зоны», положение которых совпадает с зонами концентрации напряжений (рисунок 2 а). Наибольшая интенсивность деформаций в зоне I составляет 2,4, а в зонах II и III – 1,9 и 1,7 (рисунок 2 а), в то время как в очаге деформации e_i изменяется от 0,8 до 1,3, достигая максимума 1,4-1,6 на поверхностях раздела очага деформации и «жестких» зон, что свидетельствует о повышенной неравномерностью НДС.

Повышение геометрической точности поковки «гнездо» с использованием функции (2) подробно рассмотрим на примерах уменьшения штамповочного уклона поверхности 1 и радиусов закруглений 1, 2 и 3. Номера штамповочных уклонов и радиусов закруглений совпадают с номерами соответствующих поверхностей (рисунок 1 б).

Штамповочные уклоны поволоков для штамповки на молотах могут принимать, согласно ГОСТ 7505-89, четыре значения: 50, 70, 100 и 120, а радиусы закруглений рассматриваемой поковки – от 3 до 16 мм. В связи с этим необходимо исследовать ряд конструкций поковки «гнездо» со всеми допустимыми наборами штамповочных уклонов и радиусов закруглений, построить для каждого набора функцию геометрической точности (2) и выбрать сочетание штамповочных уклонов и радиусов закруглений, соответствующее минимальному значению функции (2) при оптимальной конфигурации очага деформации.

При изменении уклонов и радиусов поковки неравномерность НДС определяется преимущественно функциями формы, поэтому для поковки «гнездо» построены функции: Φ^{rad} для радиусов закруглений 1, 2, 3 (рисунок 2 а) и Φ^h для штамповочного уклона 1 (рисунок 2 б).



а - Φ^{rad} (1,2,3 - номера радиусов закруглений); б - Φ^h (1 - номер штамповочного уклона)

Рисунок 2 - Функции формы поковки

Анализ зависимостей (рисунок 2) показал, что Φ^{rad} достигают минимума при величинах радиусов закруглений 1, 2 и 3 равных 10 мм, 8 мм и 10 мм соответственно (рисунок 2 а), а функция Φ^h приобретает минимальное значение при величине уклона $\alpha^h = 70$ (рисунок 2 б). Поскольку остальные кузнечные напуски остаются без изменений, то функция (2) достигает минимального значения при штамповочных уклонах и радиусах закруглений, которые указаны в таблице 2.

Для предупреждения недоштамповки выполнен сравнительный анализ конфигурации очага деформации при штамповке базовой поковки и поковки повышенной точности, штамповочные уклоны и радиусы закруглений которой назначены согласно таблице 2.

Форма и размеры очага деформации в поковке повышенной точности (рисунок 3 б) заметно изменились по сравнению с базовой поковкой (рисунок 3 а). В «жестких» зонах II и III интенсивность деформаций e_i увеличилась до 2,0, а размеры «жестких» зон увеличились в 1,5 раза. При этом в зоне I интенсивность деформаций e_i почти не изменилась, а в окрестностях радиуса закругления 1 уменьшилась с 2,4 до 2,3. Вследствие этого объем очага деформации существенно уменьшился, в результате чего зоны II и III соединились, а зона I почти соприкоснулась с ними.

Таблица 2 - Поковка «гнездо» повышенной точности

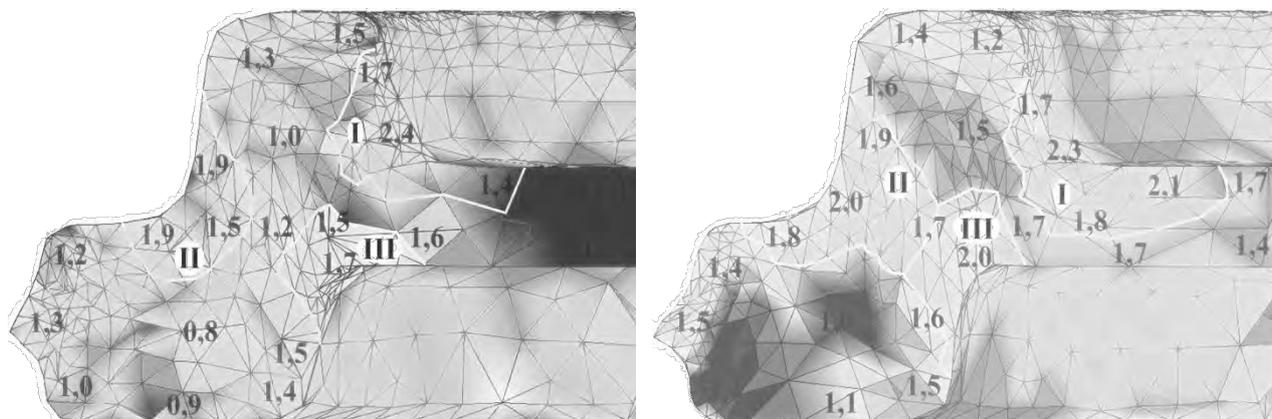
№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	Масса поковки	Экономия металла	
										на 1 поковке	за год
Уклон, $^\circ$	7	7	7	7	7	-	-	-	6,1 кг		
Радиус, мм	10	8	10	3	3	3	3	3		0,42 кг	2,9 т

В очаге деформации между жесткими зонами интенсивность деформаций e_i увеличилась по сравнению с базовой поковкой с 0,9 до 1,2 (рисунок 3 а) до 1,5-1,7 (рисунок 3 б). В углах поковки интенсивность деформаций e_i изменилась незначительно, а на поверхности закругления 4 даже уменьшилась с 1,5 до 1,2. В перемычке деформированное состояние тоже изменилось, так как интенсивность деформаций e_i возросла с 1,2-1,3 до 1,3-1,7. В то же время неравномерность деформаций уменьшилась, а разность между e_i в очаге деформации и e_i в «жестких» зонах не превышает 0,4 (рисунок 3 б), тогда как в базовой поковке эти величины отличались на 0,6-0,8 (рисунок 3 а).

Следует отметить уменьшение неравномерности НДС на поверхностях поковки, особенно в окрестностях радиусов закруглений 1, 2 и 3, где e_i составила 2,3, 2,0 и 2,0 (рисунок 3 б), а разность между e_i на поверхностях раздела очага деформации с «жесткими» зонами не превысила 0,3, тогда как в базовой поковке e_i составляла 2,4, 1,9 и 1,7 (рисунок 3 а).

Несмотря на увеличение «жесткой» зоны I и соприкосновение «жестких» зон II и III (рисунок 3 б), объем очага деформации остается достаточным для заполнения углов ручья. Благодаря этому недоштамповка не возникает.

Исследование пластического равновесия на поверхностях 1, 2 и 3, на поверхностях радиусов закруглений 1, 2 и 3, а также в «жестких» зонах I, II, III поковки, где наиболее вероятно разрыхление металла, показало, что после повышения геометрической точности поковки пластическое равновесие сохраняется. Это значит, что разрыхления металла после повышения точности поковки не произойдет благодаря уменьшению неравномерности НДС. Такой подход к оценке качества поковок с использованием параметров НДС, определенных при анализе штамповки на молоте методом конечных элементов избавляет от необходимости вычисления функций Ляпунова для всех без исключения точек поковки.



а

б

Рисунок 3 - Конфигурация очага деформации при штамповке на молоте поковки «гнездо»: а – базовая поковка; б – поковка повышенной точности: I, II, III – «жесткие» зоны

Контроль размеров поковок «гнездо» повышенной точности, отштампованных на ОАО ККЗ «Центрокуз», показал их соответствие результатам расчетов и требованиям чертежа. При визуальном и ультразвуковом контроле качества поковок, нарушения целостности металла не обнаружено, что подтвердило сохранение пластического равновесия во всем объеме поковки. Экономия металла в расчете на одну поковку составила 0,42 кг, а годовая экономия – 2,9 тонны (таблица 2).

Таким образом, с использованием функции геометрической точности выполнена оценка зависимости неравномерности напряженно-деформированного состояния от формы и размеров поковки на основании результатов конечно-элементного анализа штамповки в окончательном ручье. Минимизация функции геометрической точности позволила уменьшить неравномерность напряженно-деформированного состояния поковки. Оценка устойчивости пластического равновесия по методу функций Ляпунова на поверхностях с наибольшей неравномерностью напряженно-деформированного состояния и в «жестких» зонах поковки дала возможность избежать разрыхления металла поковки при штамповке в окончательном ручье при различных температурно-скоростных условиях деформирования. Годовая экономия металла при штамповке поковки «обойма» повышенной точности на ОАО ККЗ «Центрокуз» составила 2,9 тонны.

Список литературы

1 Петров, П.А., Синчак, Я., Лукашек-Солек, А. Совершенствование технологии объемной штамповки детали «Шарнир» с помощью трехмерного конечно-элементного анализа // Кузнечно-штамповочное производство. - 2004. - №2. С. 30-35.

2 Wagoner, R.H., Chenot, J.-L. Metal Forming Analysis. Cambridge University Press. - 2001. 376 p.

3 Biba, N., Stebounov, S., Lishny, A., Vlasov, A. New approach to 3D finite-element simulation of material flow and its application to bulk metal forming. - Quantor-Soft Limited. Moscow, Russia, 2002, pp. 1-6.

4 Рябічева Л.О., Усатюк Д.А. Застосування функції термомеханічного зміцнення при визначенні параметрів напружено-деформованого стану поковок та штампів методом скінчених елементів // Наукові нотатки ЛДТУ. - 2006. Вип. 19. С. 352-358.

5 Рябічева Л.О., Усатюк Д.А. Застосування методу скінчених елементів для рішення зв'язаної задачі термопластичності // Вісник ДДМА. - 2006. - №3. С. 141-147.

6 Рябічева Л.А., Усатюк Д.А. Повышение геометрической точности осесимметричных поковок с использованием метода функций Ляпунова // Физика и техника высоких давлений. - 2007. - Т. 1, № 1. С. 62-71.

7 Ryabicheva L.A., Usatyuk D.A. Using of finite element method and Lyapunov's functions for investigation of hot forging // MTM'06 International Industrial Conference Proceedings, 2006. Sofia, Bulgaria. P. 67-70.

8 Трифонов А.Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения. http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/index.php.

УДК 621.774.63

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДОМ РАСКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ

THE EFFECT OF DEFORMATION BY ROLLING ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE PIPE BILLET

Чуманов И.В., Козлов А.В., Матвеева М.А.

Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» в г. Златоусте, Россия

kozlovav@susu.ru

Chumanov I.V., Kozlov A.V., Matveeva M.A.

South Ural State University, Zlatoust, Russia

kozlovav@susu.ru

Аннотация: В работе представлены результаты изучения структуры и механических свойств опытных образцов трубной заготовки, подвигнутой термомеханической обработке. Для выявления влияния деформации на свойства образцов, были проведены испытания на разрывной машине и микроструктурные исследования.

Ключевые слова: трубная заготовка, раскатывание, трубогиб, деформация, микротвёрдость, механические свойства, микроструктура.

Annotation. The paper presents the results of a study of the structure and mechanical properties of prototypes of a tubular billet moved by thermomechanical processing. To identify the effect of deformation on the properties of the samples, tests were carried out on a tensile testing machine and microstructural studies.

Key words: tube billet, rolling, pipe bender, deformation, microhardness, mechanical properties, microstructure.

Высокотехнологичные отрасли, такие как авиа- и автостроение, нефтегазовая, нуждаются в трубных отводах [1 – 4], являющихся неотъемлемой частью трубопроводов. По этой причине, на сегодняшний день разработано большое количество способов деформации труб.

Методы холодной гибки труб имеют наибольшее распространение. Например, гибка с принудительным осевым перемещением, осуществляемая проталкиванием трубы между роликами. Данный способ применяется в серийном производстве. Принцип осевого перемещения также применяется при гибке трубы с использованием рогообразного дорна с увеличивающимся диаметром. Однако, для деформации данным способом необходим предварительный высокий нагрев трубы и огромные осевые усилия для проталкивания дорна. Также для данного метода исключает возможность получения отводов с прямолинейными участками. Гибка труб с нагружением изгибающим моментом (гибка «намоткой»), происходит при свободном осевом перемещении трубы. Радиусгиба трубы обеспечивается радиусом ролика-шаблона. Гибка «намотыванием» применяется в серийном и мелкосерийном производстве. Недостатком данного метода является то, что изгибаемый профиль в поперечном сечении трубы в области максимального изгиба искажается. Также данный метод не позволяет получить качественный гиб на малые (до $1,5D$) радиусагиба. Ещё к одному способу холодной гибки труб относится гибка поперечными силами [10,11]. Труба по краям фиксируется упорами, а гибка осуществляется силой, приложенной к середине трубы. Но данный способ не получил широкого применения и используется только в условиях единичного производства.

Зачастую холодная деформация труб сопровождается негативными явлениями: уменьшение толщины стенки на внешней сторонегиба, овализация (сплющивание) поперечного сечения трубы, образование гофр. Для предотвращения образования этих дефектов применяются методы снижения усилий деформации труб. Например, применяются методы снижения предела текучести изгибаемой трубы с использованием общего или местного нагрева. Это позволяет снизить вероятность образования дефектов, возникающих при деформации [12,13].

Недостатками приведенных способов гибки труб являются большие изгибающие усилия, а также энергозатраты, связанные с предотвращением образования дефектов в областигиба трубы. Кроме этого, не исключается вероятность потери устойчивости в зонегиба, что также приводит к деформации формы поперечного сечения.

Потенциальные возможности методов снижения усилиягибки за счет создания сложнапряженного состояния материала трубы превосходят возможные снижения усилиягибки за счет нагрева трубы. К этой группе методов относится гибка труб, раскатываемых с большими натягами [14], которая устраняет вышеперечисленные недостатки. К преимуществам данного метода относятся:

- возможностьгибки тонкостенных труб на малые радиусагиба;
- снижение изгибаемых усилий,
- снижение энергетических и экономических затрат,
- уменьшение возможных искажений формы поперечного сечения трубы.

Особенность технологии заключается в следующем – при вращении раскатной головки, заведенной в трубу с большим натягом, в каждой точке зоны раскатывания возникает знакопеременный изгиб, при котором напряжения в областигиба кратковременно достигают предела текучести. В результате, при приложении небольшого изгибающего усилия происходит изгиб трубы [15,16]. Гибка труб проводилась на модернизированном трубогибе ИВ-3430. Трубогиб настраивался по следующим основным параметрам: натяг, скорость подачи трубы, вылет раскатника [17,18]. Принципиальная схема деформации раскаткой показана на рис. 1.

Для проведения исследований микротвердости были отобраны два кольцевых образца трубы, подвергнутого гибке раскатыванием. Материал трубы – сталь А 414 (аналог СтЗсп) и сталь А 321 (аналог 12Х18Н10Т), габариты: Ø110×6мм. Один кольцевой образец из недеформированного участка трубы – эталонный. Второй образец, непосредственно, из областигиба.

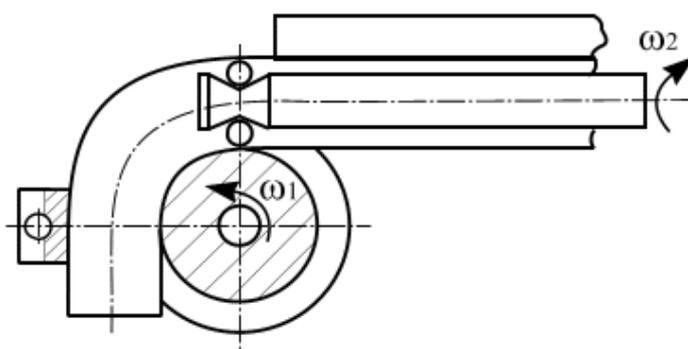


Рисунок 1 - Гибка труб с раскатыванием

Из полученных кольцевых проб были вырезаны в шадящем режиме с применением СОЖ образцы на абразивном отрезном станке Delta Abrasimet фирмы BUENLER, отшлифованы и с применением автоматического прессы Simplimet 1000 запрессованы в шайбы.

С использованием микротвердомера ИТВ-1 произвели несколько замеров твердости по методу Виккерса с нагрузкой 4,905 Н (500 гс). Замеры микротвердости проводились от внешней стенки образца трубы ко внутренней.

Таблица 1 - Значения микротвердости кольцевых образцов трубы стали марки А414 и А321, HV

Марка стали	А414				А321			
	эталон	внешний край	середина	внутренний край	эталон	внешний край	середина	внутренний край
№ п/п	162	244,8	198,8	218,3	234,8	296,6	260	304,6

Продолжение таблицы 1

2	162,4	246,9	201,4	223,6	298	294,8	262,3	287,6
3	161,3	225,4	213,2	209,9	244,8	298,4	280,7	296,3
4	168,3	214,9	216	221,5	274,5	316,9	280,7	282,8
5	168	246,2	204,5	207,7	269,3	318,9	270,1	288,8
6	182,3	231,6	220	209,3	275,7	314,8	280,7	286,7
7	181,4	225,4	202,4	207,1	270,1	299,4	285,9	299,4
8	188,2	238,8	202,4	219,5	251,5	319,9	274,1	294,8
9	185,7	235,5	205	220	226,9	333,7	290,3	315,9
10	194,9	240,1	213,7	206,6	217,7	342,7	293	292,1
11	189,1	242,8	202,4	209,3	202,9	342,7	286,7	290
12	179,7	239,6	214,3	213,2	203,4	338,2	327,3	280,7
13	182,7	227,4	214,3	218,9	219,6	336,2	307	273,3
14	191,5	229,1	223	220	218,4	335,1	319,9	270,9
15	188,2	233,8	222,4	209,3	221,9	334,7	332,6	286,7
Сре днее	179,0	219,7	210,3	214,3	241,9	321,5	290,1	290,0

По данным таблицы 1 заметно повышение прочностных характеристик у образцов труб, гнутых методом раскатывания. Среднее значение микротвердости для недеформированного участка образца А414 составило 179,0 НV, тогда как у деформированных образцов среднее значение микротвердости 214,8 НV. Повышение твердости исследуемых образцов после гибки раскатыванием составило порядка 24%. Согласно значениям, представленным в таблице 1, средняя величина микротвердости для недеформированного участка трубы А321 составила 241,9 НV, тогда как у деформированных образцов среднее значение микротвердости 300 НV. Повышение твердости исследуемых образцов после гибки раскатыванием составило порядка 20,1%. Среди деформированных образцов прослеживается тенденция к повышению твердости по мере приближения к внутренней части образца.

Для изучения микроструктурных составляющих применялся микроскоп С. Zeiss Observer D1m, оснащенный программным комплексом Thixomet PRO. Для травления образцов труб из стали А414 использовался 5%-ый раствор азотистой кислоты в спирте, для выявления структуры А321 – 20% раствор соляной кислоты в воде. Определение величины размеров зерна проводилось методом измерения длинны хорд согласно ГОСТ 5639-82. Микроструктура образцов до деформации: сталь А414 представлена феррито-перлитной смесью, сталь А321 – аустенитных зерном. В результате деформации, структура образцов А321 трансформировалась в мартенсит с остаточным аустенитом, замер структурных составляющих которого не возможен из-за разрешающей способности исследовательского оборудования.

Измерение размера зерна проводились в трех точках наружной и внутренней сторон образцов кольцевых проб труб. Полный перечень полученных данных после измерений для всех областей трубы сведен в таблицу 2. Также на рисунке 3 показано сравнение структуры образцов до и после деформации раскатыванием. Заметно дробление структуры зерна и уменьшение их диаметральных размеров.

Для определения механических свойств деформированной заготовки были проведены испытания на разрывной машине УТС 110М-50 согласно ГОСТ 1397-84. Из заготовки трубы $\text{Ø}89 \times 4$ мм стали марки А414 было вырезано три образца. Один из прямого (эталон) участка и два других – с участка, подвергнутого деформации (раскатке) на внешней и внутренней сторонах трубы. Процесс резания происходил на фрезерном станке с применением охлаждающих жидкостей для сохранения физико-механических свойств экспериментальных образцов. Результаты испытаний образцов на разрывной машине сведены в таблицу 2.

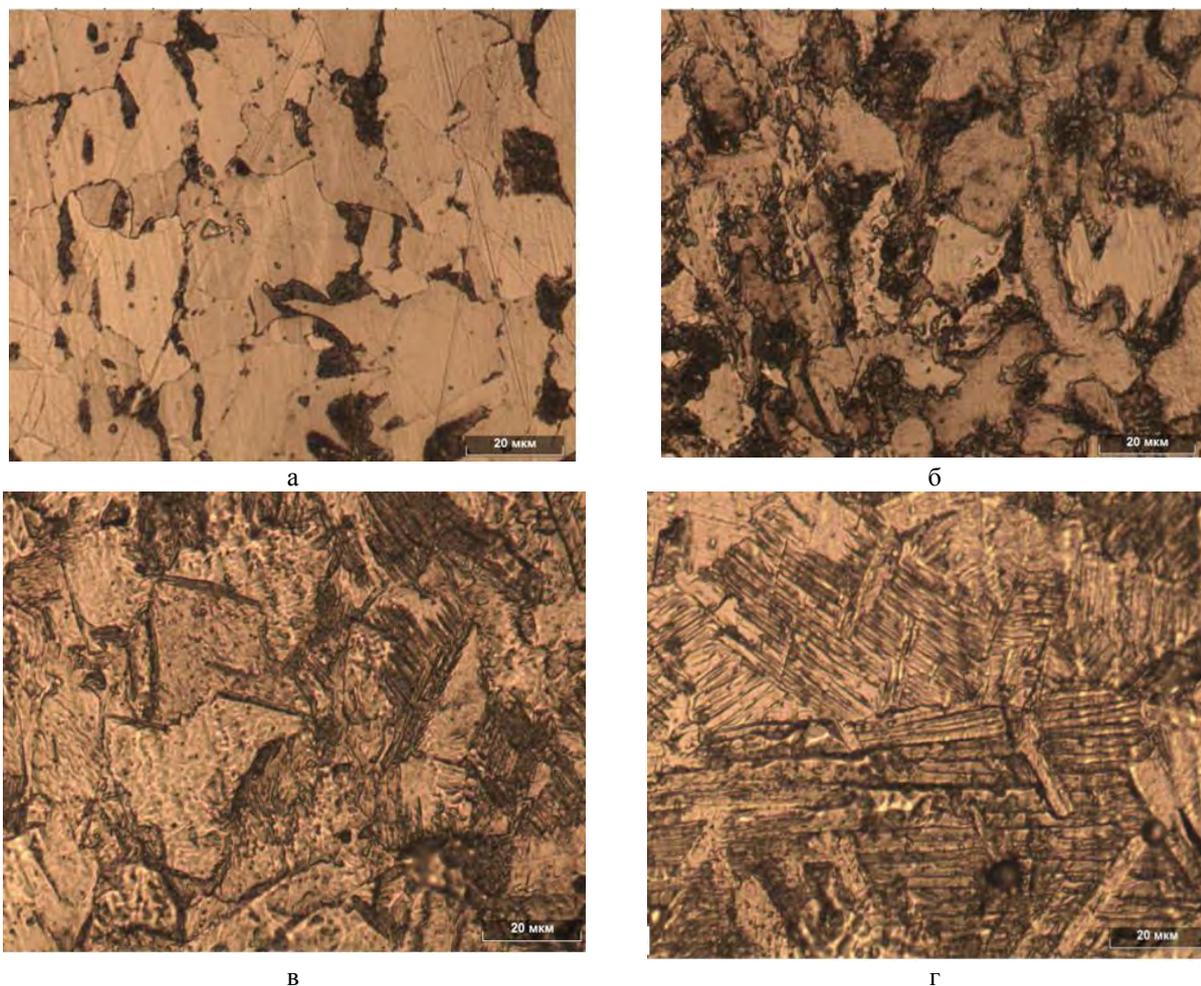


Рисунок 2 – Микроструктура образцов марки стали:
– А414 до деформации (а) и после (б),
– А321 до деформации (в) и после (г).
×1000

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов

Марка стали	А414			А321		
	эталон	Образец внутренней стенки изогнутой трубы	Образец наружной стенки изогнутой трубы	эталон	Образец внутренней стенки изогнутой трубы	Образец наружной стенки изогнутой трубы
Балл зерна	9,44	10,8	10,05	8,51	–	–
$\zeta_{0,2}$, МПа	378,64	460,91	459,77	348,40	518,73	591,2
ζ_B , МПа	468,04	534,93	580,1	973,0	923,0	955,6
δ , %	31,97	18,2	9,0	32,0	5,0	9,5

Исходя из представленных данных можно сделать ряд выводов:

1. Представленный в работе метод деформации труб позволяет получить радиальный изгиб заготовки, не приводя к её разрушению и не вызывая явных дефектов поверхности и микроструктуры заготовки.

2. Процесс деформации труб методом раскатки приводит к повышению механических свойств испытуемых материалов. Повышение значений микротвёрдости, прочности и пластичности объясняется уплотнением структуры за счёт наклёпа. Что подтверждает и уменьшение балла зерна.

3. В процессе деформации возможно изменение структуры материала и его закалки. Анализ образцов стали А321 показал, что в деформированных образцах произошло изменение структуры – аустенитная структура перешла в мартенситную с остаточным аустенитом. Следовательно, температура в областигиба в процессе деформации превышает температуру перекристаллизации для стали А321 (1030–1040°С).

4. В данном методе деформации, пластическое течение металла предполагает возможное изменение структуры стенок трубы в результате перекристаллизация и термической обработки материала областигиба, что требует более детального изучения и более глубокого анализа данной технологии.

Южно-Уральский государственный университет благодарен за финансовую поддержку Министерства образования и науки Российской Федерации (грант № 11.9658.2017 / 8.9).

Список литературы

1 Iwamoto T., Kanie S. Evaluation of bending behavior of flexible pipe using digital image processing // Procedia engineering. 2017. V. 171. P. 1272 – 1278.

2 Li J., Zhou C., Cui P., He X. Plastic limit loads for pipe bends under combined bending and torsion moment // International Journal of Mechanical Sciences/ 2015. V. 92. P. 133 – 145.

3 Mandal A., Syed B., Bhandari K., Bhattacharya B. and ets Cold-bending of linepipe steel plate to pipe, detrimental or beneficial? //Materials Science and Engineering. 2019. V. 746. P. 58 – 72.

4 Тавастшерна Р.И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов. – М.: Книга по требованию, 2012.– 288с.

5 Гальперин А.И. Машины и оборудование для гибки труб – М.: Недра, 1983. –203с.

6 Yuan L., Kyriakides S., Plastic bifurcation buckling of lined pipe under bending // *European Journal of Mechanics* 2014. V. 47. P. 288– 297.

7 Shim D., Kim K., Lee K. Double-stage forming using critical pre-bending radius in roll bending of pipe with rectangular cross-section // *Journal of materials processing technology*. 2016. V. 236. P. 189 – 203.

8 Sasidharan S., Arunachalam V., Subramaniam S. Ramifications of structural deformations on collapse loads of critically cracked pipe bends under in-plane bending and internal pressure // *Nuclear Engineering and Technology*. 2017, V. 49. P. 254 – 266.

9 Киямов, А.И. А.с. 566649. Рогообразный сердечник для изготовления из трубных заготовок отводов с центральным углом не более 90 градусов / А.И. Киямов // *Открытия. Изобретения.* – М.: ВНИТИ, 1977. - №28.

10 Krikun V.Ya. *Trubogibochny`e raboty` na stroitel`stve truboprovodov*– М.: Nedra, 1978. – 208s.

11 Kim Y., Lee K., Oh C. and ets Effect of bend angle on plastic loads of pipe bends under internal pressure and in-plane bending // *International journal of mechanical sciences*. 2007. V. 49. P. 1413 – 1424.

12 Hayashi A., Terada Y., Kanie S. Development of pipe-in-pipe filled with granular material for flexible and ductile bending performance // *Procedia engineering*. 2014. V. 95. P. 232 – 240.

13 Efimov O.Yu., Chinokalov V.Ya, Yur`ev A.B. i dr. Zakonomernosti i mexanizmy` formirovaniya strukturno-fazovy`x sostoyanij i mexanicheskix svojstv balochnogo profilya pri uskorennom oxlazhdenii dvutavra // *Izvestiya vuzov. Chyornaya metallurgiya*.2011. №4. S. 16 – 19.

14 Патент 818 707 РФ МКИ В 21D 9/14. Способ гибки труб С.Г. Лакирев, Я.М.Хилькевич (РФ), №2713945/25; Оpubл. 07.04.81. бюл. №13

15 Kosterev V.B., Efimov O.Yu., Ivanov Yu.F. i dr. Formirovanie gradientny`x strukturno-fazovy`x sostoyanii pri termomexanicheskom uprochnenii.// *Izvestiya vuzov. Chyornaya metallurgiya*.2011. №4. S. 24 – 27.

16 Uzlov I.G., Sidorenko O.G., Fyodorova I.P, i dr. Novoe v texnologii upravleniya processom termicheskogo uprochneniya armaturnogo pokata // *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promy`shlennost`*. 2008. №1. S. 89– 91.

17 Лакирев, С.Г. Эффект снижения усилия при гибке труб, раскатываемых с большими натягами, и механизм его проявления / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич, А.В. Козлов, А.В. Бобылев // *Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки.* – Челябинск: ЧГТУ, 1995

18 Козлов, А.В. Технология и оборудование холодной гибки тонкостенных труб: монография / А.В. Козлов, А.В. Бобылев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 169 с.

EFFECT OF HIGH PRESSURE PROCESSING IN THE FORMATION OF CASTINGS OF ALUMINUM ALLOYS

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Batyshev K.A.¹, Zadiranov A. N.², Malkova M. Yu.², KyawZaya³

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; ²Engineering academy, Peoples` Friendship University of Russia, Moscow, Russia; ³Moscow State Technological University "Stankin", Moscow, Russia

Zadiranov@mail.ru.

Батышев К.А.¹, Задиранов А.Н.², Малькова М.Ю.³, КуавЗая⁴

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия; ²Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия; ³Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

Zadiranov@mail.ru.

Abstract: The effect of high pressure on the formation conditions of aluminum castings has been investigated. It was established experimentally that mechanical pressure has a decisive influence on the processes of solidification and cooling of castings. The crystallization of castings under high mechanical pressure proceeds at a higher temperature difference across the cross section than at atmospheric pressure. The formula for calculation of time of solidification of casting and time of its endurance under pressure during piston pressing is recommended.

Key words: aluminum alloys, casting with crystallization under pressure(CALS), front solidification, thermal conditions of formation, cooling rate.

Аннотация : Исследовано влияние высокого давления на условия формирования алюминиевых отливок. Экспериментально установлено, что механическое давление оказывает определяющее влияние на процессы затвердевания и охлаждения отливок. Экспериментально установлено, что кристаллизация отливок под высоким механическим давлением протекает при большем перепаде температур по сечению, чем при атмосферном давлении. Рекомендована формула для расчета времени затвердевания отливки и времени ее выдержки под давлением при поршневом прессовании.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, литье с кристаллизацией под давлением (ЛКД), фронт затвердевания, теплосиловые условия формирования, скорость охлаждения.

1 Introduction

The process of CALS in aluminum alloys to obtain dense castings with a high utilization rate of metal, at a minimum machining allowance. The parts obtained in

this manner have increased strength characteristics at a lower casting weight than the parts obtained by other casting methods.

Such works as [1-6] and others are devoted to the study of the influence of various factors on the conditions of formation of aluminum castings during injection molding. The review [7] states that the majority of studies in the metallurgy of aluminum alloys are devoted to the following aspects: multiscale, mesoscopic and granular modeling of the casting process; phase field modeling of Al alloy solidification; modeling of alloyed Al melts; in situ observations of solidification; research of nucleation mechanisms for the primary phase, primary phase morphology; research of nucleation and growth of intermetallics; synthesis of selection mechanisms in Al alloys solidification; alloy design for additive manufacturing; role of fluid flow in solidification.

The purpose of this paper is to study the effect of high pressure on the pressing conditions of formation of a wide range of castings from aluminum alloys.

2 Materials and methods

Studies of the casting with crystallization under pressure process were carried out on cylindrical castings with a diameter of 50 mm and a height of 40...110 mm. During the experiments, the following parameters were monitored and recorded:

- The temperature of the solidifying casting at 3...4 points of the cross section;
- Matrix temperature at 4 ... 10 points in thickness and wall height;
- Forces (pressure) of pressing and movement of the punch (the upper end of the forming casting) under the influence of pressures [8].

The experiments were carried out on aluminum A7 (GOST 11069-74), binary alloys of the Al-Si (up to 25% Si), Al-Cu (up to 32% Cu) Al-Mg (up to 17% Mg), industrial aluminum alloys AK7p, AK9, AK12, AK5M7 and AK8M3p (GOST1583-93), AL9M, AL24P (OST 84-13-7-76), AO3-7 (GOST 14113-78), AK6M7 (without additives and with additives 1 ... 10% Pb), A356.2 (US standard) and others.

Aluminum and its alloys prepared in a graphite-fireclay crucibles in shaft furnaces resistance without protective atmosphere with automatic adjustment of the working space temperature. Crucible alloys were not degassed, refined or modified, to assess the effect of mainly mechanical pressure. The melt was poured into the die of the crucible in which the smelting was carried out [9].

The melt temperature in the crucible before pouring was controlled by a chromel-aluminum immersion thermocouple and recorded by a portable millivoltmeter. Accuracy of measurement of the melt temperature in the working range was $\pm 5^\circ\text{C}$. In accordance with the objectives of the experiments, the melt was poured into the die with different overheating above the liquidus temperature (crystallization) — 50 ... 200°C [10, 11].

The remaining technological regimes were taken as follows: the initial temperature of the die $T_0 = T_d = 20 \dots 200^\circ\text{C}$; nominal pressing pressure $P_N = 0.1$ (atmospheric), 50, 100, 150, 200, 300 and 400 MPa; the holding time of the melt in the die before the application of pressure $\tau_b = 3 \dots 5$ s and the forming casting under pressure $\tau_u = 25 \dots 30$ s. The accuracy of temperature measurement was $\pm 7^\circ\text{C}$;

pressing pressure ± 10 MPa; punch displacement ± 0.1 mm. The readings of all thermocouples and sensors were recorded on one tape of the light-beam oscilloscope.

Crust growth (or displacement of liquidus and solidus temperatures of alloys having a crystallization interval) was evaluated by the cooling curves of the casting at the end of solidification (or reaching liquidus and solidus temperatures) at the corresponding casting points - at distances of 3, 6, 12.5 and 25 (center) mm from the surface. This allowed it possible to determine and study the kinetics of crust growth from the moment when the melt was poured into the die until the casting was removed from the latter.

3 Experimental

The scheme of the installation for the study of the thermal conditions of the formation of the casting is shown in Fig. 1. A bottom plate with a thickness of 30 mm and a die 3 (with a wall thickness of 85 mm) are installed on the table 1 of a hydraulic press of the model D2430B. The punch 2, held by hollow pins in the holder (punch holder), transmits pressure to the melt poured into the die. The die and punch are made of steel. To determine the pressing force, strain gauges 1, located in the cavity of the punch 2, are provided, and to determine the amount of movement of the punch during consolidation of the solidifying casting - rheochord (or inductive) displacement sensors 4. The temperature of the forming casting was measured by three (sometimes four) thermocouples 6 ... 8. Thermocouples were injected into the working cavity of the die to a distance of 50 mm from the bottom through the holes in the lower plate. Working junctions of thermocouples were located in the center (25 mm from the surface) and at distances of 12.5, 6 and 3 (sometimes) mm from the inner side surface of the die. After removing the casting from the matrix, a part of the thermocouple remaining in the work-piece was separated and a new working junction was made by welding on an arc lamp [12]. In order to compensate for the loss of resistance in the separation of the thermocouple in the measuring network introduced resistance stores.

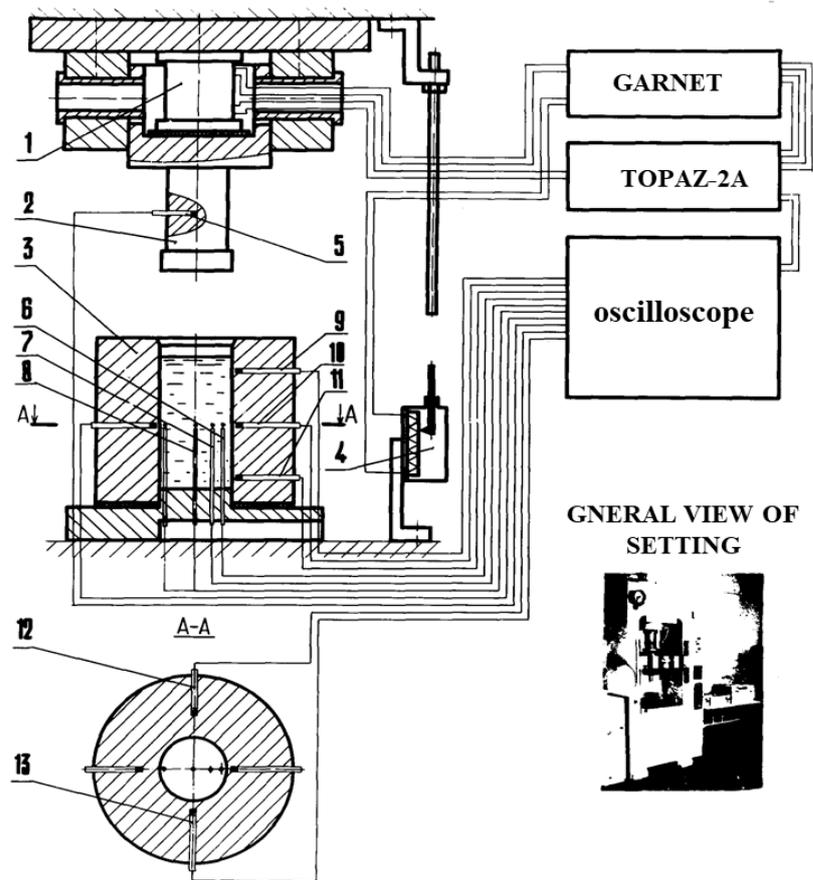


Figure.1. Installation scheme for the study of thermal conditions of the formation of a cylindrical casting: 1– pressure sensor (mesdose); 2 – punch; 3 – die; 4 – hodograph (punch displacement sensor); 5 ... 13 – thermocouples

The temperature of the matrix was measured by several chromel-aluminum thermocouples 9...13, located in specially made holes.

Thermocouple junctions were placed in the matrix wall at distances of 1.5, 5, 10, 15 and 20 mm from the working surface (on the same level with the joints of consumable thermocouples, measuring the temperature change of the solidifying casting), as well as at a depth of 1 ... 1.5 mm near the bottom (5 mm) and top (5 mm) ends. To reduce the heat effect on the pressure sensor and the press table, heat insulating gaskets 15 and 20 of sheet asbestos 1 mm thick were installed [13].

4 Results and Discussion

The cooling graphs of cylindrical castings are obtained, which are shown in Fig. 2. Their analysis showed that crystallization of the metal under high mechanical pressure occurs at a higher temperature difference over the cross section than at atmospheric pressure and the time of solidification of castings decreases with increasing pressure in all areas where thermocouples were installed [14,15].

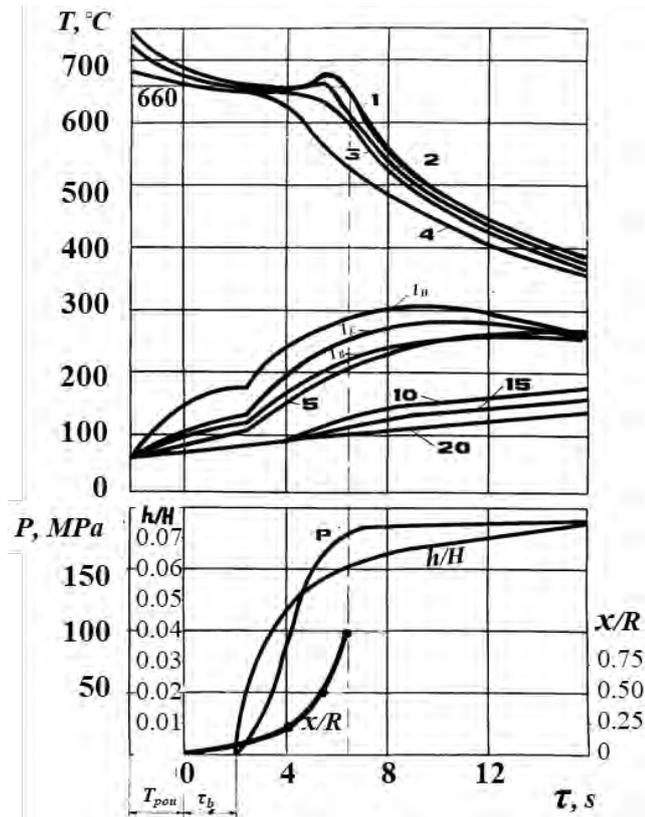


Figure.2. The cooling curves of the casting (1...4) of aluminum A7, heating die (1_B, 1_C, 1_H, 5...20), changes in the pressing pressure P , the relative displacement of the punch (h/H) advance of the solidification front (x/R):

cooling curves of the casting 1, 2, 3, 4 - at a distance of 25 (center), 12.5, 6 and 3 mm from the outer surface; heating curves of the die at a distance of 1 mm from the working surface near the upper end (1_B), at an equal distance from the ends (1_C) and near the lower end (1_H), and also at a distance of 5, 10, 15 and 20 mm from the working cavity at equal distance from the ends

However, the closer to the casting axis is located zone, the substantial decrease in the solidification time under pressure [16, 17]. Latter, the surface layers of the work-piece to a depth of 3 mm harden substantially during melt exposure in the die before pressure is applied [18, 19]. Layers deeper-lying, or harden under increasing pressure or under first increasing and then under nominal pressure [20, 21, 22]. With the increase in the nominal pressure P_N , the liquidus (crystallization) temperature of alloys (metals) increases. It should be noted, that it is observed not from the moment of application of pressure, and when reaching the value of 50...80 MPa. This can be explained by several reasons:

1) Changing the thermodynamic parameters of the system— the application to it of the law of Clausius-Clapeyron, according to which

$$\frac{dT_m}{dp} = \frac{T_m}{L} (V_2 - V_1) \quad (1)$$

Where, dT_m is the change in melting temperature (crystallization) due to the change in pressure by the value of dp ; T_m is the melting temperature; V_2 , V_1 is the volume of 1 kg of liquid and solid phases, respectively; L is the melting heat (crystallization) of the metal (alloy).

The considered reason is the main factor;

2) The discrepancy between the rates of crystallization heat release and heat removal form.

3) The release of heat during deformation of the vertical crust under pressure.

Latter can be confirmed by the fact, that the value of dT_m/dp in aluminum A7 is less than alloys AK12, AK9 and AL24P. Aluminum has less thermal conductivity than industrial aluminum alloys. Aluminum has a lower thermal conductivity than industrial aluminum alloys.

The generalized dependences of the change of some parameters on the nominal pressure are shown in Fig. 3. It is seen, that with increasing P_N decreases the solidification time of castings (b) and the value of the temperature difference at the interface casting-shape (d), and increases the cooling rate of the casting (a) and the temperature difference in its cross section (c). These dependences are presented in the form of regions because in each of them there are values for all studied metals and alloys. It should be noted that with increasing alloying degree of the alloy with silicon or other elements, and, consequently, with a change in thermal and mechanical properties, the parameter values move from the lower boundary to the upper boundary of the A7 aluminum [23].

From the above relations (Fig. 3) shows that the greatest change in the investigated parameters observed at atmospheric pressure 0.1 to 100 MPa , with subsequent pressure increase measured parameters also vary but to a much lesser extent. This can be explained by the fact, that in the first pressure area there is a tight pressing of the growing crust against the walls of the die and, as a result, reduction (and even elimination) of the gap between the casting surfaces and the mold (this is evidenced by a noticeable decrease in the value of $\delta T_{0,A}$ (fig. 4, c)), as a result, increase the rates of removal of heat of overheating and crystallization.

At a pressure of more than 100 MPa , it is possible to reduce the gap due to the pressing of the metal into the working surface microrelief of the mold and increase due to this cooling surface with all the ensuing consequences. However, the increase in the cooling surface is much less than in the pressure range up to 100 MPa , and therefore less influence of pressure on the studied parameters [25,26].

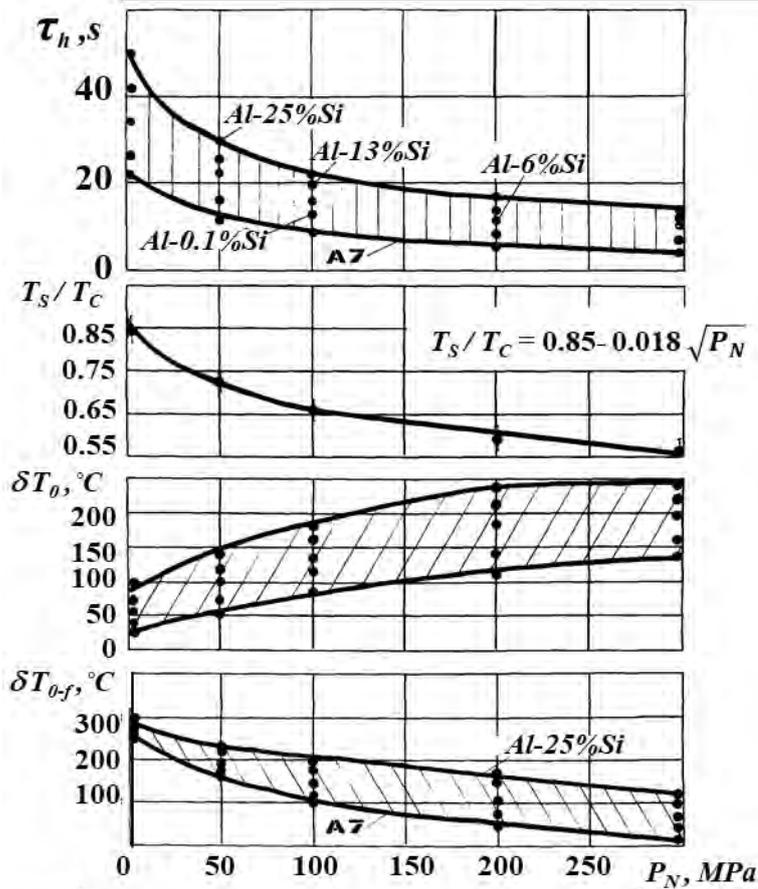


Figure.3. Influence of pressure and casting harden time (τ_h) on investigated aluminum alloys, changes in the surface temperature of casting (T_s/T_c), temperature difference across the casting section (δT_θ) and at the boundary "casting-die" (δT_{s-f})

The relative change in the casting surface temperature T_s at the end of solidification can be calculated by the formula:

$$\frac{T_s}{T_c} = A - B \sqrt{P_N} \quad (2)$$

Where, T_c – the temperature of the casting center; A , B – coefficients, respectively equal to 0.85...0.87 and 0.0175...0.0185; P_N – nominal pressure pressing, MPa .

The influence of the scale factor (reduced size) on the solidification time of cylindrical castings with a diameter of 50 mm and a height of 25...100 mm at pressures of 50...200 MPa was studied. When determining the reduced thickness, not only the forming side surface S_σ was taken into account, but also the square ends S_e .

$$R = V / (S_\sigma + 2S_e) = RH / 2(H + R) \quad (3)$$

Where, V – volume of the casting; H – height; R is the radius.

Calculation according to the formula (3) showed that in the experiments the value of R varied within 6.25...10 mm. The Processing of the results showed that with increasing R (with increasing height at a constant diameter), the relationship between

the solidification time (the time of reaching the solidus temperature of the alloy) τ_s and R is linear (Fig. 4).

$$\tau_h = \tau_c = KR \quad (4)$$

Where, K – reduced solidification coefficient, numerically equal to 1.12 s/mm .

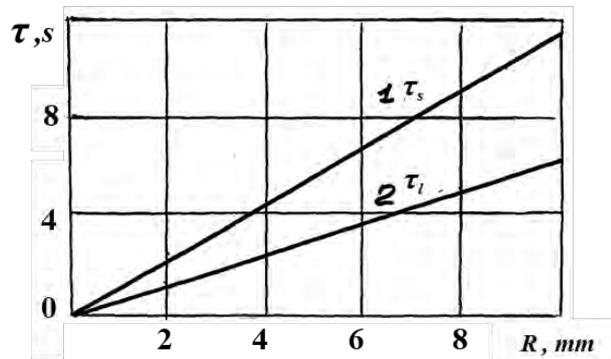


Figure.4. The dependence of the time of the end of standing the liquidus temperature 2 (τ_l) and the solidus temperature 1 (τ_s) from a given size of casting: (alloy AO3-7, $P_N = 150 \text{ MPa}$)

Analysis the graphs changes in τ_l and τ_s (Fig. 5) shows, shows that the lifetime of the two-phase zone increases with increasing the reduced thickness of the casting (all other things being equal); This should be considered when developing the technology of CALS . An increase in pressure (at $R = \text{const}$) leads to a decrease in the lifetime of the two-phase zone in the casting during solidification (Fig. 4) and the solidification time [27]. This is confirmed by the data obtained on the basis of an analysis of the cooling curves and the relative displacement of the solidification front - the displacement curves of the liquidus and solidus temperatures of the studied alloys (the crust growth curves in castings from alloys with a narrow crystallization interval) (Fig.5). The nature of the dependences obtained can be expressed as the equation of a parabola:

$$x/R = K_0 \cdot \tau^2 \quad (5)$$

Where, x – the value of the advancing front of solidification, mm ; R – the radius of the casting, mm ; K_0 – coefficient of relative hardening, $1/\text{s}^2$, the value , which depends on the thermo-physical properties of the alloy, and the compacting pressure; τ – time, s .

The equation (5) can be expressed as follows:

$$x = K \cdot \tau^2 \quad (6)$$

Where, K – solidification coefficient (mm/s^2), the values are shown in table.1. The coefficient K depends on the composition, and consequently, on the thermophysical properties of the alloy and pressure. Its value increases with decreasing silicon content in the alloy and increasing pressure. Pressure significantly reduces the difference in the values of the coefficient of solidification of castings from alloys of different composition.

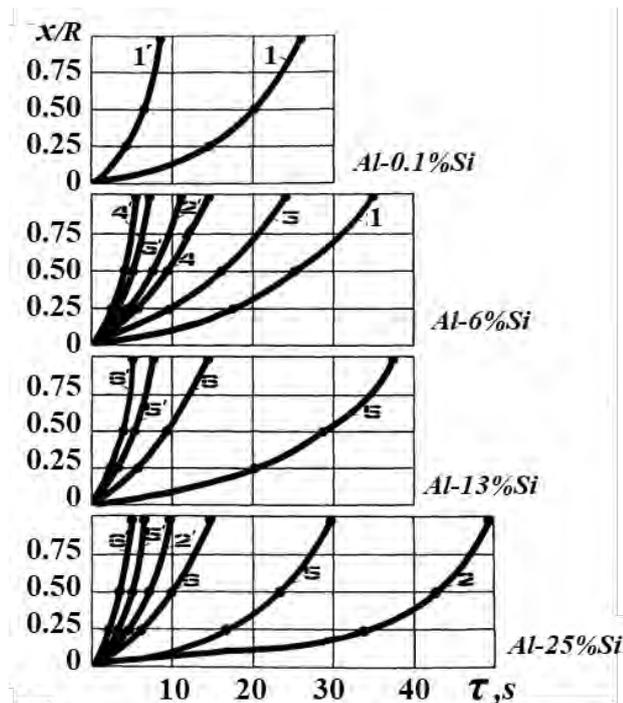


Figure.5. Curves of displacement of the solidification front in cylindrical castings of Al-Si system alloys: curves 1...6– at atmospheric pressure; 1' ...6' – at mechanical pressure of 200 MPa

Table.1 - Values of the coefficient of solidification

Metal, alloy	Coefficient K , mm/s^2 , at pressure, MPa		
	0.1	150	300
A7	0.040	0.260	0.310
Al-0,1%Si	0.034	0.242	0.293
Al-6%Si	0.022	0.220	0.289
Al-13%Si	0.017	0.155	0.232
Al-15%Si	0.015	0.153	0.230
Al-25%Si	0.008	0.134	0.225
Al-3%Cu	0.032	0.231	0.390
Al-10%Cu	0.023	0.251	0.277
Al-15%Cu	0.016	0.173	0.189
Al-30%Cu	0.013	0.132	0.148
AL9M	0.025	0.189	0.237
AK6ch	0.023	0.178	0.234
AK5M7	0.029	0.123	0.137
AL24P	0.018	0.206	0.390
A356.2	0.038	0.198	0.236

Modification of silumin containing 11 ... 17% Si, ligature AlTi5B1 increases the coefficient K and reduces the solidification time of castings with an increase in the addition of the specified ligature. For castings with a diameter of 50 mm of Al-17% Si alloy, the coefficient $K = 0.011, 0.017$ and $0.024 mm/s^2$ with the addition of 0, 0.2 and 0.5% Ti and hardening under atmospheric pressure; $K = 0.152, 0.211$ and $0.277 mm/s^2$ when cured under a pressure of 160 MPa. A similar pattern is observed when comparing the solidification of castings from alloys AK7ch and A356.6, differing from each other in the content of modifying additives, for example,

strontium, which is not present in the alloy AK7ch, and in alloy A356.2 it is contained in an amount of 0.02...0.04%.

Thus, with increasing pressure, the character of the dependences (3) and (4) does not change, but the lifetime of the two-phase region decreases [28]. This indicates that the nature of the solidification of castings from alloys having a crystallization interval varies from bulk to sequential. Formula (5) is recommended to use for calculating the time of solidification of the casting and the time it is held under pressure (with piston pressing).

The effect of pouring temperature T_{pou} (710 and 860 °C), P_N (50 and 250 MPa), mold temperature T_{mol} (20 and 180 °C) and η_b (4 and 8 s) on the duration of solidification of castings $H/D=2$ was investigated. The results are shown in Table. 2

Table.2 - Effect of the technological parameters of CALS on the solidification time of cylindrical castings ($D=50\text{ mm}$) of aluminum A7

$T_{pou}, ^\circ\text{C}$	$T_0, ^\circ\text{C}$	τ_b, s	P_N, MPa	τ_{pou}, s
710	20	4	50	10.8
	20	8	250	10.2
	180	8	50	15.5
	180	4	250	10.6
860	20	8	50	13.5
	20	4	250	7.4
	180	4	50	16.0
	180	8	250	10.8

It is seen, that the process of determining parameter CALS is pressing pressure. However, cannot ignore the influence of other parameters of the process CALS, especially when developing technological equipment.

The cooling rate of a cylindrical casting in various zones on the section, which is characteristic for cooling alloy in the crystallization range, is determined. It is found, that it increases as it moves from the periphery to the center, its value is greater, the higher the pressing pressure P_N , the lower the pouring temperature of T_{pou} , T_0 and η_b .

This dependence is typical not only pure metals but also alloys with a wide range of crystallization [29], for example, for the alloy Al-4%Cu (Table. 3).

Table.3. Effect of process parameters on the CALS, during solidification of castings ($D=50\text{ mm}$) of an alloy of Al-4% Cu

$T_{pou}, ^\circ\text{C}$	$T_0, ^\circ\text{C}$	τ_b, s	P_N, MPa	τ_{pou}, s
700	20	4	250	5.8
	20	8	50	11.5
	180	8	250	12.0
	180	8	50	14.1
715	100	6	150	8.6
850	20	4	50	12.6
	20	8	250	11.8
	180	8	50	15.0
	180	4	250	10.7

We can conclude, that in the work studied the casting process with crystallization under pressure, allows to obtain dense castings alloys based on aluminum.

5 Conclusions

1. Studies of the effect of high pressure on the conditions of the formation of castings with CALS. It has been established experimentally that under CALS conditions, mechanical pressure has determining effect on the processes of solidification and cooling of castings.

2. It is shown that crystallization under high mechanical pressure occurs at a greater temperature difference across the cross section than at atmospheric pressure. At the same time, the solidification time of the castings decreases with increasing pressure in all areas where temperature control was performed.

3. It was established experimentally, that with the increase of pressing pressure decrease the solidification time and the value of the temperature difference at the casting-mold interface, but the cooling rate of the casting and the temperature difference along its cross section increases.

4. The formula for calculation of time of solidification casting and time of its endurance under pressure (at piston pressing) is recommended.

References

1 Golovachenko V.P., Duka V.M. New Technologies in Aluminum Alloy Die Casting // Foundry, 2012, №2, p. 25-26.

2 [Grechnikov F. V.](#), [Popov I. P.](#), [Bibikov A. M.](#), [Demyanenko E. G.](#), [Nikolenko K. A.](#) Application of a casting technique in the form of piston pressing for grinding the structure of an aluminum alloy// Vestnik of the Samara State Aerospace University (Vestnik SSAU), 2012, №2 (33), p. 183-191.

3 Xixi Dong, Xiangzhen Zhu, Shouxun Ji. Effect of super vacuum assisted high pressure die casting on the repeatability of mechanical properties of Al-Si-Mg-Mn die-cast alloys//Journal of Materials Processing Technology, V. 266, 2019, p. 105-113.

4 Cheng Gu, Yan Lu, Emre Cinkilic, Jiashi Miao, Alan A. Luo. Predicting grain structure in high pressure die casting of aluminum alloys: A coupled cellular automaton and process model// Computational Materials Science, V. 161, 2019, p. 64-75.

5 A. Jahangiri, S. P. H. Marashi, M. Mohammadaliha, V. Ashofte. The effect of pressure and pouring temperature on the porosity, microstructure, hardness and yield stress of AA2024 aluminum alloy during the squeeze casting process// Journal of Materials Processing Technology, V. 245, 2017, p. 1-6.

6 QingSong Yan, Huan Yu, ZhiFengXu, BoWenXiong, ChangChunCai. Effect of holding pressure on the microstructure of vacuum counter-pressure casting aluminum alloy//Journal of Alloys and Compounds, V. 501, Issue 2, 2010, p. 352-357.

7 Philippe Jarry, Michel Rappaz. Recent advances in the metallurgy of aluminium alloys. Part I: Solidification and casting//Comptes Rendus Physique, V. 19, Issue 8, 2018, p. 672-687.

8 Batyshev A. I. Crystallization of metals and alloys under pressure. 2nd ed. – Moscow: Metallurgy, 1990. 144 p.

9 B. Vanko, M. Ceretka, A.I. Batysev, K.A. Batysev, L. Stancek. Semi-solid metal casting of wrought aluminium alloys. 1. Possibilities of semi-solid metal casting in the prevention of casting defects // Slevarenstvi, 2016, №7-8, p. 226 – 231.

10 Vanko B., Stanczyk L., Batyshev K. A. Getting nidentity structure in the casting of wrought aluminum alloy for casting with crystallization under pressure//Foundry production, in 2018, No. 5, Pp. 32-35.

11 Ueno F., Uchida M., Sose U. Squeeze casting: present and future //In: 17-th International Die Casting Congress (Okt. 18-21, 1993)/ Cleveland (USA). NADCA, Rosemont, 1993. – P. 413-418.

12 Batyshev K. A. Injection molding with crystallization under pressure. – Moscow: Moscow state University Publ., 2009. – 167 p.

13 Batyshev K. A. Casting with crystallization under pressure of aluminum alloys. Part 2 // Metallovedenie and heat treatment of metals, 2012, №2, P. 3-10.

14 Young K.P. Application of real time process control in the production of high performance light alloy casting //In: 62-th World Foundry Congress (April 23-26, 1996), Philadelphia (USA). - Report 29. - P. 1-13.

15 Abramov, A. A., Pautova, D. M., I. K. Boricheva, etc., the Effect of high pressure during crystallization on the structure and properties of aluminum alloys //litejnoeProizvodstvo, 1989, No. 3, Pp. 5-6.

16 Korostelev V. F. casting Technology with software pressure. – Moscow: Mechanical Engineering, 2000. – 204 s.

17 Batyshev A. I., Bezpalko V. I., Lyubavin A. S. et al. Solidification of castings from high-strength aluminum alloys under pressure //Foundry, 1990, № 11. – P. 8-9.

18 Rozak G.A., Goddard D.V. Yield and Tensile Strengths of Squeeze Cast and Heat Treated AZ91 Magnesium and A356 Aluminum //Die Casting Technology. Cleveland T93-136, 1993. – P. 419-428.

19 Williams G.W. Squeeze form combines casting with forging //Foundry Trade Journal, 1989, vol. 154, № 2. – P. 66-70.

20 Williams W.G., Fisher K.M., Barloy J. Squeeze forming of aluminum alloy components //Foundryman, 1997, vol. 87, № 11.

21 Second report of Institute Working Group T20 Casting Process //Foundryman, 1994, vol. 81, № 11. – P. 386-390.

22 Stanczyk l, Rugaber A., Gellert P. For the alloy in the mold cavity in die casting //Foundry production, 1997, No. 1. – P. 15-16.

23 Konecny L., Bechny L., Rendkova E. It is possible to apply the process of flow extraction for the production of castings from AlSi alloys / / Giesserei-Rundschau, 1991, vol. 38, № 3/4. - S. 22-27.

24 Chen Weihing, Li Yuanyan. Squeeze casting of AL-Cu-alloys //Journal Cent. South. Univ. Technol., 2002, vol. 9, № 3. - P. 159-164.

25 Tikhomirov M. D. heat Transfer across the border "casting-form" during solidification of aluminum alloys //Foundry, 1990, № 6. – Pp. 18-19.

26 Marshirov V. V., Marshirov I. V., Kosnikov G. A. Crystallization of alloys at high pressures /Intensification of technological processes in foundry production. – Barnaul, 1990. – P. 24.

27 Klimov E. A., Trifonov V. G. Liquid stamping of wheels from aluminum alloys //Casting processes, 2004, № 1. – P. 70-72.

28 Ivanova L. A., Baranov Yu., Bondar A. A. et al. improving the quality of aluminum pistons, a liquid obtained by punching //Foundry production, 2002, No. 8. – Pp. 35-36.

29 Stancek L., Batyshev A.I., Caplovic L., Metallographic verification of model of the flow enforced during solidification under high external pressure //Die Casting Engineer (США), 2007, № 3. – P. 56-60.

УДК 536+669.18

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ
КРЕМНИЯ В ФЕРРОСИЛИЦИИ НА СТЕПЕНЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
НИКЕЛЯ ИЗ СИСТЕМЫ $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-NiO}$ МЕТОДОМ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**STUDY OF INFLUENCE OF TEMPERATURE AND SILICON
CONCENTRATION IN FERROSILICON ON DEGREE OF NICKEL
REDUCTION FROM THE $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-NiO}$ SYSTEM
BY THE METHOD OF THERMODYNAMIC SIMULATION**

Салина В.А., Жучков В.И., Заякин О.В.

Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

valentina_salina@mail.ru

Salina V.A., Zhuchkov V.I., Zayakin O.V.

Institute of Metallurgy of Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

valentina_salina@mail.ru

Аннотация: Изучено восстановление никеля из многокомпонентной оксидной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-NiO}$ в интервале температур 1500-1700°C и при давлении газовой фазы 1 атм методом термодинамического моделирования. В качестве восстановителя использовали кремний ферросилиция: ФС5 (5% Si), ФС20 (20% Si), ФС35 (35% Si), ФС50 (50% Si), ФС65 (65% Si)¹, расход которого принят по стехиометрии на полное восстановление Ni и Fe. Для моделирования использовали программный комплекс HSC Chemistry 6.12, разработанный Outokumpu (Финляндия). В базу данных введены химические соединения Ni_3Si и Ni_5Si_2 с соответствующими

термодинамическими характеристиками. Расчеты выполнены с применением модуля «Equilibrium Composition». Показано, что повышение t процесса от 1500 до 1700°C снижает коэффициент распределения никеля $L_{Ni}=(Ni)/[Ni]$, а содержание его в металле $[Ni]$ практически не изменяется. Увеличение концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{FeSi}$ приводит к уменьшению L_{Ni} и повышению $[Ni]$. Определены степень полезного использования кремния v_{Si} и химический состав металла. Результаты моделирования могут быть использованы для определения межфазного распределения никеля при разработке технологии получения ферросиликон никеля из окисленной никелевой руды силикотермическим способом.

Ключевые слова: оксидная система, никель, температура, восстановление, ферросилиций, межфазное распределение, термодинамическое моделирование, химический состав.

Abstract: The reduction of nickel from the CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO-NiO-P₂O₅ multicomponent oxide system in the temperature range 1500-1700°C and a gas pressure of 1 atm was studied by the method of thermodynamic simulation. Silicon of ferrosilicon was used as a reducing agent: FeSi5 (5% Si), FeSi20 (20% Si), FeSi35 (35% Si), FeSi50 (50% Si), FeSi65 (65% Si)¹; its consumption is determined by stoichiometry for the full recovery of Ni and Fe. The HSC Chemistry 6.12 software package developed by Outokumpu (Finland) was used for the simulation. The chemical compounds Ni₃Si and Ni₅Si₂ with the corresponding thermodynamic characteristics are entered into the database. The calculations were performed using the «Equilibrium Compositions» module. It was shown that increasing the process t from 1500 to 1700°C reduces the distribution coefficient of nickel $L_{Ni}=(Ni)/[Ni]$, and its content in the metal $[Ni]$ does not change practically. An increase of the silicon concentration in ferrosilicon $[Si]_{FeSi}$ decreases L_{Ni} and increases $[Ni]$. The degree of useful use of silicon v_{Si} and the chemical composition of the metal are determined. The results of simulation can be used to determine the interphase distribution of nickel when developing the technology for producing ferrosilicon nickel from oxidized nickel ore in a silicothermic process.

Key words: oxide system, nickel, temperature, reduction, ferrosilicon, interphase distribution, thermodynamic simulation, chemical composition.

В настоящее время наблюдается увеличение производства и потребления коррозионностойкой (нержавеющей) стали. Объем производства нержавеющей стали в мире постоянно растет и в 2018 году составил 50,7 млн т [1]. По данным Yieh.com, в КНР ежегодно производят около 26 млн т нержавеющей стали. По прогнозам в 2020 г. производственные мощности Китая по выпуску нержавеющей стали могут превысит 33 млн т/год [2]. Основными легирующими материалами при получении нержавеющей стали являются хром- и никельсодержащие ферросплавы [3]. Получение новых комплексных ферросплавов [4, 5] основывается на проведении теоретических исследований с

применением современных методов термодинамического моделирования [6-10].

В литературе приведены данные о применении моделирования для определения технологических параметров процесса восстановления никеля при прямом легировании стали и влияния основности на степень его восстановления.

Авторами работы [11] рассмотрены вопросы карботермического процесса восстановления никеля при использовании никелевого концентрата. С применением программного комплекса «Терра» определены технологические параметры восстановления никеля из концентрата при прямом легировании стали. Извлечение никеля из концентрата – 92-95%. Термодинамическая база данных для моделирования процесса получения никеля из руд разработана авторами работы [12] и получен набор самосогласованных энергетических функций Гиббса для описания термодинамических свойств и фазовых равновесий в системе MgO-NiO-SiO_2 . Авторами работы [13] изучен процесс восстановления соединений (NiO , Fe_2O_3 , NiFe_2O_4 , $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{NiO}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Ni}$) в системе Fe-Ni-O с применением в качестве восстановителя H_2 и активированного углерода, а также проанализирован механизм восстановления NiFe_2O_4 . Определено, что при использовании в качестве восстановителя H_2 эти системы имеют более низкие начальные температуры реакции и более низкие скорости реакции, чем при активированном углероде. Авторами работы [14] изучено влияние основности $(\text{CaO}+\text{MgO})/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2)$ на процесс расплавления и рост частиц ферроникеля в сапролитно-латеритной руде в процессе Kupp-Renn (Nippon Yakin Oheyama). Добавление CaO и повышение основности от 0,5 до 0,8 снижает температуру плавления латеритной руды, а ее увеличение от 0,9 до 1,8 повышает температуру плавления в атмосфере, содержащей 100% CO .

В литературе приведены результаты термодинамического моделирования восстановления никеля углеродом из оксида, на основе которых разработана технология прямого легирования стали никелем путем присадок в завалку оксидного материала [15]. В работе автора [16] приведены результаты получения хромоникелевого полупродукта путем переплава металлизированных окатышей в руднотермической печи. Содержание хрома 7,78-19,3% и никеля 5,6-10,8% в металле, степень восстановления хрома – 92%.

Авторами работ [17, 18] с применением ПК HSC 6.12 Chemistry изучено влияние основности на степень восстановления хрома с применением в качестве восстановителя ферросиликоникеля и кремния ферросилиция ФС45 и ФС65 [19].

Приведенные данные аналитического обзора работ показывают существующий интерес к вопросам термодинамического моделирования процесса получения никелевых ферросплавов. Однако в литературе отсутствуют сведения о влиянии температуры и концентрации кремния ферросилиция на процесс восстановления никеля из многокомпонентной оксидной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-NiO}$.

Целью настоящей работы является определение влияния температуры процесса (1500-1700оС) на коэффициент распределения никеля L_{Ni} и на содержание никеля в металле $[Ni]$ при использовании в качестве восстановителя кремния ферросилиция $[Si]_{\Phi C}$: $\Phi C5$ (5% Si), $\Phi C20$ (20% Si), $\Phi C35$ (35% Si), $\Phi C50$ (50% Si), $\Phi C65$ (65% Si) методом термодинамического моделирования.

Термодинамическое моделирование процесса восстановления никеля из оксидной системы $CaO-SiO_2-MgO-Al_2O_3-FeO-NiO$ с применением в качестве восстановителя кремния ферросилиция проведено по следующим вариантам:

1) изучение влияния температуры (t) процесса (1500-1700оС) на коэффициент распределения никеля (L_{Ni}) и содержание никеля в металле $[Ni]$ при различной концентрации кремния в ферросилиции (5-65%);

2) определение степени полезного использования кремния (θ_{Si}) ферросилиция (5-65% Si) при температуре (t) 1500оС, где θ_{Si} – доля кремния на восстановление Ni и Fe.

В качестве исходной оксидной системы для проведения термодинамического моделирования использовали окисленную никелевую руду, %: 1,5 CaO; 53,6 SiO₂; 18,4 MgO; 4,8 Al₂O₃; 20 FeO; 1,5 NiO. Расход кремния-восстановителя $[Si]_{\Phi C}$ определяли по стехиометрии на полное восстановление никеля и железа.

Термодинамическое моделирование проведено с применением программного комплекса HSC 6.12 Chemistry, разработанного Outokumpu (Финляндия), и основанного на минимизации энергии Гиббса и вариационных принципах термодинамики [8]. ПК HSC 6.12 Chemistry позволяет определять термодинамические константы химических реакций (ΔH_p -ции, ΔS_p -ции, ΔG_p -ции, K_p) при изобарических и изотермических условиях процесса. Равновесный состав оксидной системы $CaO-SiO_2-MgO-Al_2O_3-FeO-NiO$ определен с применением подпрограммы «Equilibrium Compositions» в интервале температур 1500-1700оС и давлении газовой фазы, равном 1 атм. В базу данных ПК HSC Chemistry 6.12 введены химические соединения Ni₃Si и Ni₅Si₂ с соответствующими термодинамическими характеристиками. Значение энтальпии образования ($\Delta H_{0298,15}$) соединений Ni₃Si и Ni₅Si₂ принято по данным фундаментального справочника [20]. Газовая фаза системы содержала 2,24 м³ N₂ в качестве нейтральной добавки для ускорения вычислительной процедуры поиска равновесного состава.

Результаты термодинамического моделирования процесса восстановления никеля из оксидной системы $CaO-SiO_2-MgO-Al_2O_3-FeO-NiO$ ферросилицием представлены в виде следующих графических зависимостей:

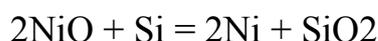
изменение коэффициента распределения никеля (L_{Ni}) от температуры (t) (1500-1700оС) при различном содержании кремния в ферросилиции: $L_{Ni}=f(t)$ (рис. 1);

изменение содержания никеля в металле $[Ni]$ от температуры (t) (1500-1700оС) при различном содержании кремния в ферросилиции: $[Ni]=f(t)$ (рис. 2);

изменение степени полезного использования кремния (θ_{Si}) от концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{ФС}$ при температуре (t) 1500оС: $\theta_{Si}=f(t)$ (рисунке 3).

На рисунке 1 представлено изменение коэффициента распределения никеля (L_{Ni}) от температуры (t) при использовании в качестве восстановителя кремния ферросилиция: ФС5, ФС20, ФС35, ФС50 и ФС65. Коэффициент распределения никеля (L_{Ni}) между шлаком и металлом определяли по формуле $L_{Ni}=(Ni)/[Ni]$ [21]. Показано, что повышение температуры процесса понижает коэффициент распределения никеля L_{Ni} на 20-28% при использовании ферросилиция с содержанием кремния от 5 до 65% соответственно. Степень восстановления никеля равна 99,8-99,74% при увеличении концентрации кремния в ферросилиции с 5 до 65% и температуре 1500оС.

Восстановление никеля из NiO протекает по следующей реакции:



Значение энергии Гиббса (ΔG), вычисленное с применением программного комплекса HSC 6.12 Chemistry [8] и подпрограммы «Reaction Equations», при температуре 1500оС составило $\Delta G_{01500} = - 431,9$ кДж, при $t=1600$ оС $\Delta G_{01600} = - 431$ кДж и при $t=1700$ оС $\Delta G_{01700} = - 430,3$ кДж, т.е. реакция протекает в прямом направлении с образованием в металле никеля $[Ni]$.

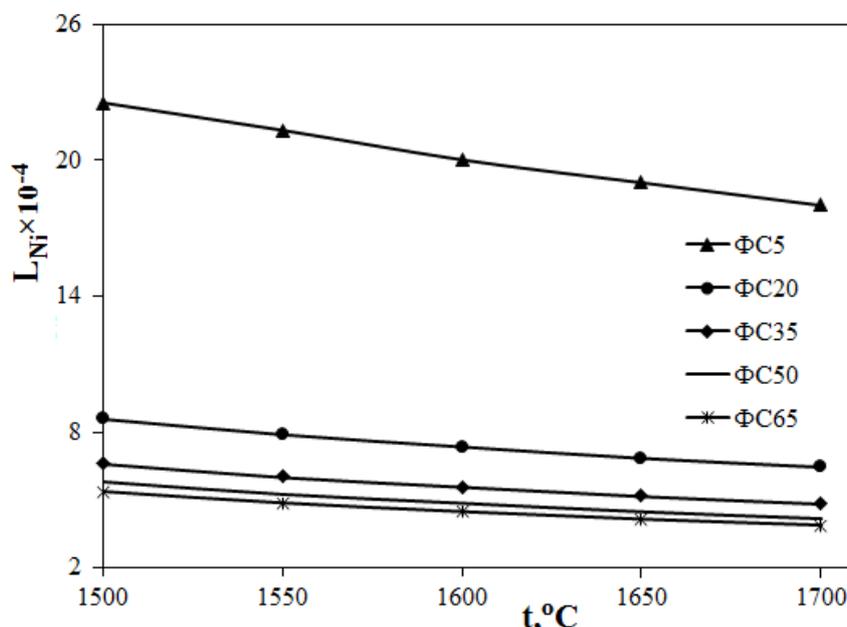


Рисунок 1 – Изменение коэффициента распределения никеля (L_{Ni}) от температуры (t) при ферросилиции: ФС5, ФС20, ФС35, ФС50, ФС65

На рисунке 2 приведена зависимость изменения содержания никеля в металле $[Ni]$ от температуры (t) при использовании ферросилиция: ФС5, ФС20, ФС35, ФС50, ФС65. Увеличение температуры процесса с 1500 до

1700оС незначительно повышает содержание никеля в металле. Повышение концентрации кремния в ферросилиции приводит к увеличению содержания никеля в металле [Ni] с 1,24 до 6,55%, т.е. в 5,3 раза при температуре 1500оС. Содержание железа в металле уменьшилось на 6,7% (с 98,3 до 91,7%), что объясняется снижением его концентрации в ферросилиции при увеличении кремния (табл.). Значения энергии Гиббса соединений NiO ($\Delta G_{0298,15} = -211,957$ кДж/моль) и FeO ($\Delta G_{0298,15} = -244,299$ кДж/моль) [20] показывают, что термодинамическая прочность NiO меньше, чем FeO. Концентрация кремния в сплаве увеличивается с 0,35 до 1,28% при повышении его содержания в ферросилиции с 5 до 65%. Концентрация вредных примесей серы и фосфора в сплаве составляет 0,063-0,334% и 0,023-0,122% соответственно (табл.).

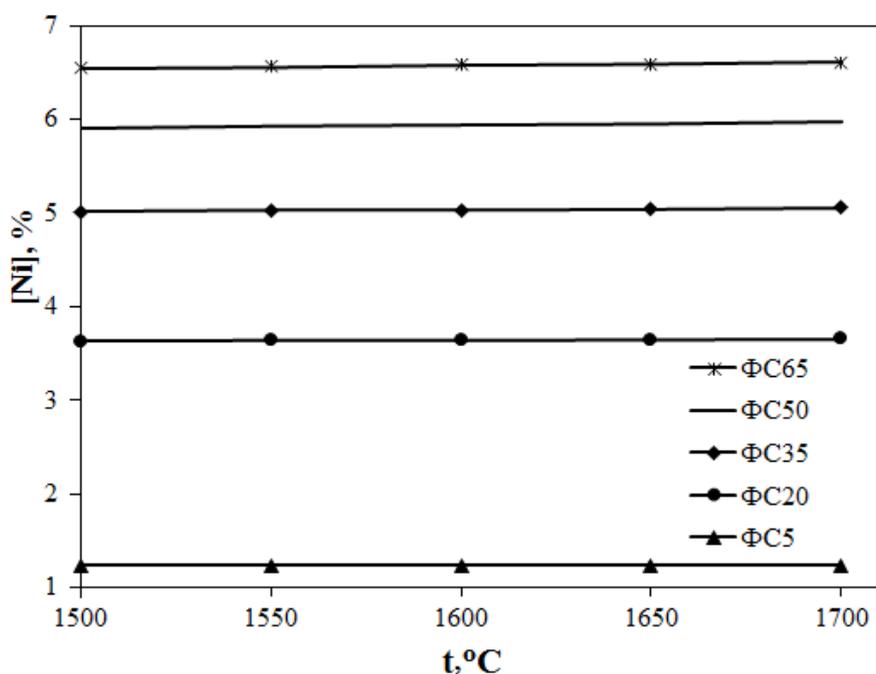


Рисунок 2 – Изменение содержания никеля в металле [Ni] от температуры (t) при ферросилиции: ФС5, ФС20, ФС35, ФС50, ФС65

Химический состав комплексного сплава ферросиликоникеля при температуре 1500оС представлен в таблице.

Таблица 1 - Химический состав сплава, %

Элемент	Применяемый ферросилиций				
	ФС5	ФС20	ФС35	ФС50	ФС65
Fe	98,3	95,3	93,6	92,5	91,7
Ni	1,24	3,63	5,0	5,91	6,55
Si	0,35	0,80	1,04	1,19	1,28
S	0,063	0,185	0,256	0,302	0,334
P	0,023	0,067	0,093	0,110	0,122

На рисунке 3 приведена зависимость степени полезного использования кремния (θ_{Si}) от концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{\Phi C}$ при температуре (t) 1500 $^{\circ}C$. Повышение концентрации кремния ферросилиция $[Si]_{\Phi C}$ с 5 до 65% способствует увеличению степени полезного использования кремния θ_{Si} .

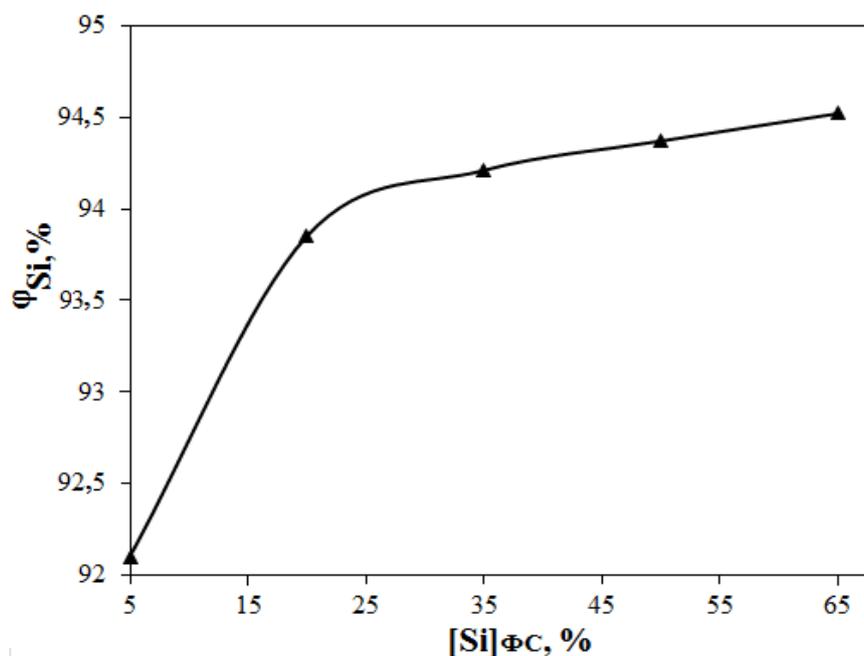


Рисунок 3 – Изменение степени полезного использования кремния (θ_{Si}) от концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{\Phi C}$ при температуре (t) 1500 $^{\circ}C$

Таким образом, результаты термодинамического моделирования процесса восстановления никеля из многокомпонентной оксидной системы CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO-NiO ферросилицием с содержанием кремния (5-65%) в интервале температуры 1500-1700 $^{\circ}C$ показали, что коэффициент распределения никеля L_{Ni} уменьшается с увеличением температуры процесса. Содержание никеля в металле $[Ni]$ незначительно увеличивается при повышении температуры с 1500 до 1700 $^{\circ}C$. При повышении концентрации кремния в ферросилиции $[Si]_{\Phi C}$ содержание никеля в сплаве увеличивается с 1,24 до 6,55% при температуре 1500 $^{\circ}C$. Степень полезного использования кремния увеличивается с 92,1 до 94,5% при повышении содержания $[Si]_{\Phi C}$ с 5 до 65%.

Работа выполнена по Государственному заданию ИМЕТ УрО РАН и по Проекту РФФИ № 19-03-00451.

Список литературы

- 1 International Stainless Steel Forum (ISSF): <https://ussa.su/news/1898>, 2019 (дата обращения: 17.05.2019).
- 2 Неменов А.М. События в цифрах и фактах // *Металлург*. 2019. № 5. С. 100-107.
- 3 Жучков В.И., Леонтьев Л.И., Селиванов Е.Н., Заякин О.В., Бабенко А.А. Перспективы производства нержавеющей стали с использованием отечественных хромовых и никелевых ферросплавов // *Сб. тр. Межд. науч.-практ. конф. «Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья»*. – Екатеринбург, 2014. Т.2. С. 210-215.
- 4 Zhuchkov V.I., Zayakin O.V. Manufacturing and Application of Complex Ferroalloys // *Theoretical and practical conference with international participation and School for young scientists «Ferroalloys»: Development prospects of metallurgy and machine building based on completed Research and Development»*. Knowledge E Materials Science. 2019. P. 138-144.
- 5 Yessengaliyev D., Baisanov S., Issagulov A., Baisanov A., Zayakin O., Abdirashit A. Thermodynamic diagram analysis (TDA) of MnO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ and phase composition of slag in refined ferromanganese production // *Metalurgija*. 2019. No 3-4 (58). P. 291-294.
- 6 Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. – М.: *Металлургия*, 1994. – 352 с.
- 7 Трусов Б.Г. Программная система моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // *Наука и инновации*. 2012. № 1(1). С. 21.
- 8 Roine A. Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical reactions and Equilibrium software with extensive thermochemical database. – Pori: Outokumpu research OY, 2002.
- 9 Белов Г.В., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. – 96 с.
- 10 Бережной А.С. Многокомпонентные системы окислов. – Киев: *Наукова Думка*. 1970. – 544 с.
- 11 Кичигина О.Ю. Восстановление никеля из его оксида углеродом / О.Ю. Кичигина // *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 2010. № 10. С. 20-23.
- 12 Prostakova V., Chen Jiang, Evgueni Jak, S.A. Decterov. Experimental study and thermodynamic modeling of the MgO-NiO-SiO₂ system // *J. Chem. Thermodynamics*. 2013. Vol. 62. P. 43-55.
- 13 Zhang Y., Wei W., Yang X., Wei F. Reduction of Fe and Ni in Fe-Ni-O system // *J. Min. Metall. Sect. B-Metall*. 2013. Vol. 49 (1). P. 13-20.

14 Li G., Luo J., Peng Z., Zhang Y., Rao M., Jiang T. Effect of quaternary basicity on melting behavior and ferronickel particles growth of saprolitic laterite ores in Krupp-Renn process // ISIJ Int. 2015. Vol. 55. No 9. P. 1828-1833.

15 Рыбенко И.А. Термодинамическое моделирование процессов в элементарных системах: монография. – Новокузнецк: изд. Центр СибГИУ, 2016. – 97 с.

16 Каскин К.К. Непрерывный переплав металлизированных и железорудных окатышей в руднотермической печи с получением полупродуктов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2012. № 15. С. 82-84.

17 Salina V.A., Zhuchkov V.I., Zayakin O.V. Thermodynamic simulation of the manufacture of Fe-Si-Ni-Cr alloys // Russian Metallurgy (Metally). 2019. No 2. P. 162-164.

18 Салина В.А., Заякин О.В., Жучков В.И. Изучение силикотермического способа получения комплексных никель-, хромсодержащих ферросплавов методом термодинамического моделирования // Наука и техника Казахстана. 2017. № 4. С. 85-90.

19 Салина В.А., Сычев А.В., Заякин О.В., Жучков В.И. Изучение процесса восстановления хрома из системы CaO-SiO₂-Cr₂O₃-FeO-MgO-MnO-Al₂O₃ кремнием ферросилиция методом термодинамического моделирования // Бутлеровские сообщения. 2018. Т. 56. № 12. С. 131-135.

20 Термодинамические константы веществ. Справочник / Под ред. Глушко В.П. – М: Наука, 1972. Вып. VI. – 369 с.

21 Бигеев А.М., Бигеев В.А. Metallurgy of steel. Учеб. для вузов, 3-е изд. перераб. и доп. – Магнитогорск: МГТУ, 2000. – 544 с.

УДК 669.276

**NEW DEVELOPMENTS IN TUNGSTEN POWDER COMPOSITION,
METHOD AND DEVICE FOR COMPACTING BLANKS**

**НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПОРОШКОВЫХ
ВОЛЬФРАМОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ
КОМПАКТИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК**

Barkov L. A., Samodurova M.N., Radionova L. V., Latfulina Yu.S.

South-Ural State University, Chelyabinsk, Russia

barkovla@susu.ru

Барков Л.А., Самодурова М.Н., Радионова Л.В., Латфулина Ю.С.

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

barkovla@susu.ru

Abstract: The new technology of cold compaction in split dies has been developed for the billets made of refractory metals composition powders which include the powders reduced from metal oxides with hydrogen and the ultradispersed

powders obtained by plasma atomization. The new fast splitting metal dies of the improved reliability are designed for compacting the powder mixtures to slender blanks with rectangular and square cross sections. Ample experimental investigations have been carried out with the aim of selecting: the compositions of the powder mixtures; the optimal parameters of compacting and low/high temperature sintering and thermo-mechanical regimes of subsequent mechanical working of tungsten (W) billets to bars and wires. Theoretical studies of cold compaction have also been carried out. The mathematical model is designed. This model enables to calculate: the mass of the original powder; the pressure of compaction; the stress-strain state of a billet; the distribution of density over the cross section and the length of the bars made of different two-phase powders.

Key words: powder mixture; powder mixture preparation; compaction; density.

Аннотация: Новая технология холодного прессования в разъемных матрицах была разработана для заготовок, изготовленных из порошков композиций из тугоплавких металлов, которые включают порошки, восстановленные из оксидов металлов водородом, и ультрадисперсные порошки, полученные плазменным напылением. Новые быстроразрезаемые металлические штампы повышенной надежности предназначены для компактирования порошковых смесей до тонких заготовок прямоугольного и квадратного сечения. Многочисленные экспериментальные исследования были проведены с целью выбора: составов порошковых смесей; оптимальных параметров компактирования и низко/высокотемпературного спекания, а также термомеханических режимов последующей механической обработки вольфрамовых (W) заготовок до прутков и проволоки. Были также проведены теоретические исследования холодного компактирования. Разработана математическая модель. Данная модель позволяет рассчитать: массу исходного порошка; давление уплотнения; напряженно-деформированное состояние заготовки; распределение плотности по сечению и длине стержней из разных двухфазных порошков.

Ключевые слова: порошковая смесь; приготовление порошковой смеси; компактирование; плотность.

Introduction

In order to achieve improved technological properties of tungsten (W) powders and their products new methods of manufacturing the powders with unique properties are required. With this purpose the studies on ultradispersed (UD) powders, their production and application have become the main research area lately.

The tungsten ultradispersed (W-UD) powders as two-component systems consisting of α -W and β -W [1] are reduced from tungsten oxides by high-temperature hydrogen jet (plasma). The previous investigations [2, 3] have revealed that UD-powders which mixed with standard W-powders allow: to improve the compactibility of powders as a whole; to lower the pressure of compaction so as to achieve the

required density in a compact; to intensify the sintering process of compacted billets.

However, at present, the unsolved questions are remaining: how an UD-powder mixed with a W-BA powder influences the technology of manufacturing the weight-and-thread wires and then properties. In order to answer these questions, it is necessary to: design manufacturing conditions for preparation of powder mixtures; validate optimal compositions of powder mixtures and quantities of plasticizers added; investigate conditions of compacting process; develop suitable tooling.

Preparation of the powder compositions

With the purpose of creating the technology of manufacturing W-BA compacts with UD-powders added, the variations in characteristics of the powder mixture and its components were studied under different contents of UD-powders.

The standard W-BA powders were used as original raw materials, their bulk density values ranging from 2.85 to 3.1 g/m³ and their specific surface values ranging from 0.086 to 0.095 m²/g, as well as UD-powders with 0.34 to 0.55 g/m³ bulk densities and 7,3 to 12.2 m²/g specific surfaces.

The experimental investigations were fulfilled for obtaining the parameters of the preparation process.

The main variable parameters of investigations were assumed as: the bulk densities of the standard W-BA powder and the UD-powder (ρ_{st} and ρ_{udp} respectively); the percentage of UD-powder in powder mixture (D_{udp}); the specific surfaces of the standard W-BA and the UD-powders (S_{st} and S_{udp} respectively); the mixing time of two components (T). The bulk density and the specific surface of powder mixture (ρ_{mix} and S_{mix} respectively) were the functions to be determined. The characteristics of the investigated powders are given in Table 1.

The process of mixing the standard W-BA and the UD powders was carried out in a vibratory mixing chamber within the interval from 5 to 40 minutes. The dynamics of the W-BA-UD-powders mixture bulk density behavior is a clear exponential function, and the values of the bulk density fall within a positive part of the curve after 25 to 30 minutes of mixing. That is why the optimal time of mixing is assumed as 30 minutes.

The results of mixing the standard W-BA and the UD-powders and the characteristics of the powder mixture are given in Table 1. The computer-aided data processing yields the following regression equations for the mixture bulk density (ρ_{mix}) as a function of the mixture specific surface (S_{mix}):

$$\rho_{mix} = 2.291 + 1.645\rho_{st}\rho_{udp} - 0.042\rho_{st}D_{udp} + 0.052\rho_{udp}D_{udp} - 0.006D_{udp}^2 - 5.888\rho_{udp}^2 + 0.257D_{udp}; \quad (1)$$

$$S_{mix} = -0.265 + 0.002D_{udp}^2 + 0.067D_{udp} + 0.027\rho_{udp}. \quad (2)$$

Fig. 1 and Fig. 2 are the plots of variations of the bulk density and the specific surface of the prepared powder mixture shown against the quantity of UD-powder in

the same mixture.

Table 1 - The characteristics of the standard W-BA, UD powders and their mixture

Standard W-BA powder characteristics		UD powder characteristics		Dudp, %	ρ_{mix} , g/m ³	Smix, m ² /g
ρ_{st} , g/m ³	Sst, m ² /g	ρ_{udp} , g/m ³	Sudp, m ² /g			
2.849	0.095	0.339	12.19	0	3.043	0.060
				5	3.890	0.349
				8	4.157	0.608
				11	4.172	1.148
				14	4.149	1.582
				17	3.936	1.669
				22	3.532	2.902
3.103	0.086	0.454	7.318	0	3.304	0.098
				5	4.144	0.367
				8	4.288	0.736
				11	4.299	1.088
				14	4.188	1.287
				17	3.946	1.508
				22	3.709	1.983

From these plots it is well seen that a parabola is good for describing bulk density variations, and a straight line is suitable for presenting specific surface variations, respectively, as functions of UD-powder quantity contained in the mixture.

The mathematical processing of the results allows to calculate the values of UD- powder quantities for which the bulk density of the mixture with the standard powder takes on the maximum value (the maximum of parabola). For the range of characteristics under investigation the optimal UD-powder content in the powder mixture with the standard W-BA powder changes from 11.7 to 12.6 percent.

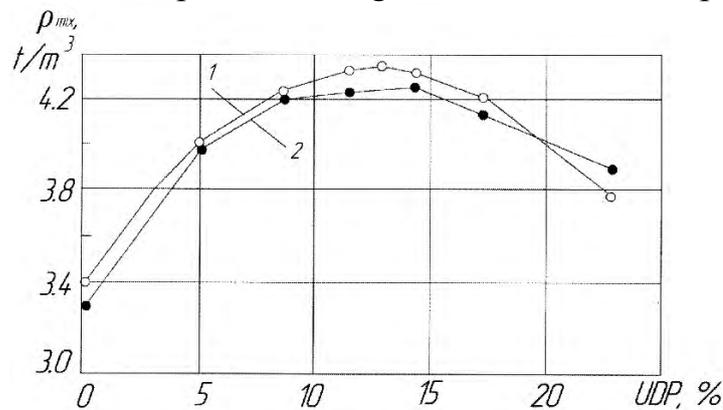


Fig. 1. Dependence of the bulk density of the powder mixture on UD-powder content: 1 – theoretical curve; 2 – experimental curve

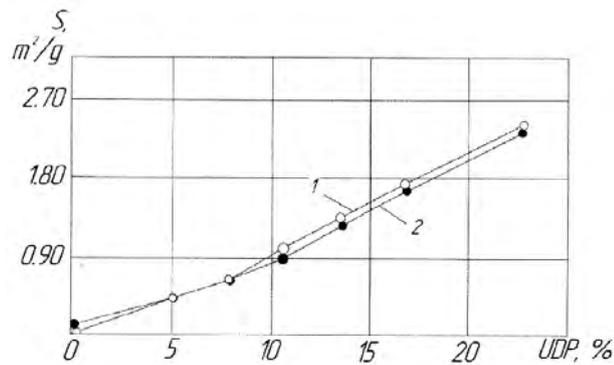


Fig. 2. Dependence of the specific surface of the powder mixture on UD-powder content: 1 – theoretical curve; 2 – experimental curve

Furthermore, the experimental dependence which allows to determine the optimal UD-powders content in their mixture with standard tungsten powders has been found:

$$D_{ud} = 20.23 - 3.339\rho_{st} + 4.104\rho_{udp} . \quad (3)$$

As a result of the investigation the process of the powder composition preparation was patented [4].

Method and device for compaction of blanks

The obtained composition of the standard W-BA and the UD powders was wetted with a plasticizer, i.e. the mixture of glycerin and alcohol in the vibratory mixing chamber. The quantify of the plasticizer added is determined by percent content of UD powders in the powder mixture. Before the process of compacting, the wetted powder mixtures were screened with the help of a kapron screen with 120 to 170 mesh number.

The process of compacting the blanks made by new method [5], in the new split die, the design of which is described in Reference [6] and shown in Fig. 3.

From Fig. 3 it can be seen that Pins 6 of Fasteners 3 on the side plates of the spin die have been made as conical elements in order to simplify the die construction, to increase the output of the compacting process and to minimize the cracks appearing when compacting the powders and splitting the die.

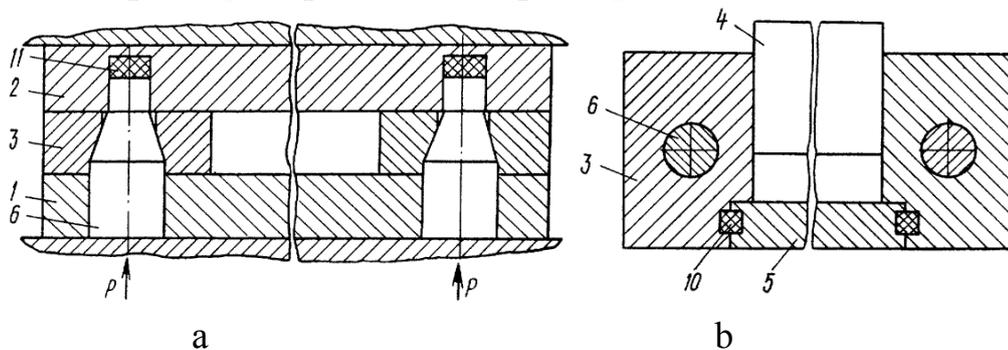


Fig. 3. The split die construction: a – top view; b – side view

When the die is placed on the table of the press and the powder mixture is charged in, the horizontal punch P clamps the die. Then, Pins 6 move to the Cheek 2 of the die. Then the gap is chosen between the cones of Pins 6 and the holes of Side Plates 3. The upper Punch 4 performs compacts. When the upper and the side cylinders of the press withdraw the load, Pins 6 and Side Plates 3 are displaced. At last, the compact is released without any cracks of delamination due to the absence of any hard elements in the die which can affect the compact in the process of compacting.

Thus, the die used helps to eliminate possible formation of cracks between the layers of tungsten compacts when splitting the die. Besides, the time of splitting and assembling the die is 2 to 2.5 times shorter.

The powder mixture wetted with the plasticizer and prepared for compacting has a higher flowability than a standard tungsten-BA powder. This quality facilitates charging the powder mixture into the die, shortens the time of levelling the powder mixture along the die length line, allows to exclude the lubrication of the upper punch, reduces the content of impurities in raw materials at the stage of compacting. The results of compacting are presented in Table 2.

From Table 2 it can be seen that the presence of UD-powder in a powder mixture brings changes into its compactness. For instance, the density of a blank becomes higher when the content of UD-powder in a powder mixture changes from 0 to 13 percent. Further increase in content of UD-powder up to 18 percent leads to a decrease in density of a blank. Therefore, a powder mixture with an optimal content of UD-powder has the best compactness.

Table 2 - Parameters of compacting and sintering for tungsten powder mixtures

Characteristics of powders and mixtures				Compacting and compacts parameters				Sintering and sintered billets parameters			
$\rho_{st}, t/m^3$	$\rho_{udp}, t/m^3$	$D_{udp}, \%$	$\rho_{mix}, t/m^3$	Specif. Press.,	Size, mm		$\rho_{com}, t/m^3$	Welding current, A	Size, mm		$\rho_{sint}, t/m^3$
					h	b			h	b	
3.043	0.424	0	3.043	403	12.01	12.24	12.273	3600	10.61	10.6	17.68
		6	4.599	402	11.60	12.26	12.676	3600	10.38	10.8	17.67
		12	4.746	400	11.58	12.30	12.572	3600	10.38	10.8	17.45
		18	4.765	400	11.57	12.34	12.439	3600	10.26	10.9	17.41

The blanks made of such mixtures do not have cracks of delamination. They are much stronger and possess a more homogeneous structure than the bars made of standard tungsten-BA powders.

To investigate the change in density along the blank length line and to strengthen the blank itself, the low-temperature presintering of the blanks was carried out in a pass muffle furnace, in hydrogen atmosphere, at 1200 °C, during 1 hour.

The density value was measured at six different points along the length of a presintered blanks by density-measuring radioisotopic device. The averaged plots of density variation against the length of the blank are shown in Fig. 4 for the compacts made of the standard tungsten-BA powder and its mixture with an ultrafine powder.

From Fig. 4 it is well seen that the equidensity of standard W-BA-UD-powders compacts is much higher than that of simple standard W-BA-powders compacts.

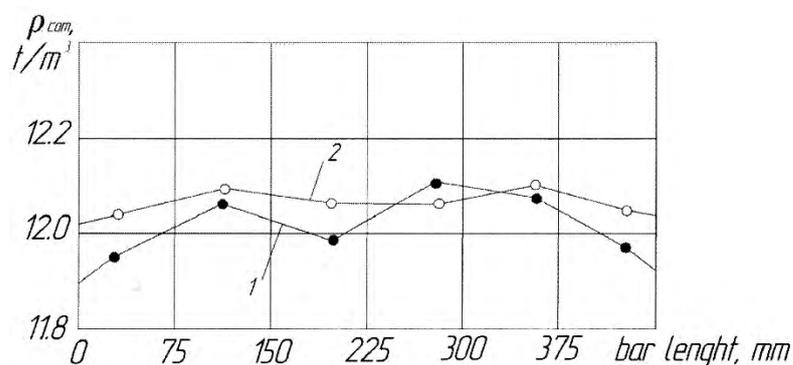


Fig. 4. Average plots for density values varying against the length of the compacts: 1 – for standard W-BA-powders compacts, 2 – for standard W-BA-UD-powders compacts

Conclusions

The results of this work have shown that the usage of ultradispersed powders with standard tungsten-BA powders enables one to increase the flowability and the compactness of a powder mixture. The increased flowability of tungsten powders facilitates filling the cavity of a split die with a powder mixture which spreads more fully and evenly over the cavity of the die during its levelling.

The higher compactness of tungsten powders allows: to minimize the cracks of delamination appearing in a compact in the process of its compacting; to exclude lubrication of the punch because any lubricant is an impurity on the surface of a compact and affects its structure when sintering it; to strengthen the compacts and reduce losses when transporting them.

The application of new compaction method and new split dies has also proved to be useful due to exclusion of possible cracks of delamination when releasing the compacts out of the dies after compacting. Besides, the time of splitting and assembling the dies has become 2 to 2.5 times shorter due to their new design.

References

1 Bogomolov, A. M. X-ray investigation of powders of W and Mo obtained by plasma reduction / A. M. Bogomolov, Yu. S. Kim, V. S. Koshchuhar // International Journal of Powder Metallurgy. – 1981. – no. 1. – pp. 93–98.

2 Kalamasov, R. U. Physical, Chemical and Technological Characteristics of High Dispersed Materials / R. U. Kalamasov, A. T. Ibragimov, G. A. Krutchinin et al. // Proceedings of the Institution of Powder Metallurgy. – Kiev, (1989). – pp. 13–18 (in Russ.).

3 Kalamasov, R.U. Tungsten and Molybdenum High Dispersed Powders / R. U. Kalamasov, Yu. V. Tsvetkov, A. A. Kalkov. – Moscow: Mashinostroenie Publ., 1988. – 192 p. (in Russ.).

4 Patent 2361697 Russian Federation, IPC B 22 F 3/12. Method of tungsten blanks receiving / L. A. Barkov, S. A. Mymrin, B. A. Chaplygin. – no. 2007134474/02; date of application: 14.09.2007; date of publication: 20.07.2009, Bull. no. 20. – 4 p. (in Russ.)

5 Patent 2381870 Russian Federation, IPC B 22 F 3/02, B 22 F 3/03, B 30 B 15/02. Compression method of beads from powders of refractory metal and press mould for its compression / S. A. Mymrin, L. A. Barkov, B. A. Chaplygin. – no. 2007142830/02; date of application: 19.11.2007; date of publication: 20.02.2010, Bull. no. 5. – 9 p. (in Russ.)

6 Patent 1694344 USSR, IPC B 22 F 3/02, B 30 B 15/02. Mold for pressing powders / M. L. Yampolskyi, L. A. Barkov, S. A. Mymrin. – no. 4695811/02; date of application: 24.05.1989; date of publication: 30.11.1991, Bull. no. 44. – 4 p. (in Russ.)

УДК 621.771.261

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ШВЕЛЛЕРОВ. ПРОСТРАНСТВО КАЛИБРОВ

METHOD OF OPTIMIZATION OF ROLL CALIBRATION FOR CHANNELS. GROOVE SPACE.

Устинова Е.И., Шварц Д.Л., Михайленко А.М.

Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия

ustinova1694@gmail.com

Ustinova E. I., Schwartz D. L., Mikhailenko A. M.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

ustinova1694@gmail.com

Аннотация: В данной статье рассматривается универсальная "Концепция двухэтапной оптимизации", состоящая из двух последовательных этапов, разработанная в Уральском Федеральном Университете, применительно к оптимизации калибровки валков для прокатки швеллеров. Выявлены и обоснованы общие признаки классификации данных профилей и уровни их варьирования. Разработанная структура положена в основу формирования пространства калибров, благодаря которым формируется пространство калибров. В программной реализации пространство калибров представлено в виде "базы данных калибров". В дальнейшем эта база данных будет использована для формирования пространства схем калибровок, принципиально пригодных для прокатки данных профилей.

Ключевые слова: сортовая прокатка, сортовые профили проката, прокатный стан, калибровка прокатных валков, калибры, теория систем, системный анализ, оптимизация калибровки валков, швеллер, пространство оптимизации, критерий оптимальности, целевая функция.

Abstract: The universal "concept of two-stage optimization", consisting of two successively carried out optimization stages developed in the Department of Metal Forming of the Ural Federal University in relation to optimization of the roll calibration for channels is considered in this article. Common features of these shapes classification and their variation levels are identified and justified. This developed structure is the basis for the formation of spaces of groove schemes, due to which the groove space is formed. In the software implementation the groove space is represented as a "groove database". In the future this database will be used to form the space of calibration schemes that are fundamentally suitable for these shapes rolling

Key words: rolling of sections, section bar, rolling mill machine, mill roll calibration, grooves, systems theory, system analysis, optimization of the roll calibration, channel, optimization space, criterion of optimality, objective function.

Одним из основных направлений развития прокатного производства, является задача расширения сортамента, улучшения качества и увеличение выпуска экономичных видов проката. Эта задача может быть решена за счет оптимизации отдельных технологических операций. Одним из наиболее гибких элементов сортопрокатного производства является калибровка прокатных валков. Оптимальная калибровка позволит получать готовый профиль с заданными размерами, формой и качеством поверхности, обеспечивая при этом высокую производительность прокатного стана и низкие затраты на производство.

Изучению вопросов, связанных с оптимизацией калибровок прокатных валков посвящено достаточно большое количество научных и практических работ, статей, монографий, учебников [1–6], причем, интенсивность проведения таких работ увеличивается, а спектр рассматриваемых вопросов становится все шире. Это подтверждает актуальность рассматриваемой темы.

На кафедре Обработки металлов давлением Уральского Федерального Университета разработана универсальная «Концепция двухэтапной оптимизации» [7-10]. В рамках данной статьи рассматривается ее применение для поиска оптимальной калибровки валков для прокатки швеллеров.

Профиль швеллера составляет значительную часть объемов от производимых профилей проката [11-12]. Сортамент швеллеров и профилей швеллерной (П-образной) формы весьма широк и разнообразен, его, обычно, подразделяют на швеллеры общего назначения (большинство производят по ГОСТ 8240-97, 8278-83) и швеллеры специального назначения (в большинстве производят по ТУ или другим видам стандартов). Принципы производства различных профилей швеллерной формы технологически однотипны. Производят два типа профилей швеллера – горячекатаный и гнутый из листового материала. И, несмотря на увеличение доли более дешевых гнутых швеллеров [3], полный отказ от производства горячекатаных швеллеров не предвидится. Поэтому, исследования, направленные на совершенствование

технологии сортовой прокатки швеллеров не утрачивают свою актуальность. А учитывая технологическую однотипность производства различных швеллеров, такие исследования целесообразно производить с общих позиций, применимых для швеллеров разных видов

В качестве идейной основы создания методологии проектирования оптимальных калибровок выбран так называемый системный подход, сформулированный в "Теории систем" [13-15 и др.] и "Теории оптимального управления" [16, 17 и др.]. Это связано с тем, что калибровка сортопрокатных валков, рассматриваемая как вариативная система калибров, полностью соответствует всем признакам общепринятого понятия "система".

В соответствии с системным подходом, выделяют два основных, принципиально различных случая вариабельности систем:

вариант 1 - структурное различие системы за счет использования разных подсистем или изменения направлений связей подсистем (различны элементный состав системы и/или виды и направления связей ее элементов);

вариант 2 - изменение количественных характеристик связей подсистем и связей системы с окружающей средой (т.е. изменение управлений системой).

При оптимизации системы за счет двух вариантов ее вариабельности (при одной или разных целях оптимизации), можно получить два различных варианта оптимальности:

для варианта 1: система, наилучшим образом соответствующая цели на данном классе систем будет являться оптимальной системой;

для варианта 2: управление, обеспечивающее наилучший способ достижения цели при функционировании системы неизменной структуры является оптимальным управлением.

Наилучший результат оптимизации будет достигнут именно благодаря одновременному достижению этих двух вариантов оптимальности.

В технической системе "калибровка прокатных валков" оба эти варианта вариабельности и оптимизации доступны и довольно просто и не дорого могут быть реализованы, причем, как вместе, так и отдельно. Первый вариант вариабельности соответствует изменению схемы калибровки, а наилучшим образом подобранная калибровка будет соответствовать понятию – "оптимальная схема калибровки".

Второй вариант вариабельности калибровки (изменение управлений), на практике выливается в изменение распределения обжатий по проходам. Режим обжатий, наилучшим образом соответствующий цели оптимизации будем называть "оптимальный режим обжатий".

Анализ известных решений показал, что при оптимизации калибровок используют либо первый [5,6 и др.], либо второй [1– 4 др.] варианты оптимизации. Комплексных работ, учитывающих обе возможности оптимизации неизвестно. Нам же представляется, что уже накоплено достаточно теоретических знаний по сортопрокатной калибровке и практического опыта и пришло время при проектировании технологии

сортовой прокатки одновременно использовать оба рассмотренных выше варианта оптимизации.

В разработанной концепции предусмотрено проведение двухэтапной процедуры: на первом этапе выявляется оптимальная схема калибровки, а затем, на втором этапе – оптимальный режим обжати. Поэтапный подход, кроме упрощения самого процесса решения задачи, имеет и дополнительные преимущества, в частности, дает возможность использовать на каждом этапе свой критерий оптимальности, что, с одной стороны, упрощает процедуры формирования целевых функций каждого из критериев, и с другой стороны, позволяет более тонко учесть реалии промышленного сортопрокатного стана.

Блок-схема универсальной «Концепции двухэтапной оптимизации» для прокатки швеллеров представлена на рисунке 1.

В рамках данной статьи рассмотрим первый этап оптимизации (блок 1–12), а в частности формирование такого обширного блока, как "Пространство калибров" (блок 5)

"Целей оптимизации" (блок 1) в реальных условиях реального сортопрокатного стана может быть великое множество. Особенностью "Концепции двухэтапной оптимизации" является то, что имеется возможность использования двух критериев оптимальности, каждый на своем этапе оптимизации и, соответственно, рассматривать две разноплановые цели оптимизации (например, максимальная точность готового проката и минимум затрат энергии). "Цель оптимизации" (см. блок 1 на рисунке 1).

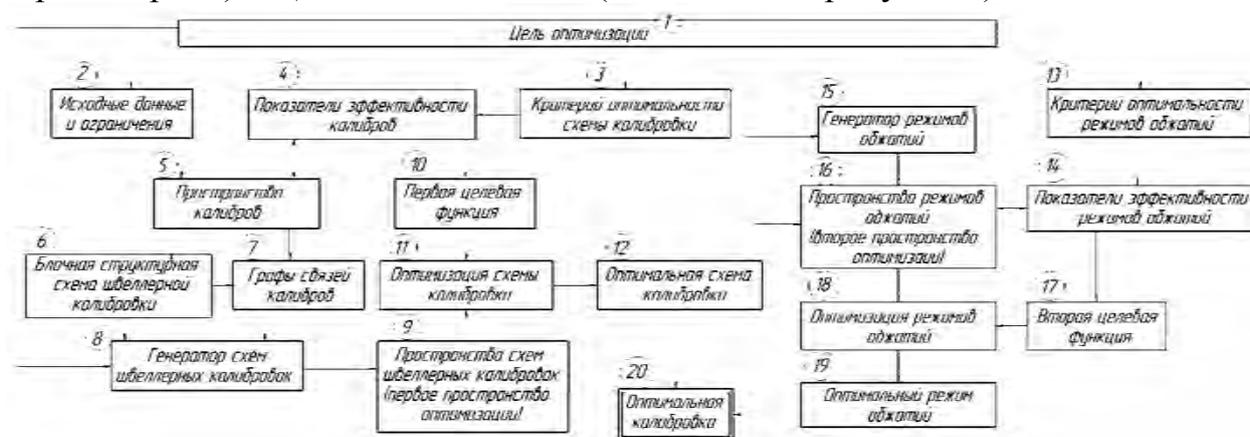


Рисунок 1 - Блок-схема универсальной «Концепции двухэтапной оптимизации» для прокатки швеллеров

"Исходные данные и ограничения" (блок 2) содержит информацию о заготовке, профиле, технические характеристики стана, технологические ограничения и т.п.

Под термином "Критерий оптимальности" (блок 3) понимается однозначно определенный способ получения наилучшего решения, соответствующего цели оптимизации.

Формирование "Первой целевой функции" (блок 10) производят с использованием "Показателей эффективности калибров" (блок 4). Для установления числовых значений этих показателей используются как

собственные свойства калибров, так и системозначимые, и системообразующие характеристики последовательностей калибров, отражаемые в "Графах связей калибров" (блок 7).

"Пространство калибров" (блок 5) представляет собой пространство, содержащее в себе все возможные калибры, принципиально применимые для формирования калибровок валков для прокатки швеллеров. Наполнение этого пространства производится на основе анализа известной литературы и заводской документации по швеллерным калибровкам. Далее, для краткости, под термином "калибр", будем понимать однозначную схему или структуру, характерную определенной группе известных однотипных калибров, по каким-то признакам отличающихся от другой группы калибров, или, для краткости "от другого калибра". Разбиение всех известных швеллерных калибров на группы произведено в процессе их классификации по выбранным нами признакам геометрического и технологического свойства. Выбранные признаки классификации в дальнейшем используются в качестве измерений (координат) "Пространства калибров" (блок 5). "Пространство калибров" – это информационное пространство, включающее в свой состав все калибры, принципиально пригодные для сортовой прокатки профилей швеллерной формы (виртуальные швеллерные калибры). К настоящему моменту времени накоплен большой опыт производства разных швеллеров на разных прокатных станах с использованием большого количества различных калибровок [21-25]. Типизация характерных форм калибров, используемых в промышленных калибровках позволила выделить характерные признаки швеллерных калибров, удовлетворяющие сформулированным выше требованиям. К таким признакам мы отнесли: С – вид стенки; Д – вид действительных фланцев; Л – вид ложных фланцев; Р – тип закрытия калибра и количество валков, образующих калибр. Обозначения соответствующих элементов профиля швеллера показано на рисунке 2.

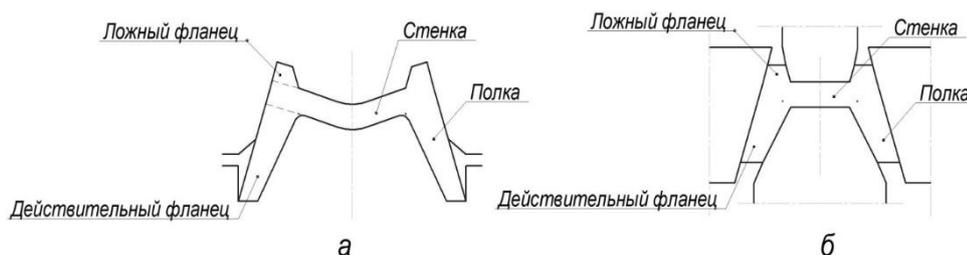
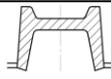
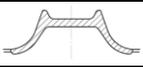


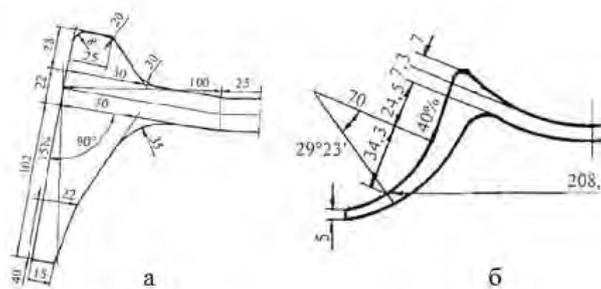
Рисунок 2 - Деление профиля швеллера на элементы в двухвалковом (а) и четырехвалковом (б) калибрах

Признак калибров "С – вид стенки". В известных промышленных калибровках швеллера встречаются калибры со стенкой четырех типов: прямая, вырезная, изогнутая и волнистая (рисунок 3, таблица 1).

Таблица 2 - Уровни варьирования признака Д - "Вид действительных фланцев"

Обозначение	Наименование	Форма фланца	Пример
Д1	Прямые с малым уклоном	Прямолинейные с небольшим выпуском калибра.	
Д2	Прямые с увеличенным уклоном	Прямолинейные с выпуском калибра от 10 до 40%	
Д3	Изогнутые	Изогнуты во внешнюю сторону	
Д4	Без уклона	Прямолинейная, параллельная стенке калибра	
Д5	Изогнутые во внутрь	Изгиб, примерно, 1/3 части фланца во внутрь калибра	

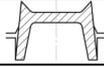
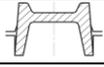
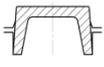
Признак калибров Л - "Вид ложных фланцев". После некоторого обобщения известных из литературы форм ложных фланцев, можно выделить лишь три существенно отличных типа швеллерных калибров: с треугольными ложными фланцами, с трапециевидные ложными фланцами и без ложных фланцев (рис. 5, табл. 3).



а – трапециевидные, б –треугольные

Рисунок 5 - Возможная форма ложных фланцев профиля в швеллерных калибрах [18, рис. I.6, I.23, I.49]

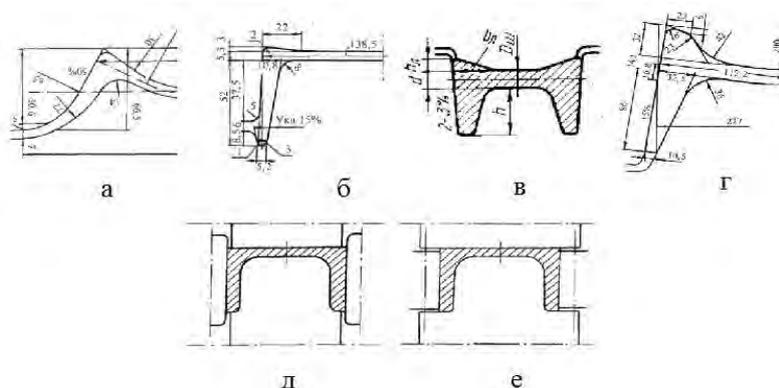
Таблица 3 - Уровни варьирования признака Л - "Вид ложных фланцев"

Обозначение	Наименование	Форма фланца	Пример
Л1	Треугольные	Неравносторонний треугольник	
Л2	Трапециевидные	Вид неравносторонней трапеции	
Л3	Без ложных фланцев	Фланцы отсутствуют	

Признак калибров Р – "Тип закрытия калибра и количество валков, образующих калибр ". Под термином "тип закрытия калибра" обычно понимается способ размещения разъема валков относительно положения поперечного сечения раската. Будем использовать общепринятую классификацию двухвалковых калибров по этому признаку [18 или 19]. При

производстве швеллеров применяют двухвалковые калибры со всеми способами закрытия калибра.

В настоящее время так же проводят прокатку швеллера в универсальных клетях с использованием четырехвалковых калибров. С точки зрения формоизменения металла в калибре, способ закрытия калибра влияет, прежде всего, на степень охвата прокатываемого металла калибром, на степень контроля металла валками. Похожее контролирующее воздействия калибра на металл оказывает и изменение количества валков, образующих калибр. С увеличением количества валков, степень контроля металла валками, обычно, возрастает. Учитывая сказанное, объединили внешне различные, но функционально похожие признаки "тип закрытия калибра" и "количество валков, образующих калибр" в единую характеристику калибра "Р" (рисунок 6, таблица 4).



а – открытый калибр, б – полузакрытый калибр, в – калибр, закрытый сверху, г – калибр закрытый снизу, д, е – четырехвалковые калибры с вертикальным и горизонтальным расположением разъемов, соответственно

Рисунок 6 - Возможные типы закрытия калибра и количества валков, образующих калибр [18, рис.4.21. 10, рис.1.50, 1.36, 1.24, 1.7, 1.8]

Таблица 4 - Уровни варьирования признака Р - "Тип закрытия калибра и количество валков образующих калибр "

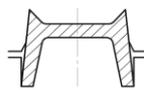
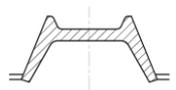
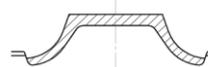
Обозначение	Наименование	Характеристика	Пример
P1	Открытый	Разъем калибра расположен примерно по середине калибра	
P2	Полузакрытый	Разъем калибра смещен вниз, но находится в зоне калибра	
P3	Закрытый сверху	Разъем калибра смещен вверх, расположен вне зоны калибра	
P4	Закрытый	Разъем калибра смещен вниз, расположен вне зоны калибра	
P5	4-х валковый	Калибр ограничен четырьмя рабочими валками	

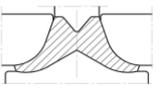
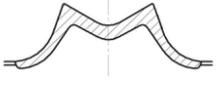
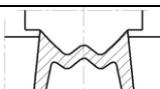
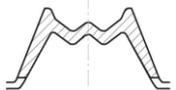
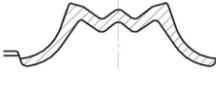
Каждое из сочетаний уровней варьирования признаков С, Д, Л и Р, приведенных в таблицах 1–4, определяет конкретный уникальный тип

швеллерного калибра, а все возможные сочетания уровней – пространство швеллерных калибров, представленной в виде 4-х мерной матрицы швеллерных калибров. Для формального обозначения каждого из типов швеллерных калибров введем понятие "код калибра", под которым будем подразумевать четырехзначное число, составленное из цифровых обозначений уровней признаков калибров, приведенных в таблицах 1–4. Закрепим следующий порядок вхождения уровней характеристик в код калибра: 1-ая позиция – С – вид стенки; 2-ая позиция – Д – вид действительных фланцев; 3-я позиция – Л – вид ложных фланцев; 4-ая позиция – Р – тип закрытия калибра и количество валков образующих калибр. Исходя из данного порядка, код калибра будет иметь вид СДЛР. Например, если калибр имеет код 4312, то, в соответствии с таблицами 1–4, рассматриваемый калибр имеет волнистую стенку, изогнутые действительные и треугольные ложные фланцы, полузакрытого типа.

Учитывая, что характеристики калибров С, Д, Л и Р имеют, соответственно 4, 5, 3 и 5 уровней варьирования, то общее количество комбинаций таких уровней будет $4 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 = 300$ шт. При детальной проработке совместимости разных уровней характеристик С, Д, Л и Р установлено, что ряд их комбинаций или геометрически невозможен, или не применяется на практике в силу очевидной технологической нецелесообразности. Выявлено 94 таких особенных комбинаций. Для остальных 206 реальных сочетаний уровней характеристик составлена таблица, получившая название "Матрица швеллерных калибров". В этой таблице каждой конкретной комбинации уровней характеристик поставлены в соответствие конкретный калибр конкретного вида и его кодовое обозначение, идентифицирующее этот калибр. В связи с обширностью "Матрицы швеллерных калибров", в таблице 5 приведен только ее фрагмент.

Таблица 5 - Матрица швеллерных калибров

№ п.п.	Уровень характеристики калибра				Код калибра	Пример калибра
	С	Д	Л	Р		
1	Прямая	Прямые малым уклоном	Треугольные	Открытый	1111	
22		Прямые увеличенным уклоном	Трапециевидные	Полузакрытый	1222	
44		Изогнутые	Без фланцев	Закрытый	1334	
49	Вырезная	Прямые малым уклоном	Треугольные	Закрытый	2114	

66		Прямые с увеличенным уклоном	Трапециевидные	Открытый	2221	
85		Изогнутые	Трапециевидные	4-х валковый	2325	
92	Изогнутая	Прямые с малым уклоном	Треугольные	Полузакрытый	3112	
115	Изогнутая	Прямые с увеличенным уклоном	Трапециевидные	4-х валковый	3225	
132		Изогнутые	Без фланцев	Полузакрытый	3332	
140	Волнистая	Прямые с малым уклоном	Треугольные	4-х валковый	4115	
159		Прямые с увеличенным уклоном	Трапециевидные	Закрытый	4224	
179		Изогнутые	Без фланцев	Закрытый	4334	

Из анализа и обобщения известных промышленных швеллерных калибровок установлено, что последовательность вхождения блоков в калибровку строго определена, а также выявлена общая для всех калибровок этого класса структура – блок 6 "Блочная структурная схема калибровки". В каждый из блоков структурной схемы швеллерной калибровки могут входить лишь конкретное количество конкретных калибров из сформированного ранее "пространства калибров" (блок 5).

"Графы связей калибров" (блок 7) необходимы для того, чтобы установить все возможные связи между калибрами (последовательности калибров) в каждом отдельном блоке, а также при переходе от калибров одного блока к калибром другого блока.

С помощью "Генератора схем швеллерных калибровок" (блок 8) осуществляется составление отдельных, уникальных схем калибровок из отдельных калибров, взятых из "Пространства калибров". Генератор формирует не только все принципиально возможные схемы калибровок для прокатки конкретного вида профиля, учитывающие требования блоков "Блочная структура швеллерной калибровки" и "Графы связей калибров", но и исключает те схемы, применение которых невозможно на конкретном прокатном стане, в конкретных производственных условиях, т.е. принимая во внимание содержание блока "Исходных данных и ограничений".

Используя "Генератор схем швеллерных калибровок", удается сформировать весьма обширное "Пространство схем швеллерных калибровок (первое пространство оптимизации)" (блок 9). Каждой схеме калибровки этого пространства состоит из индивидуального набора калибров, индивидуального набора значения показателей эффективности калибров, использованных в этой схеме (модуль 4). Показатели эффективности калибров из блока 4 используются в качестве аргументов при формировании многокритериальной целевой функция "Первая целевая функция" (блок 10). Такой подход позволяет приписать каждой виртуальной схеме калибровки из "Пространства схем швеллерных калибровок (первого пространства оптимизации)" (блок 9) свое значение "Первой целевой функции".

Далее, в модуле 11 ("Оптимизация схемы калибровки") осуществляется решение первой оптимизационной задачи, при этом используются уже сформированное "Пространство схем калибровок (первое пространство оптимизации)" и сформулированный "Критерий оптимальности схемы калибровки" (модуль 3). При поиске оптимума "первой целевой функции" могут быть использованы различные процедуры оптимизации, такие как линейное или динамическое программирование, дифференциальный анализ и т.д., в зависимости от конкретной формулировки целевой функции. Результатом решения первой оптимизации является "Оптимальная схема калибровки" (модуль 12).

Заключение

Анализ общей структуры калибровки прокатных валков показал возможность ее описания с позиций и в терминах современной теории систем, как типовую технологическую систему. Используя известные из теории систем принципы, выявлена возможность построения двухэтапной оптимизационной модели, предназначенной для проектирования оптимальных калибровок сортопрокатных валков с использованием одного или двух критериев оптимальности. Разработана общая структурная схема такой модели.

Рассмотрена одна из компонент оптимизационной модели калибровки валков, предназначенной для прокатки профиля швеллера – пространство швеллерных калибров. В качестве измерений (системы координат) пространства калибров использованы очевидные технологические и геометрические характеристики швеллерных калибров: С – вид стенки; Д – вид действительных фланцев; Л – вид ложных фланцев; Р – тип закрытия калибра и количество валков, образующих калибр. Для упрощения оптимизационных процедур, используя метод классификации, проведена дискретизацию пространства калибров, для фиксированных уровнях характеристик швеллерных калибров С, Д, Л и Р, используемых в промышленных швеллерных калибровках. Наполнение пространства калибров проведено в процессе структурного анализа рабочих калибровок прокатных валков, известных из литературы и заводских атласов калибровок. Пространство калибров представлено в виде четырехмерной таблицы, отражающей в структурированном виде полное множество всех возможных рельсовых калибров. Установлено, что для каждого из выбранных

признаков калибров (С, Д, Л и Р) существует ограниченное количество уровней варьирования (4, 5, 3 и 5, соответственно). Геометрически возможно и технологически целесообразно лишь 206 сочетаний уровней характеристик калибров. Каждое сочетание уровней однозначно определяет вид конкретного швеллерного калибра, которому присвоен уникальный четырехзначный код. Разработанная структура положена в основу формирования пространств схем калибров. В программной реализации пространство калибров представлено в виде "базы данных калибров". В дальнейшем эта база данных будет использована для формирования пространства схем калибровок, принципиально пригодных для прокатки данных профилей. Пространство схем калибровок будет являться пространством оптимизации.

Список литературы

- 1 Скороходов А.Н., Полухин П.И., Илюкович Б.М. Оптимизация прокатного производства. М.: Metallurgy, 1983. 432 с.
- 2 Даваасамбуу Ч. Оптимизация технологических режимов прокатки на мелкосортном стане 330 Дарханского металлургического комбината / Ч. Даваасамбуу, В.А. Шилов, Ю.В. Инатович // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2002. № 3. С. 36.
- 3 Хохлов С. А. Оптимизация режимов прокатки сортовых профилей на стане 320/150 / С. А. Хохлов [и др.] // Сталь. 2010. № 12. С. 38–40.
- 4 Шилов В.А. Оптимизация технологических режимов прокатки по критериям механических свойств / В.А. Шилов, А.А. Пономарев // Производство проката. 2013. № 2. С. 14–19.
- 5 Калугина, О. Б. Повышение энергоэффективности процесса сортовой прокатки путем оптимизации формы калибров / О. Б. Калугина, Д. И. Кинзин, А. Б. Моллер // Известия вузов. Черная металлургия. 2013. № 10. С. 10–12
- 6 Кинзин Д. И. Оптимизация формы вытяжных калибров по критерию максимума коэффициента эффективности деформации / Д. И. Кинзин. // Черные металлы. 2014. №6.
- 7 Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Системный подход к оптимизации калибровки сортопрокатных валков. // Производство проката. 2016. № 12. С. 29 – 32.
- 8 Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Классификация калибров для прокатки рельсов. // Производство проката. 2017. № 4. С. 19 – 25.
- 9 Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Блочная структура рельсовых калибровок. // Производство проката. 2017. № 6. С. 16 – 20.
- 10 Е.И. Устинова, А. М. Михайленко, Д.Л. Шварц, Выбор оптимальной схемы калибровки валков для прокатки швеллеров, как первого этапа оптимизации, Механическое оборудование металлургических заводов, 2018, вып 1 (10), 72-82.

- 11 Черезов Г. В., Газетов А. Н., Шилкин М. И. Процессы реструктуризации производственной базы металлургии // Проблемы прогнозирования. 2003. № 5. С. 157–162.
- 12 Буданов И. А. Металлургия в процессе экономического роста в России // Проблемы прогнозирования. 2005. № 2. С. 63–78.
- 13 Садовский В. Н. Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития. М.: Наука, 1980.
- 14 Щедровицкий Г. П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок. М.: Наука, 1981.
- 15 Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы / Пер. с англ. Э. Л. Наппельбаума; под ред. В. С. Емельянова. М.: Мир, 1978.
- 16 Егоров А.И. Основы теории управления :учеб.пособие для вузов. М. :Физматлит, 2007. 504 с.
- 17 Акоф Р. Л., Сасиени М. Основы исследования операций / Пер. с англ. – М.: Мир, 1971. 536 с.
- 18 Илюкович Б.М., Нехаев М.Е., Меркурьев С.Е. Прокатка и калибровка. Том 5 / Под ред. Б.М. Илюковича. – Днепропетровск: "Дніпро-ВАЛ", 2002.
- 19 Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. М.: Теплотехник, 2010. 490 с.
- 20 Бахтинов Б.П., Штернов М.М. Калибровка прокатных валков. М.: Metallurgizdat, 1953. 783 с.
- 21 Бахтинов Б.П., Штернов М.М. Калибровка балок и швеллеров. М.: Metallurgizdat, 1950. 180 с.
- 22 Чекмарев А.П., Мутьев М.С., Машковцев Р.А. Калибровка прокатных валков. М.: Металлургия, 1971. 512 с.
- 23 Пат. 2294246 РФ. Способ прокатки крупных швеллеров в черновых калибрах / С.П. Гришин, Е.Л. Кравченко, В.В. Дорофеев, И.А. Шарапов, В.А. Носов. БИ, 2007. №6.
- 24 Пат. 2288049 РФ. Способ прокатки крупных швеллеров в клетки трио / Е.Л. Кравченко, В.В. Дорофеев, С.В. Степанов, А.Ю. Каретников, И.А. Шарапов. БИ, 2006. №33.
- 25 Пат. 2169050 РФ. Способ производства швеллеров / А.Я Кузовков, В.Н. Калягин, В.В. Бородин, П.К. Сурин, А.Л. Руш, Р.Е. Мардышкин. БИ, 2001.
- 26 Пат. 2350408 РФ. Способ прокатки швеллеров / А.Н. Луценко, В.А. Монида, В.В. Никифоров, Н.В. Башмаченко, А.И. Трайно. БИ, 2009. №9.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕЙКИ
ПРИ ИСПЫТАНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ НА
РАСТЯЖЕНИЕ**

**MATHEMATICAL MODEL OF NECK FORMATION
DURING TENSILE TESTING OF CYLINDRICAL SPECIMEN**

Ерпалов М.В., Нухов Д.Ш., Павлов Д.А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия,

m.v.erpalov@urfu.ru

Erpalov M.V., Nukhov D.Sh., Pavlov D.A.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia,

m.v.erpalov@urfu.ru

Аннотация: Работа посвящена вопросам испытания цилиндрических образцов на растяжение с целью определения истинной кривой упрочнения. Показано, что ключом к обработке экспериментальной информации являются значения диаметра образца в минимальном сечении шейки и радиус ее кривизны. При этом отсутствуют методы непрерывного определения радиуса кривизны шейки в ходе испытаний. Для разработки подобного метода в статье предложено универсальное уравнение поверхности шейки, позволяющее с высокой точностью аппроксимировать ее форму независимо от характера кривой упрочнения. На основе этого уравнения сконструировано выражение, численное решение которого позволяет прогнозировать форму шейки и определять радиус ее кривизны без непосредственного измерения в ходе испытания.

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания №11.9538.2017/8.9 и при финансовой поддержке постановления №211 Правительства Российской Федерации, контракт №02.А03.21.0006.

Ключевые слова: растяжение, образец, шейка, радиус кривизны, модель.

Abstract: This work is devoted to the tensile testing of cylindrical specimens in order to determine the true hardening curve. It is shown that the key to the processing of experimental data are the values of the sample diameter in the minimum section of the neck and the radius of its curvature. There are no methods of continuous determination of the neck radius curvature during the test. To develop such a method, the article proposes a universal equation of the neck surface, which allows to approximate its shape with high accuracy regardless of the nature of the hardening curve. On a basis of this equation, the expression is constructed, the numerical solution of which allows to predict the shape of the neck and to determine the radius of its curvature without direct measurement during the test.

The study was made within the base part of state job in the field of scientific activity №11.9538.2017/8.9 and was supported by Act 211 Government of the Russian Federation, contract №02.A03.21.0006.

Key words: tensile test, specimen, neck, radius of curvature, model.

Введение

Испытание образцов на растяжение получило крайне широкое распространение для оценки уровня механических свойств различных металлов и сплавов [1, 2]. Это обусловлено простотой проведения испытания, а также схемой одноосного напряженного состояния. В этом случае расчет истинных напряжений, действующих в образце, не представляет сложности:

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (1)$$

где N – сила растяжения, A – текущая площадь поперечного сечения образца.

Однако испытания на растяжения ограничены малыми значениями степени деформации ввиду образования шейки – области локализации деформации, для которой характерно объемное напряженное состояние [3]. Определение истинных напряжений в данном случае является непростой задачей для исследователя. Тем не менее, построение кривой упрочнения материала на стадии сосредоточенной деформации в шейке становится возможным, если определить истинные значения напряжений и деформации в каждый момент времени. Для этого обычно полагают, что в минимальном сечении шейки образца деформация распределена однородно [4, 5] и может быть рассчитана по формуле:

$$\varepsilon = 2 \ln \frac{d_0}{d}, \quad (2)$$

где d_0 и d – соответственно начальный и текущий диаметр образца. В свою очередь неоднородность распределения напряжений в шейке учитывают с помощью поправочного коэффициента K :

$$\sigma = \frac{N}{A \cdot K}. \quad (3)$$

Значения поправочных коэффициентов получены аналитически в работах [4-6]:

– согласно П.У. Бриджмену:

$$K = \left(1 + 4 \frac{R}{d}\right) \cdot \ln \left(1 + \frac{1}{4} \frac{d}{R}\right). \quad (4)$$

– согласно Н.Н. Давиденкову и Н.И. Спиридоновой:

$$K = 1 + \frac{1}{8} \frac{d}{R}. \quad (5)$$

– согласно А.А. Остемину:

$$K = \left(1 + 2 \frac{R}{d}\right) \cdot \ln \left(1 + \frac{1}{2} \frac{d}{R}\right). \quad (6)$$

В выражения (4) – (6) входит радиус кривизны R шейки в минимальном сечении образца, являющийся ключом к обработке экспериментальных данных на растяжение с целью построения кривых упрочнения. В работах [4, 7] предложены способы непосредственного измерения радиуса кривизны, включая получение сильно увеличенного изображения шейки на проекторе или цифровой камере, а также перемещение длинного конуса с малой конусностью поперек образца. Однако эти методы сложны для восстановления кривой упрочнения материала в связи с тем, что значения радиуса кривизны шейки являются в общем случае переменными. В работе [4] предложено использовать эмпирическую зависимость отношения радиуса образца в минимальном сечении шейки к радиусу ее кривизны r/R от степени деформации ε , полученную для некоторых сталей, бронзы и латуни. Однако данный подход не учитывает того факта, что для некоторых материалов значение степени деформации в момент начала локализации шейки ε_1 может быть существенно различным.

Принципиально иной подход к определению радиуса кривизны шейки основан на аналитическом описании ее профиля в виде усеченного конуса, гиперблоида, параболоида, сферической полубочки, с помощью экспоненциальных и тригонометрических функций [8, 9]. В этом случае радиус кривизны шейки может быть определен общим уравнением:

$$R = \frac{(1 + (y'(0))^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''(0)|}, \quad (7)$$

где $y'(0)$ и $y''(0)$ – соответственно первая и вторая производные функции, описывающей профиль шейки, взятые в минимальном сечении образца.

Следует отметить, что аналитическое описание профиля шейки осуществляется лишь для конечной стадии деформации, например, в момент разрушения образца. Поэтому метод аналитического описания пригоден для определения только максимальных истинных напряжений.

Обзор известных работ, посвященных вопросам испытания цилиндрических образцов на кручение, свидетельствует об отсутствии методов восстановления истинной кривой упрочнения способом растяжения, начиная с момента начала локализации деформации в шейке и заканчивая разрушением образца. Данная работа направлена на установление наиболее универсального уравнения для аналитического описания формы шейки, а также разработку математической модели ее роста.

Конечно-элементное моделирование

Для решения поставленных задач в работе был использован метод конечных элементов, реализованный в программе Deform-2D. В отличие от физического моделирования при решении задач на ЭВМ были исключены из рассмотрения факторы, не являющиеся предметом исследования, такие как

структура материала, точность изготовления образцов и пр. Кроме того, компьютерное моделирование позволяет осуществлять измерения напряжений, деформаций, перемещений, усилия растяжения, а также координат частиц металла с высокой степенью точности, что является критически важным при установлении функции для описания формы шейки и разработки математической модели изменения ее размеров.

Для решения задач компьютерного моделирования были созданы модели захватов испытательной установки и образцов в соответствии с Российским стандартом ГОСТ 1497. Диаметр рабочей части образца составил $d_0 = 10$ мм при длине $l_0 = 50$ мм. Скорость перемещения верхнего и нижнего захватов испытательной установки были заданы равными 0,5 мм/с при минимальном размере элемента сетки 0,15 мм. Для того, чтобы гарантировать локализацию деформации при испытании строго в середине рабочей части, образец был изготовлен с искусственным дефектом в виде выточки по радиусу. Глубина дефекта составила 0,02 мм или 0,4% от исходного диаметра рабочей части образца.

Моделирование выполнено для тестовых материалов с существенно различным характером кривых упрочнения (рисунок 1):

$$\sigma^{m1} = 100 + 300\varepsilon^{0,25}; \quad (8)$$

$$\sigma^{m2} = 450 + 250\varepsilon^{0,5}; \quad (9)$$

$$\sigma^{m3} = 100 + 350\varepsilon. \quad (10)$$

Температурные условия процесса испытания были сформулированы изотермическими при комнатной температуре образцов. Исходная модель процесса испытания, а также стадии начала и окончания формирования шейки приведены на рисунке 2. При моделировании растяжения образцов в программе Deform-2D степень деформации была ограничена значением $\varepsilon_2 = 2$.

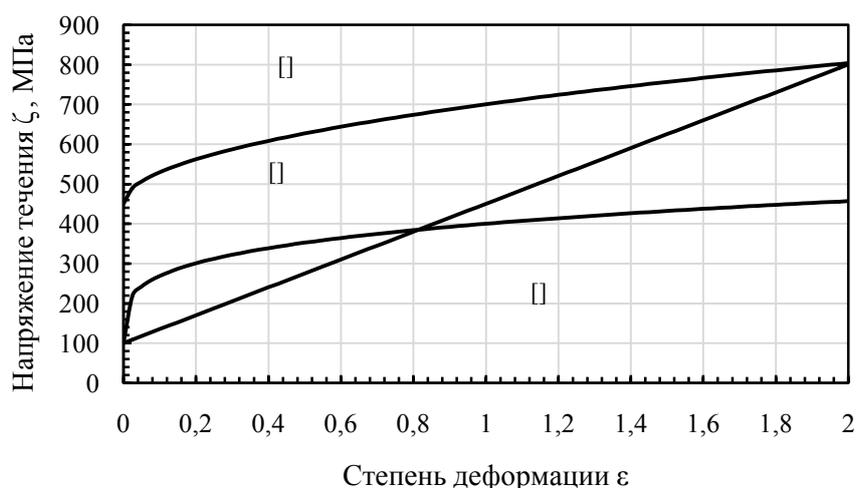
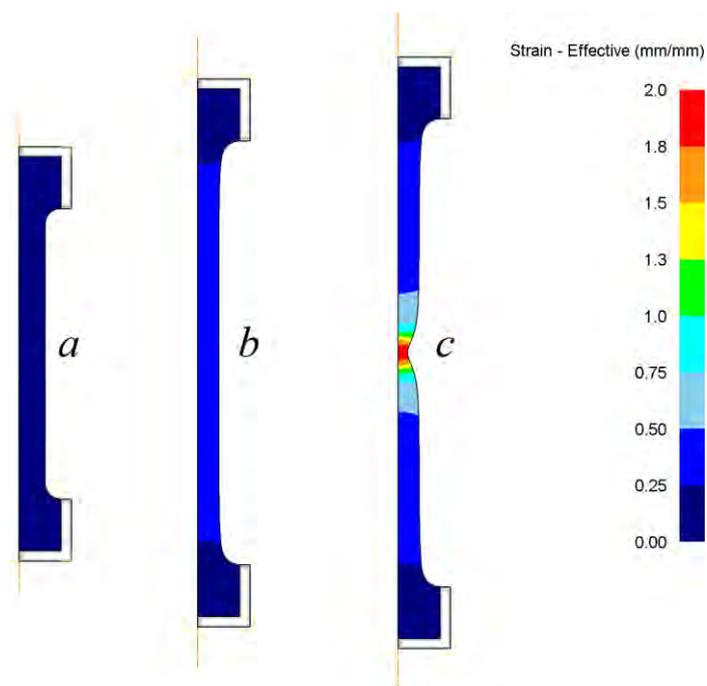


Рисунок 1 – Кривые упрочнения тестовых материалов



a – в начальный момент времени; *b* – в начале локализации деформации (ϵ_1); *c* – в конце моделирования (ϵ_2)

Рисунок 2 – Модель испытания

Аналитическое описание формы шейки

В ходе испытания образцов на растяжение вначале наблюдается однородная деформация по всей длине образца. При этом значение диаметра уменьшается от начального d_0 до некоторого значения d_1 , определяемого выражением:

$$d_1 = d_0 \sqrt{\frac{l_0}{l_0 + \Delta l_1}}, \quad (11)$$

где Δl_1 – удлинение образца, соответствующее максимальному значению растягивающей силы N_{\max} . Для тестовых материалов m1, m2 и m3 значения диаметров d_1 равны 9,28; 9,75 и 7,11 мм соответственно. Далее наблюдается начало локализации деформации и формирование шейки. При этом значение диаметра d в минимальном сечении образца постепенно уменьшается до величины d_2 , соответствующей окончанию испытания. Для тестовых материалов m1, m2 и m3 значения диаметров d_2 равны 3,84; 3,68 и 3,73 мм соответственно.

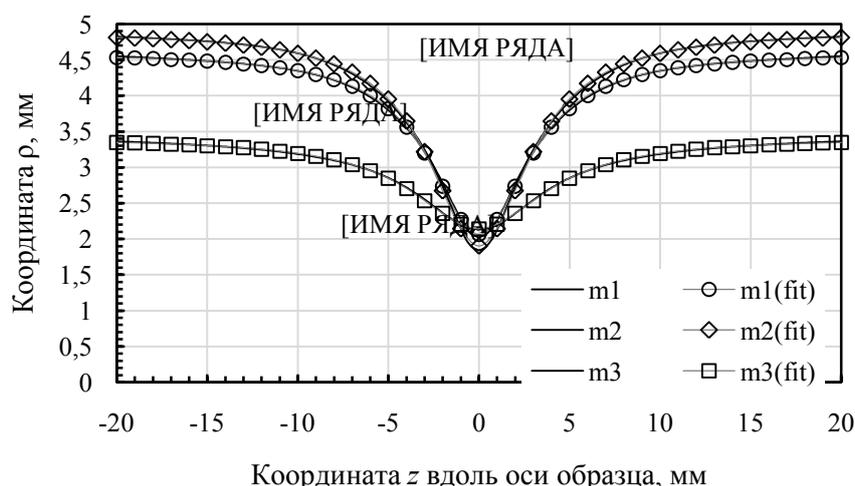


Рисунок 3 – Форма шеек на образцах в конце испытания

Образующие шеек, сформировавшихся на образцах из тестовых материалов в конце испытания, показаны на рисунок 3 сплошными линиями. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что в ходе испытания отсутствует четко выраженная область локализации деформации. Согласно рис. 3 длина шейки занимает всю длину рабочей части образца, при этом значения радиусов сечений по мере удаления от минимального сечения асимптотически приближаются к значению $d_1/2$. Исходя из этого можно сформулировать уравнение вместе с граничными условиями для описания образующей шейки:

$$\rho = \frac{d_1}{2} - \frac{d_1 - d}{2} \frac{1}{f(z)}, \quad (12)$$

где $f(z)$ – функция, характеризующая профиль шейки (крутизну боковых поверхностей), удовлетворяющая граничным условиям:

$$\left\{ f(0) = 1; f\left(\pm \frac{l_0}{2}\right) \rightarrow +\infty. \right. \quad (13)$$

Расположение функции $f(z)$ в знаменателе позволяет повысить точность описания формы шейки благодаря возможности ее неограниченного возрастания. В противном случае функция $f(z)$ определена в узкой области $(0; 1]$.

По результатам испытания для каждого из трех тестовых материалов были определены значения функции $f(z)$, характеризующие крутизну боковых поверхностей шейки в конце испытания (рис. 4):

$$f(z) = \frac{d_1 - d_2}{d_1 - \rho(z)}. \quad (14)$$

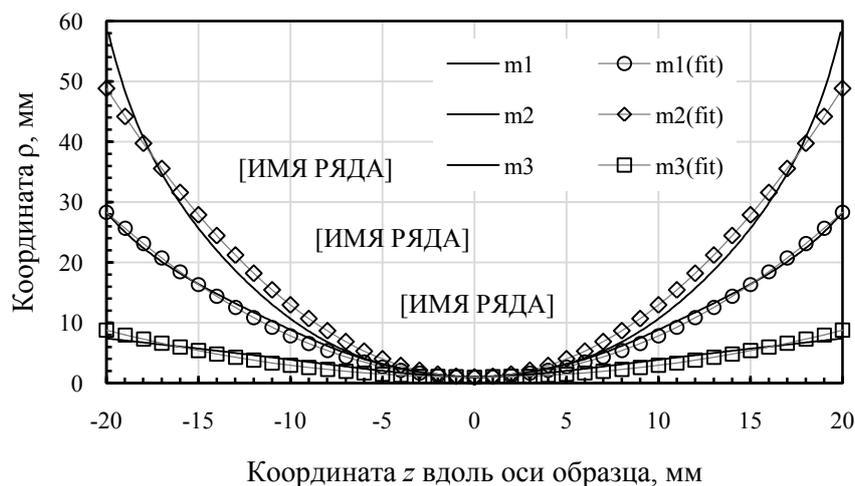


Рисунок 4 – Значения функции $f(z)$ для тестовых материалов в конце испытания

В работе значения функций $f(z)$ были аппроксимированы методом наименьших квадратов выражениями вида $\cosh(cz)$, e^{cz^2} , $e^{c|z|}$, $1+z^n/c$ и $1+z^2/c$, где c и n – числовые параметры. Наилучшее описание опытных данных достигается при использовании степенной функции $1+z^n/c$ при $n=1,24-2,57$. Однако ее практическое применение ограничено ввиду наличия двух независимых параметров c и n , описывающих форму шейки.

В дальнейшей работе форму шейки характеризовали степенной функцией $1+z^2/c$ (рисунок 4, fit). Уравнение (12) для описания образующей шейки в этом случае принимает вид:

$$\rho = \frac{d_1}{2} - \frac{d_1 - d}{2 \left(1 + \frac{z^2}{c} \right)}. \quad (15)$$

На рис. 3 приведены результаты аппроксимации образующих шеек для тестовых материалов m1, m2 и m3 уравнением (15). Соответствующие значения параметров c были определены равными $c_1 = 11,14$; $c_2 = 11,54$ и $c_3 = 20,03$. Отклонение фактических и расчетных значений радиусов образца ρ друг от друга не превысило 2%. Таким образом, уравнение вида (15) можно считать универсальным и достаточно точным для описания формы шеек образцов.

Модель роста шейки

По результатам испытаний на растяжение определяют удлинение образца Δl_1 , соответствующее максимальному значению растягивающей силы, значение диаметра d_1 , а в ходе испытаний непрерывно записывают текущие значения абсолютного удлинения образца Δl . При этом для восстановления кривой упрочнения с учетом локализации деформации в шейке необходимо определить текущие значения диаметра образца в минимальном сечении шейки d , а также значения радиуса кривизны шейки R . Аналитическое описание формы шейки уравнением (15) позволяет избавиться от необходимости определения радиуса

кривизны шейки в минимальном сечении. Для этого рассмотрим произвольную стадию формирования шейки (рисунок 5).

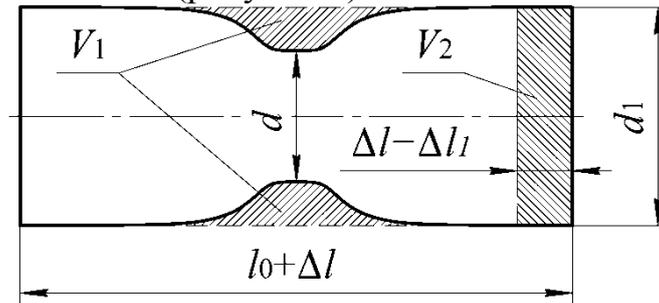


Рисунок 5 – Расчетная схема для построения модели роста шейки

Ранее было отмечено, что шейка формируется по всей длине образца, значение которой в некоторый момент времени равно $l_0 + \Delta l$. При этом удлинение образца происходит за счет уменьшения диаметра шейки d . Зная аналитическое описание формы шейки (15), можно определить объем металла V_1 , равный объему V_2 , смещенному в сторону удлинения образца захватами испытательной установки. Величина суммарного смещения захватов составляет $\Delta l - \Delta l_1$. Запишем равенство объемов в следующем виде:

$$\pi \frac{d_1^2}{4} (l_0 + \Delta l) - \pi \int_{-\frac{l_0 + \Delta l}{2}}^{\frac{l_0 + \Delta l}{2}} \left(\frac{d_1}{2} - \frac{d_1 - d}{2 \left(1 + \frac{z^2}{c} \right)} \right)^2 dz = \pi \frac{d_1^2}{4} (\Delta l - \Delta l_1). \quad (16)$$

Вычислив интеграл в (16) и упростив полученное выражение, получим уравнение вида:

$$\frac{(l_0 + \Delta l) (2c(3d_1^2 - 2d_1d + d^2) + d_1^2(l_0 + \Delta l)^2)}{4c + (l_0 + \Delta l)^2} - (l_0 + \Delta l_1) - \sqrt{c}(d_1 - d)(3d_1 + d) \arctan \frac{l_0 + \Delta l}{2\sqrt{c}} = 0. \quad (17)$$

Зная диаметр образца в минимальном сечении шейки в каждый момент времени, радиус кривизны шейки может быть определен в соответствии с (7) следующей зависимостью:

$$R = \frac{c}{d_1 - d}, \quad (18)$$

где c – числовой параметр, соответствующий текущему значению диаметра d , абсолютному удлинению образца Δl и определяемый из уравнения (17) численными методами. Определив из уравнения (17) значение параметра c , возможно не только рассчитать аналитически значение радиуса кривизны шейки в любой момент испытания, но и спрогнозировать профиль шейки.

В работе рассчитанные согласно (17) и (15) профили шеек в произвольный момент времени испытания были использованы для оценки адекватности предлагаемой математической модели. По результатам

компьютерного моделирования процесса испытания цилиндрических образцов из тестовых материалов на растяжение были установлены значения абсолютного удлинения образцов, соответствующие стадии формирования шейки. Для образцов из материалов m1, m2 и m3 локализация деформации наблюдалась при значениях абсолютного удлинения $\Delta l = 8-17,2$ мм; $\Delta l = 2,6-11,7$ мм и $\Delta l = 49-60,9$ мм соответственно. Для трех значений удлинения каждого образца в указанных диапазонах, были рассчитаны значения параметра c , характеризующего форму шейки, и построены соответствующие графики образующих шеек (рисунки 6-8). Расчетные значения параметра c и соответствующие им значения абсолютного удлинения образцов приведены в таблица 1.

Таблица 1 – Расчетные данные при прогнозировании формы шеек, мм

Материал	Диаметр d_1	Стадии формирования шейки								
		начальная			промежуточная			конечная		
		Δl	d	$c, \text{мм}^2$	Δl	d	$c, \text{мм}^2$	Δl	d	$c, \text{мм}^2$
m1	9,28	11	8,52	49,784	14	6,79	17,642	17	4,04	10,107
m2	9,75	6	8,50	24,428	9	6,39	12,446	11,7	3,68	8,813
m3	7,11	54	6,52	130,302	57	5,73	58,388	60	4,26	27,039

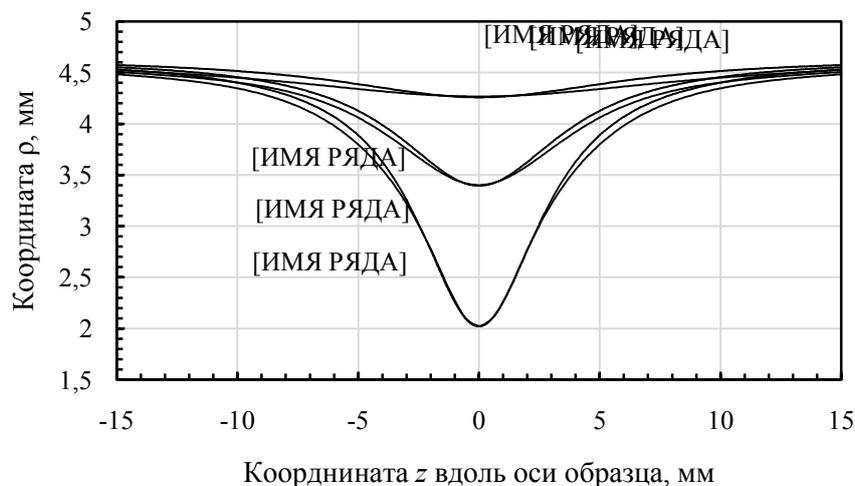


Рисунок 6 – Прогнозирование формы шейки, материал m1: 1, 3, 5 – результаты компьютерного моделирования; 2, 4, 6 – прогнозируемая форма шейки

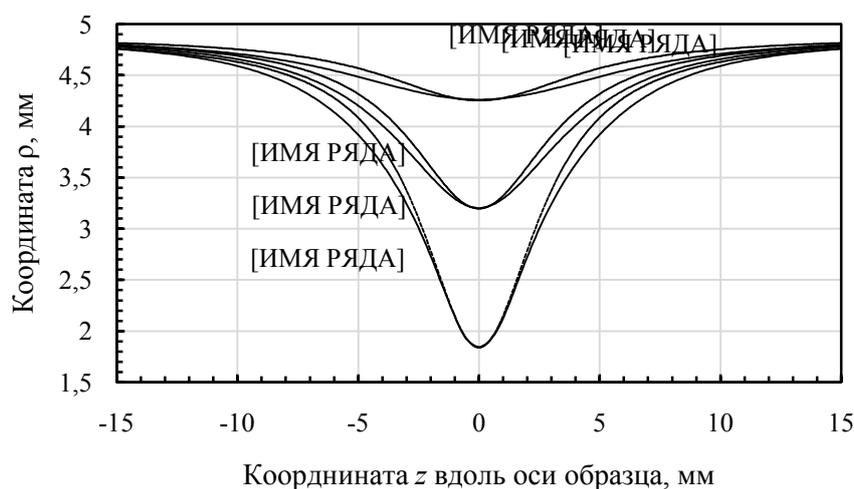


Рисунок 7 – Прогнозирование формы шейки, материал m2: 1, 3, 5 – результаты компьютерного моделирования; 2, 4, 6 – прогнозируемая форма шейки

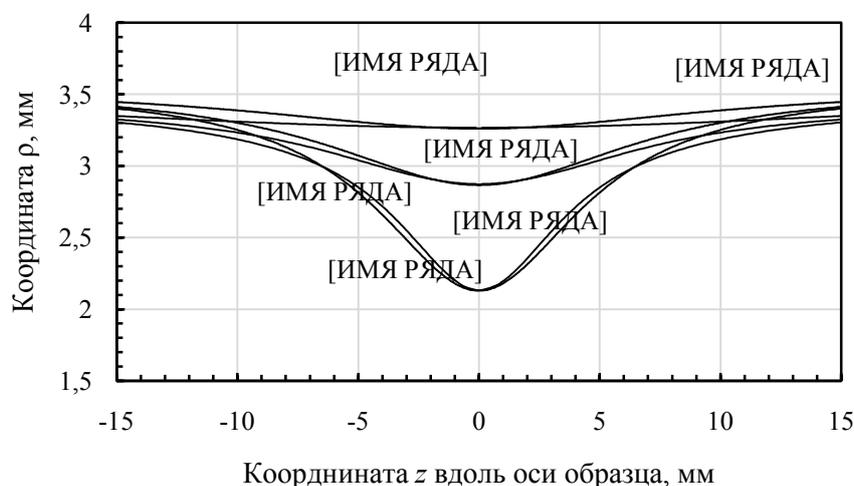


Рисунок 8 – Прогнозирование формы шейки, материал m2: 1, 3, 5 – результаты компьютерного моделирования; 2, 4, 6 – прогнозируемая форма шейки

Выводы

Близкое совпадение фактических (по результатам МКЭ-моделирования) и прогнозируемых форм шеек (рис. 6-8) свидетельствует о том, что предлагаемая математическая модель роста шейки может быть использована для практического применения. Максимальная ошибка прогнозирования радиуса образца в любом поперечном сечении образца составила 2,4% – для материала m1; 4,68% – для m2 и 3,07% – для материала m3. При этом положительные результаты применения математической модели получены для материалов, имеющих существенно отличающийся характер кривой упрочнения. Однако следует отметить, что в работе не были рассмотрены эффекты скоростного упрочнения или разупрочнения материалов, а также не были учтены эффекты деформационного разогрева, что несколько сужает область применения предлагаемой математической модели.

Список литературы

- 1 Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. – М.: Metallurgy, 1976. – 488 с.
- 2 Хензель А., Шпиттель Т. Расчет энергосиловых параметров в процессах обработки металлов давлением. – М.: Metallurgy, 1982. – 360 с.
- 3 G.S. Burkhanov, V.S. Yusupov, A.E. Shelest [et al.], Plastic deformation nonuniformity and localization during metal forming, Russian Metallurgy (Metally). 7 (2012) 592–598.
- 4 Бриджмен П. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – 444 с.
- 5 Давиденков Н.Н., Спиридонова Н.Н. Анализ напряженного состояния в шейке растянутого образца // Завод. лаб., 1945. – №6. – С. 583-593.
- 6 Остсемин А.А. К анализу напряженного состояния в эллиптической шейке образца при растяжении // Проблемы прочности, 2009. – №4. – С. 19-28.
- 7 A. Sancho, M.J. Cox, T. Cartwright [et al.], An experimental methodology to characterize post-necking behavior and quantify ductile damage accumulation in isotropic materials, Int. J. of Solids and Structures. 176-177 (2019) 191-206.
- 8 Ерманок М.З., Соболев Ю.П., Гельман А.А. Прессование титановых сплавов. – М.: Metallurgy, 1979. – 264 с.
- 9 Воробьев Е.В. Особенности шейкообразования при низкотемпературной прерывистой текучести металлов. Сообщение 1. Осесимметричная деформация // Проблемы прочности, 2008. – №3. – С. 92-99.

УДК 622.271

ВЫБОР ВАРИАНТА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ

THE SELECTION OF THE EQUIPMENT COMPLEX OPTION FOR FORMING TEMPORARY DOMESTIC DUMPS

Кузьмин С.Л.¹, Моисеев В.А.²

¹*Руднеский индустриальный институт, Рудный, Казахстан;*

²*АО ССППО, г. Рудный, Казахстан*

decan_2008@mail.ru

Kuzmin S.L.¹, Moiseev V.A.²

¹*Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan;*

²*АО ССППО, Rudny, Kazakhstan*

decan_2008@mail.ru

Аннотация: Из анализа современной технологии ведения открытых горных работ на крупных карьерах, многие из которых находятся на этапах доработки, прослеживается тенденция постоянного усложнения

горнотехнических условий их эксплуатации. Одним из методов решения проблем глубоких карьеров является применение на них технологии временного внутреннего отвалообразования. В статье произведен сравнительный анализ и выбор оптимального технологического комплекса «экскаватор-самосвал» для формирования и ликвидации временных внутренних отвалов.

Ключевые слова: открытые горные работы, временные внутренние отвалы, экскаватор, автомобильный транспорт, производительность комплекса.

Abstract: From the analysis of modern technology for conducting open mining in large pits, many of which are at the stages of completion, a tendency is observed to constantly complicate the mining conditions of their operation. One of the methods for solving the problems of deep pits is the use of temporary internal dumping technology on it. The article provides a comparative analysis and selection of the optimal technological complex –excavator- truck” for the formation and removal of temporary internal dumps.

Key words: open mining, temporary internal dumps, excavator, truck transport, complex productivity.

В настоящее время все большее применение находит технология разработки крутопадающих месторождений с применением внутреннего отвалообразования. Наиболее перспективной является технология внутреннего отвалообразования с формированием временного внутреннего отвала до достижения карьером конечной глубины [1]. Эта технология позволит в процессе эксплуатации больших и средних карьеров более гибко перераспределять оперативные объемы вскрыши с возможностью относительно быстрого возврата в работу останавливаемой части борта и возвращение карьера к нормальному режиму эксплуатации. При этом производится подготовка готовых к выемке запасов руды с извлечением породы во временный внутренний отвал с минимальным перемещением. После стабилизации цены временные объемы перевозятся во внешние отвалы.

Эта идея позволит снизить себестоимость добычи руды на период низкой цены на продукцию за счет снижения затрат на перевозку вскрыши и временно отказаться от организации громоздкого вскрышного перегрузочного склада в стесненной рабочей зоне. Однако, основной недостаток состоит в том, что вскрыша подвергается двойной перевалке и, по сути, двойному отвалообразованию – сначала бульдозерному, затем экскаваторному. Поэтому необходимо провести исследования и выявить оптимальный комплекс экскаваторно-автомобильного оборудования для организации временных внутренних отвалов в рабочей зоне карьера [2].

Для выбора оптимального технологического комплекса «экскаватор-самосвал» (или ЭАК – экскаваторно-автомобильного комплекса) вводятся ограничивающие параметры по показателям горнотехнических условий работы:

1. Количество циклов при загрузке карьерного самосвала;

2. Количество экскаваторов на добычных и вскрышных работах

При выборе комплекса максимально учитывалась общемировая практика загрузки карьерного самосвала в 3...5 циклов, а так же рекомендации производителей российских карьерных экскаваторов, которые рекомендуют, как оптимальный, диапазон в 4...6 циклов [3].

При выборе экскаватора важным ограничительным критерием был показатель максимальной высоты черпания. Экскаваторы, рассматриваемые в сравнительном анализе, должны обеспечивать отработку уступов высотой 15 м.

Также во внимание было принято и учитывалось то, что экскаватор должен обеспечивать свободную загрузку карьерного самосвала с учётом основных габаритных параметров. А именно, максимальная высота разгрузки ковша экскаватора больше максимальной погрузочной высоты карьерного самосвала.

В линейке карьерных экскаваторов рассматривались современные и перспективные модели с электрическим приводом и вместимостью ковша от 11 до 34 м³, имеющие сертификаты соответствия (техническим регламентам) и разрешение на применение, производимые как российскими, так и зарубежными предприятиями. Модели экскаваторов по производителям, рассмотренные в сравнительном анализе, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Модели экскаваторов, рассмотренные в сравнительном анализе

Марка	ИЗ-КАРТЭКС	УРАЛМАШ	Caterpillar	LIEBHERR	KOMATSU	HITACHI
Модель	ЭКГ-12К	ЭКГ-12А ЭКГ-20 ЭКГ-35	6050AC	R9250E R9400E	PC4000E PC5500E	EX3600E EX5600E
	ЭКГ-15М		FS			
	ЭКГ-20К		6060AC			
	ЭКГ-20КМ		FS			

В линейке карьерных самосвалов рассматривались машины на жёсткой раме с колёсной формулой 4×2, имеющие сертификаты соответствия (техническим регламентам) и разрешение на применение, представленные на мировом рынке горнодобывающего оборудования на момент проектирования, входящие в классы грузоподъёмности от 90 до 360 тонн таких мировых производителей, как: БЕЛАЗ, KOMATSU, CATERPILLAR, HITACHI и LIEBHERR.

Модели карьерных самосвалов по производителям, рассмотренные в сравнительном анализе, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Модели карьерных самосвалов, рассмотренные в сравнительном анализе

Марка	БЕЛАЗ	CATERPILLAR	KOMATSU	HITACHI	LIEBHERR	Terex
Модель	75570	777E	HD785-7	EH1700-3	T 264	TR100
	75139	785D	HD1500-8	EH3500AC-3	T 284	
	75170	789D	730E-8	EH4000AC-3		
	75180	793D	830E-1AC	EH5000AC-3		
	75307	794 AC	860E-1K			
	75313	797F	930E-4			
	75320		980E-4			
	75605					

Варианты сравнения экскаваторно-автомобильных комплексов

Для сравнения вариантов были приняты следующие исходные данные:

- Дальность транспортирования скальной вскрыши определена в соответствии текущим положением горных работ;
- Средняя плотность скальных вскрышных пород в целике – 2,6 т/м³;
- Режим работы – 350 рабочих дней в году, 2 смены по 12 часов.

В расчётах были учтены технологические простои оборудования, связанные с проведение массовых взрывов (4 часа в день проведения взрыва).

Для выбора наиболее оптимальной пары «экскаватор-самосвал» были проведены расчёты по вариантам. Матрица вариантов сравнения приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Варианты сравнения ЭАК

Канатный	-	-	ЭКГ-20 (УРАЛ МАШ)	ЭКГ-20К (ИЗ-КАРТ ЭКС)	-	-	ЭКГ-20КМ (ИЗ-КАРТ ЭКС)	ЭКГ-35 (УРАЛ МАШ)	
Гидравлический (Прямая лопата)	НИТ АСН I EX3 600E	LIEB HER R R940 0E KOM ATS U PC40 00E	-	-	CATER PILLAR 6050 AC FS	НИТА ЧИ EX56 00E KOM ATS U PC55 00E	-	CATER PILLAR 6060 AC FS	
	Ковш, м ³ \ Грузопод ъёмность, т	21,0	22,0	22,2	24,0	26,0	29,0	30,0	34,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
БелАЗ 75139"	136,0	V	V	V	V	V	V	V	-
Komatsu HD1500-8	141,7	V	V	V	V	V	V	V	-
Caterpillar 785D	136,0	V	V	V	V	V	V	V	-
БелАЗ 75170	160,0	V	V	V	V	V	V	V	V
БелАЗ 75180	180,0	V	V	V	V	V	V	V	V
Caterpillar 789D	181,4	V	V	V	V	V	V	V	V
Komatsu 730E-8	181,0	V	V	V	V	V	V	V	V

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hitachi EH3500AC -3	181,0	V	V	V	V	V	V	V	V
БелАЗ 75307	220,0	V	V	V	V	V	V	V	V
Komatsu 830E-1AC	221,6	V	V	V	V	V	V	V	V
Caterpillar 793D	218,0	V	V	V	V	V	V	V	V
Hitachi EH4000AC -3	221,0	V	V	V	V	V	V	V	V
Liebherr T 264	228,0	V	V	V	V	V	V	V	V
БелАЗ 75313	240,0	V	V	V	V	V	V	V	V
Komatsu 860E-1K	254,0	V	V	V	V	V	V	V	V
БелАЗ 75320	290,0	-	V	V	V	V	V	V	V
Komatsu 930E-4	291,8	-	-	-	V	V	V	V	V
Caterpillar 794 AC	291,0	-	-	-	V	V	V	V	V
Hitachi EH5000AC -3	296,0	-	-	-	V	V	V	V	V

Необходимо обосновать производительность комплекса оборудования в одном из основных технологических процессов – выемочно-погрузочных работах – и рассчитать численность парка оборудования, занятого в этом процессе.

Для расчёта производительности комплекса горного оборудования необходимо предварительно определить производительность головной машины комплекса.

Обычно в качестве такой машины принимается выемочное оборудование. При этом необходимо различать следующие виды производительности выемочного оборудования:

а) Паспортная производительность одной выемочной машины $Q_{п}$, м³/ч, определяется по формуле

$$Q_{п} = \frac{3600E}{T_{ц}}, \quad (1)$$

где E – объем ковша выемочного оборудования, м^3 ;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла выемочного оборудования, с.

б) Техническая производительность выемочной машины Q_T , $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле

$$Q_T = Q_{\text{п}} K_{\text{э}} K_{\text{т.в}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{э}}$ – коэффициент влияния экскавируемости горных пород на производительность выемочного оборудования, ед.;

$K_{\text{т.в}}$ – коэффициент влияния технологии выемки, ед.

Необходимо принять для данной модели выемочного оборудования значение среднего куска взорванной горной массы в развале $d_{\text{ср}}$ и из [4] принять значение коэффициента влияния технологии выемки $K_{\text{т.в}}$.

Коэффициент экскавируемости горных пород $K_{\text{э}}$ определяется по формуле

$$K_{\text{э}} = \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{р}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша, ед.;

$K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления породы в ковше.

Для принятого значения $d_{\text{ср}}$ принять из [4] значения $K_{\text{р}}$ и $K_{\text{н}}$.

в) Эффективная производительность выемочной машины $Q_{\text{э}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле

$$Q_{\text{эф}} = Q_T K_{\text{пот}} K_{\text{в}} K_{\text{тр}}, \quad (4)$$

где $K_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери породы при экскавации [5], $K_{\text{пот}} = 0,98-0,99$;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент управления, зависящий от квалификации машиниста выемочного оборудования [5], $K_{\text{в}} = 0,92-0,98$;

$K_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий минимально необходимые простои по транспортным условиям [5] (при железнодорожном транспорте $K_{\text{тр}} = 0,6-0,7$; при автомобильном транспорте $K_{\text{тр}} = 0,8-0,9$).

Необходимо сначала определить часовую производительность комплекса оборудования. Считается, что она должна определяться на основе значения эффективной производительности лимитирующего звена комплекса (обычно это головная машина комплекса) с учётом потери производительности при взаимодействии смежных звеньев комплекса оборудования.

а) Часовая производительность комплекса оборудования $Q_{\text{ч.к}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле

$$Q_{ч.к} = Q_{эф} K_C, \quad (5)$$

где K_C – коэффициент, учитывающий снижение производительности комплекса при взаимодействии смежных звеньев механизации (из [5] следует значение 0,8-0,9).

б) Сменная производительность комплекса оборудования $Q_{с.к}$, м³/см, определяется по формуле

$$Q_{с.к} = Q_{ч.к} (T_C - T_{р.п}) K_{к.л} K_{г.к}, \quad (6)$$

где T_C – продолжительность смены, час;

$T_{р.п}$ – продолжительность регламентированных перерывов, согласно [5] при длительности смены 8 часов $T_{р.п} = 1,5$ ч;

$K_{к.л}$ – коэффициент, учитывающий снижение производительности в зимнее время, согласно [6] значение коэффициента в зависимости от температурной зоны принимается в диапазоне 0,8-0,95;

$K_{г.к}$ – коэффициент готовности комплекса оборудования.

Значение коэффициента готовности комплекса оборудования при параллельной структуре транспортного звена определяется коэффициентом готовности головной машины комплекса, а в случае однолинейной (последовательной) структуры транспортного звена необходимо учитывать коэффициент готовности транспорта.

По рекомендации [6] следует принять следующие значения коэффициента готовности горного оборудования: для мехлопат – 0,9-0,94; для автосамосвалов – 0,85-0,91; для локомотивосоставов – 0,88-0,94.

При последовательной структуре транспортного звена коэффициент готовности комплекса оборудования следует рассчитывать по формуле

$$K_{г.к} = K_{г.в} K_{г.т}, \quad (7)$$

где $K_{г.в}$, $K_{г.т}$ – соответственно коэффициенты готовности выемочного оборудования и транспорта.

в) Годовая производительность комплекса оборудования $Q_{г.к}$, м³/г, определяется по формуле

$$Q_{г.к} = Q_{с.к} N_C, \quad (8)$$

где N_C – число смен за год.

По рекомендациям норм технологического проектирования для средней полосы число рабочих дней в году следует принимать равным 260.

Необходимо рассчитать число комплексов оборудования с учётом производительности карьера по полезному ископаемому, вскрыше и установленной годовой производительности комплексов оборудования.

Сменная техническая производительность $Q_{см.т}$, т, определяется по формуле

$$Q_{см.т} = qk_{гр} \frac{T_{см}}{T_p}, \quad (9)$$

где q – грузоподъемность автосамосвала, автопоезда, т;

$k_{гр}$ – коэффициент использования грузоподъемности автомобиля, ед.;

$T_{см}$ – длительность смены, ч;

Эксплуатационная производительность $Q_{см.э}$, т, определяется по формуле

$$Q_{см.э} = Q_{см.т} k_b, \quad (10)$$

где k_b – коэффициент использования сменного времени, равный отношению времени полезной работы к длительности смены ($k_b = 0,75 \div 0,85$) [6].

$$k_b = \frac{T_{см} - T_{пр}}{T_{см}} \quad (11)$$

Время рейса автосамосвала T_p , мин., определяется по формуле

$$T_p = t_{м.п} + t_{пог} + t_{м.р} + t_p + T_{дв}, \quad (12)$$

где $t_{м.п}$ – время на маневры перед погрузкой автомобиля, мин.;

$t_{пог}$ – время на погрузку автомобиля, мин.;

$t_{м.р}$ – время на маневры перед разгрузкой автомобиля, мин.;

t_p – время на разгрузку автомобиля, мин.;

$T_{дв}$ – время на движение автомобиля, мин.

Время движения $T_{дв}$, мин., определяется последовательным расчетом времени движения на всех участках трассы груженого и порожнего автосамосвалов по формуле

$$T_{дв} = 60 \left(\frac{L_{у.гр}}{v_{у.гр}} + \frac{L_{тр.гр}}{v_{тр.гр}} + \frac{L_{пов.гр}}{v_{пов.гр}} + \frac{L_{отв.гр}}{v_{отв.гр}} \right) + \left(\frac{L_{у.пор}}{v_{у.пор}} + \frac{L_{тр.пор}}{v_{тр.пор}} + \frac{L_{пов.пор}}{v_{пов.пор}} + \frac{L_{отв.пор}}{v_{отв.пор}} \right), \quad (13)$$

где $L_{у.гр}$, $L_{у.пор}$ – соответственно длина пути груженого и порожнего автомобиля на уступе, км;

$L_{тр.гр}$, $L_{тр.пор}$ – соответственно длина пути груженого и порожнего автомобиля в траншее, км;

$L_{отв.гр}$, $L_{отв.пор}$ – соответственно длина пути груженого и порожнего автомобиля на отвале, км;

$v_{у.гр}$, $v_{у.пор}$ – соответственно скорость движения груженого и порожнего автомобиля на уступе, км/ч;

$v_{тр.гр}$, $v_{тр.пор}$ – соответственно скорость движения груженого и порожнего автомобиля в траншее, км/ч;

$v_{отв.гр}$, $v_{отв.пор}$ – соответственно скорость движения груженого и порожнего автомобиля на отвале, км/ч;

При расчете сменной, технической и сменной эксплуатационной производительности автомобиля в качестве исходных данных можно принять: $t_{м.п} = 2$ мин., $t_{пог} = 2,9$ мин., $t_{м.р} = 1$ мин., $t_p = 1$ мин.

Протяженность порожних участков движения автомобиля принимается аналогично протяженности по элементам для грузовых участков.

Усредненные значения движения автомобиля по участкам равно: $v_{у.гр} = 12$ км/ч, $v_{у.пор} = 14$ км/ч, $v_{тр.гр} = 13$ км/ч, $v_{тр.пор} = 30$ км/ч, $v_{пов.гр} = 30$ км/ч, $v_{пов.пор} = 42$ км/ч, $v_{отв.гр} = 14$ км/ч, $v_{отв.пор} = 16$ км/ч.

Для определения производительности и парка оборудования были определены горно-технические условия в соответствии с текущим положением горных работ на Качарском карьере.

Горные работы в настоящее время ведутся на Северном, Южном и Восточном бортах карьера. Рыхлые породы условно до горизонта $+0$ отрабатываются мехлопатами на железнодорожный транспорт. Работы по рудноскальной зоне ведутся в интервале отметок -40 до -260 . Сальная вскрыша вывозится через склады на горизонтах $+75$ на западе и северозападе, Вскрыша и руда транспортируется на склад на отметке $+100$ на Юге, откуда через Северо-Западную траншею Вскрыша транспортируется на отвал №7, руда на станцию для формирования составов на обогатительную фабрику в г Рудный.

Предполагается что вскрыша из общего объема 14800 тыс. м³, которая должна транспортироваться через склад на горизонте $+100$ на отвал №7, будет уложена во внутренний отвал в интервале отметок от -270 до -30 . Общая технологическая схема отработки вскрыши приведена на рисунке 1. Горно-технические условия для расчета оборудования приведены в таблице 2.

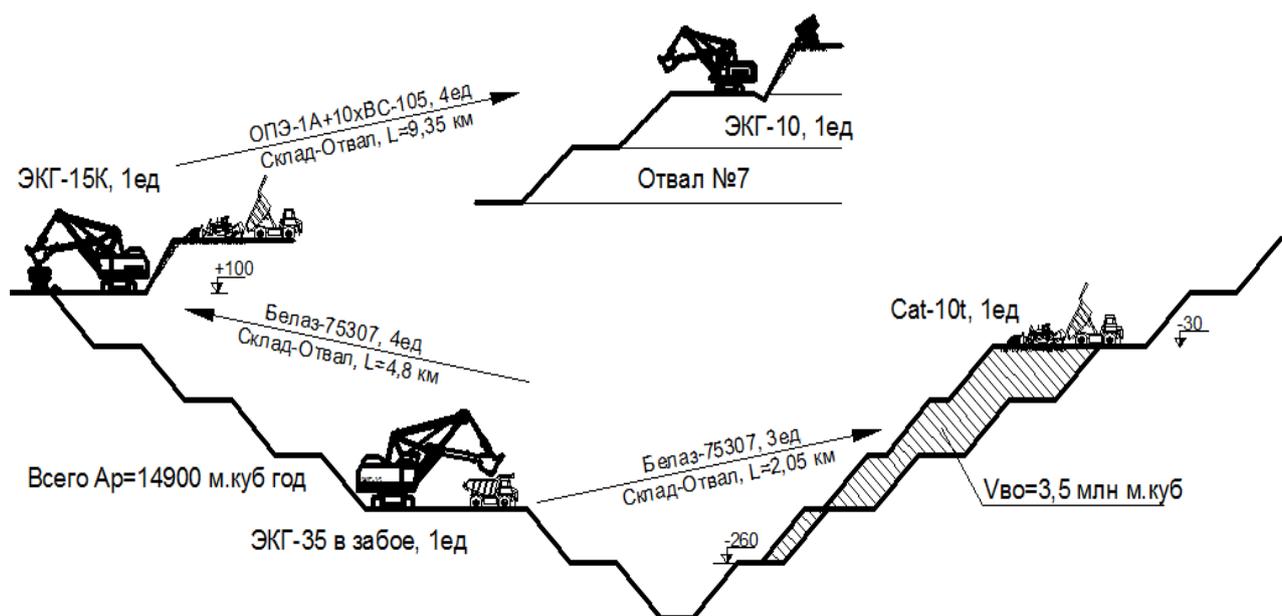


Рисунок 1 – Технологическая схема отработки вскрыши на Качарском карьере

Таблица 4 - Горно-технические условия для расчета оборудования

	Параметры	Значения
1	Производительность по вскрыше на рассматриваемый год, тыс. м ³ /год	14900
2	Объем породы, транспортируемый во внутренний отвал, тыс. м ³ /год	3500
3	Плотность скальной вскрыши, т/м ³	2,6
4	Расстояние забой-внутренний отвал - авто	
	Максимальное	3700
	Минимальное	400
	Среднее	2050

Необходимое оборудование, согласно расчету, по показанной методике приводится в таблице 5.

Таблица 5 – Парк оборудования для двух сценариев отработки объема вскрыши 3,5 млн. м³/год

Объем работ и оборудование	Количество
Годовой объем работ, млн. м ³ /год	3,5 · 106
Экскаватор ЭКГ-35 в забое	1
Автосамосвалы Белаэ – 75307 (220 т.) рабочий парк	3
Автосамосвалы Белаэ – 75307 (220 т.) инвентарный парк	3
Бульдозер Caterpillar-D10T*	1

* По расчету достаточно половины производительности бульдозер Caterpillar-D10T, в остальное время он может быть использован как резервный для автомобильно-железнодорожных перегрузочных складах.

Список литературы

- 1 В.Г. Пшеничный В.Г., Пыжик Н.Н. Методика оптимизации режимов добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ с учетом их взаимосвязи при разработке крутопадающих месторождений с применением технологии внутреннего отвалообразования. // Вестник Криворожского Национального Университета.- 2014 – вып. 37 – с. 18-22.
- 2 Кузьмин С.Л., Фионин Е.А., Исаков Р.Ж. Разработка требований к организации в глубоких карьерах временных внутренних отвалов для регулирования режима горных работ // Горный журнал Казахстана – №6, 2019. – С. 18-22.
- 3 Трубецкой К.Н., Потапов М.П. Открытые горные работы: справочник. – М.: Горное бюро, 1994. – 567 с.
- 4 Ржевский В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. – М.: Либроком, 2014. – 552 с.
- 5 Щадов М.И. Справочник механика ОГР. Экскавационно-транспортные машины циклического действия. – М.: Недра, 1989 – 286 с.
- 6 Шешко Е.Е. Горнотранспортные машины и оборудование для открытых горных работ. – М.: Издательство МГГУ, 2006. – 405 с .

УДК 621.779.134

МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МНОГОПОЗИЦИОННОЙ ШТАМПОВКИ

METHOD OF SELECTING THE RATIONAL TECHNOLOGICAL PROCESS OF MULTIPosition STAMPING

Орлова Е.П.

*Казахский Национальный исследовательский технический университет
им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан*

lenochka_60@mail.ru

Orlova Y.P.

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

lenochka_60@mail.ru

Аннотация: В статье представлена разработанная и программа выбора рациональной комбинации процессов деформирования для обеспечения минимального момента, действующего на ползун относительно его геометрической оси и получение качественных деталей за счет рационального размещения рабочих штампов на ползуне и столе автомата.

Ключевые слова: многопозиционная штамповка, перекоп и смещение инструмента, рациональный технологический процесс.

Abstract: The article presents the developed and the program for choosing a rational combination of deformation processes to ensure the minimum moment acting on the slider relative to its geometric axis and obtaining high-quality parts due to the rational placement of working dies on the slider and the table of the machine

Key words: multi-position stamping, misalignment and tool offset, rational technological process

Получение качественных деталей на листоштамповочных многопозиционных автоматах (ЛМА) при оптимальной их эксплуатации основывается на решении одной комплексной задачи - совместного управления условиями работы исполнительного механизма машины и технологическим процессом.

Штамповка на ЛМА характеризуется тем, что нагрузки, действующие на детали исполнительного механизма, меняются по ходу и длине ползуна, а также они меняются и в зависимости от угла поворота главного вала [1].

Типовой технологический процесс штамповки деталей типа оболочек, которые представляют наибольший интерес, включает следующие операции: вырубка заготовки, несколько переходов вытяжки (до 5 переходов), и завершающие операции такие как: калибровка, обрезка фланца, пробивка отверстий и др.

Анализ различных вариантов технологических процессов штамповки деталей позволяет систематизировать расчетные усилия по переходам в соответствии с принятой классификацией на основе математической статистики.

Известно [2,3], что число возможных реализаций для двенадцати- и тринадцатипозиционных автоматов рассматриваемого технологического процесса составляет при $n=6$ и $n=7$ несколько тысяч, поэтому выбрать из этого числа оптимальный технологический процесс представляется очень сложной задачей.

С целью упрощения решения этой задачи можно ограничиться отысканием правого или левого минимального момента от действующих усилий на позициях автомата относительно геометрической середины ползуна, выполнив условие:

$$z \geq \delta_{\max} \rightarrow M = P \cdot e \rightarrow \min ,$$

где P - равнодействующая усилий; e - плечо ее приложения; $\delta_{\max} \leq Z$ - критерий оптимизации.

Помимо отыскания оптимального технологического процесса для типовой детали технологам на производстве приходится оценивать рациональный технологический процесс, варьируя различными способами вытяжки: вытяжка с утонением стенки, комбинированная и с проталкиванием.

Это условие обеспечивает снижение перекоса ползуна и смещение инструмента, что обеспечит получение точных и качественных деталей.

Для экспресс-выбора оптимального технологического процесса по принятому критерию была разработана программа в C⁺⁺ [4

]. В программе имеется возможность, для более равномерного распределения суммарного деформирующего усилия, использовать процессы вытяжки, которые позволят интенсифицировать этот процесс и сократить количество вытяжных переходов (вытяжка с проталкиванием или вытяжка с утонением).

При запуске программы появляется окно, где представлена база технических характеристик листоштамповочных автоматов, являющейся исходной для технолога, которая показана на рисунке 1. В базе представлены многопозиционные автоматы российского и немецкого производства, широко используемые в автомобильной, тракторостроительной, приборостроительной промышленности.

Техническая характеристика пресса включает: номинальное усилие, число ходов, ход ползуна расстояние между позициями, толщину материала, число позиций и др.

Если выбранная модель листоштамповочного многопозиционного автомата выпускается с различным числом позиций, например, пресс А6130, то программа предусматривает возможность выбора числа позиций. После выбора модели автомата и числа позиций появляется окно, в котором представлен типовой технологический процесс изготовления детали на ЛМА, согласно рисунку 2.

Для определения потребных усилий по переходам было рассмотрено около ста типовых технологических процессов штамповки деталей, изготавливаемых на различных заводах отечественной промышленности [1].

В [2] приведены эскизы переходов и даны абсолютные величины потребных усилий P_n и их относительные значения в зависимости от номинального усилия пресса P_n

Технические данные многопозиционных листоштаповочных автоматов

Модель пресса	Усилие, кН	Ход ползуна, мм	Число ходов ползуна в минуту	Число позиций	Расстояние между осями ползунов, мм	Недоход, мм	Толщина материала, мм
A6122	160	100	29-70	8	80	3	0.46
AA821	200	140	60	8	75	3.5	0.5
A6124	250	125	23-60	10	100	4	0.6
A6822	400	200	25-50	10	130	5	0.75
A6126	400	160	25-30	10	130	5	0.75
A6128	630	200	22-45	10	170	6	1
A6129	800	150	40	8	210	7.5	1.1
A923	800	150	40	8	210	7.5	1.1
A6130	1000	250	19-38	8,12	210	8	1.4
A825	1600	200	30	8	300	10	1.8
A6132	1600	200	30	8	250	10	1.8
A6132A	1600	280	16-32	8,12	250	10	1.8
A826C	2500	200	25	8	300	11	2.5
A6134	2500	200	25	8	300	11	2.5
A6134A	2500	320	14-28	8,12	300	11	2.5
A827	4000	300	20	8	450	12.5	3
A6136	4000	360	20	8	400	12.5	3
A6136A	4000	360	12-24	6,8	450	12.5	3
A828	6300	400	11-32	8	500	14	4
A6138	6300	400	10-20	6,8	450	14	4
A6140	10000	600	8-16	6,8	500	15	5
A6144	20000	600	10	6	700		
WMW "Erfurt" (Германия)1	630	280	18;22;42;8;35;5;45;56	12	180		
WMW "Erfurt" (Германия)2	1600	400	17;21	11,15	280	12.5	

Выберите модель пресса

O'k Exit

Рисунок 1 - Окно программы для выбора автомата

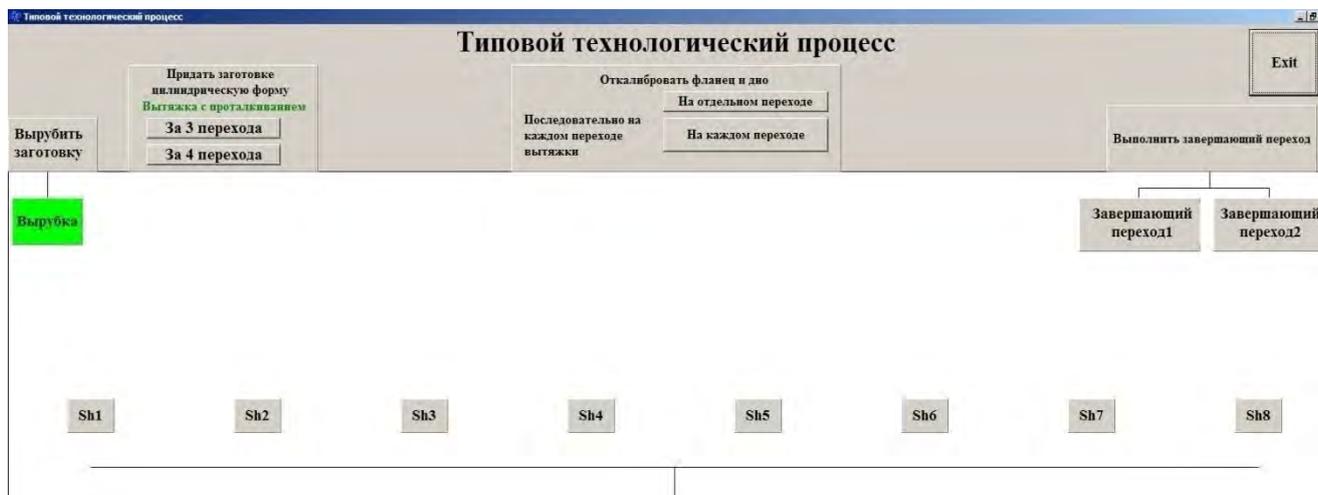


Рисунок 2 - Выбор технологической операции «вырубка»

Как уже было сказано ранее, типовой технологический процесс изготовления детали включает в себя следующие операции: вырубка, 2-3 или 4 перехода вытяжки, калибровка, которая может осуществляться как на отдельном переходе, так и вместе с вытяжкой и завершающие операции (обрезка фланца, пробивка отверстия и т.д.). При нажатии кнопки соответствующей операции, она выделяется зеленым цветом (рисунок 2 и 3).

В окне программы видно расположение позиций, обозначенных Sh1, Sh2 и т.д., где технолог может привязать соответствующую операцию к соответствующей позиции.

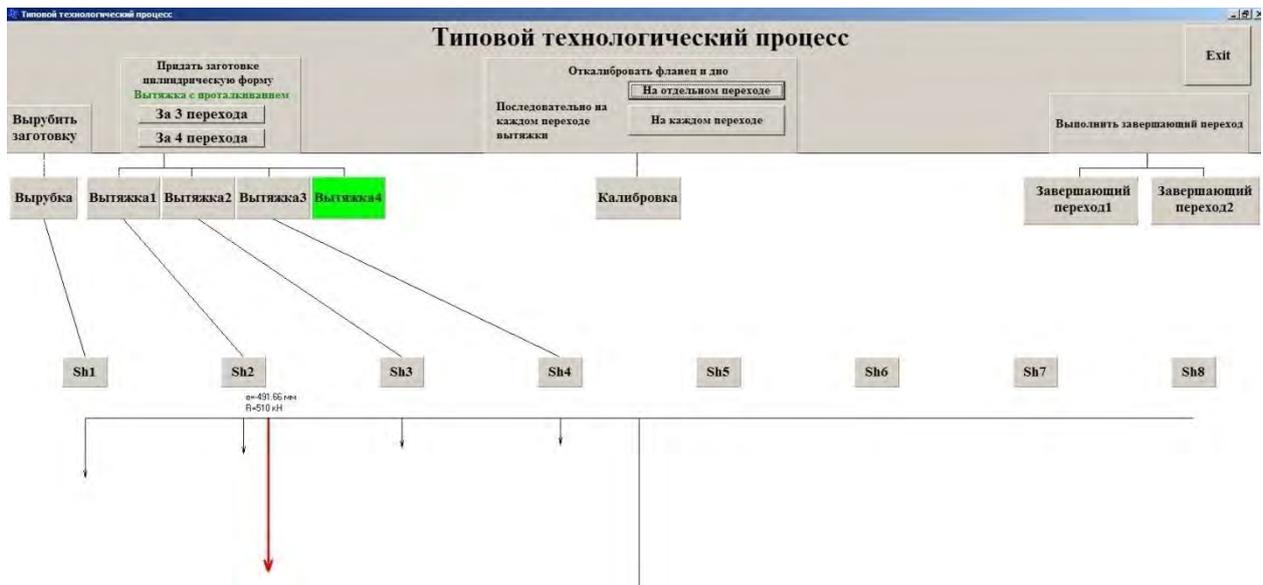


Рисунок 3 - Выбор технологической операции «вытяжка»

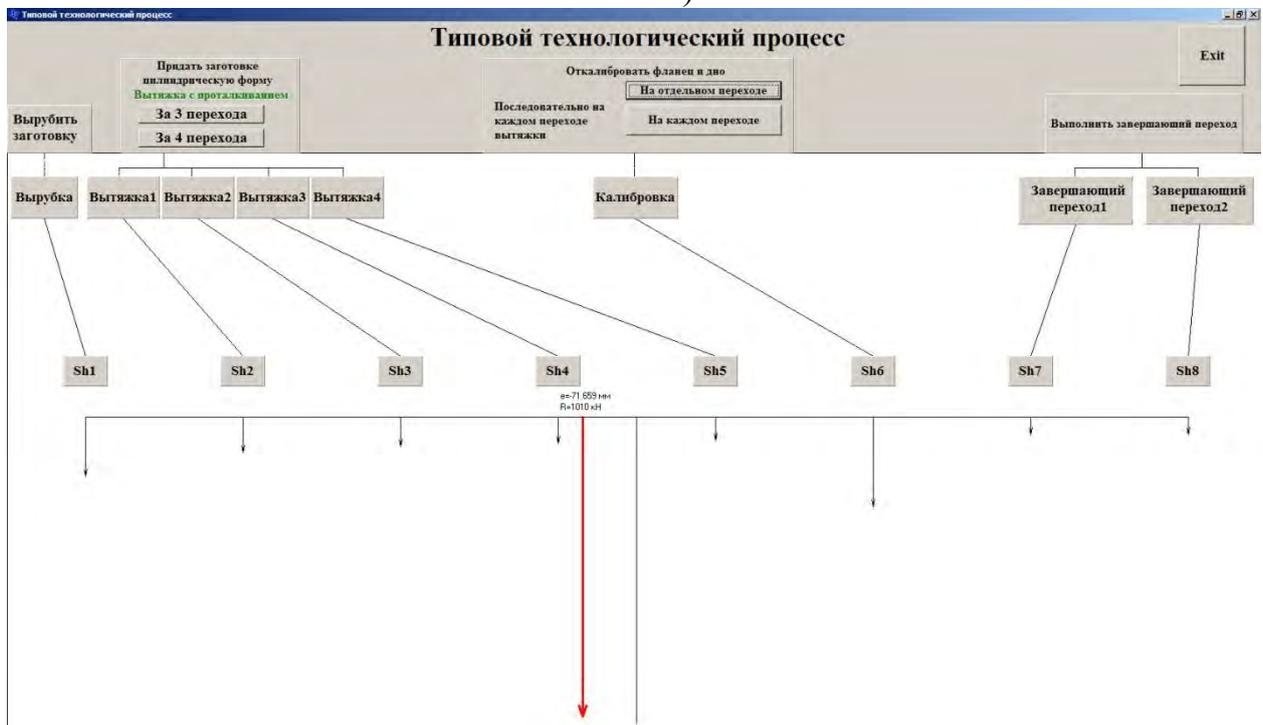
На рисунке 4 (а, б) показана возможность размещения вытяжных переходов по позициям штампа. Как только происходит привязка операции к позиции автомата, сразу же появляется значение суммарного усилия и значение эксцентриситета.

Вытяжка на многопозиционных автоматах может осуществляться в три, четыре перехода, а также для интенсификации процесса применяется вытяжка с проталкиванием, с утонением, а также одновременно с калибровкой. Варианты применения различных видов вытяжки показаны на рисунке 5 (а, б, в).

Размер стрелки, изображающей величину технологического усилия, дает возможность быстрого сравнительного визуального анализа выбранного технологического процесса. Как видно из рисунка 4.9 б, наиболее оптимальным будет технологический процесс с использованием вытяжки с проталкиванием и одновременной калибровкой.



а)



б)

Рисунок 4 - Варианты размещения технологических переходов по позициям штампа



а)



б)



в)

Рисунок 5 - Варианты выбора различных видов вытяжки

Таким образом, применение разработанного программного продукта позволит выбрать из числа возможных реализаций технологического процесса оптимальный, при котором нагрузка на левую и правую кривошипно-ползунные группы деталей будет распределена равномерно; а смещение инструмента будет меньше величины одностороннего зазора на любом технологическом переходе, обеспечивающий получение точных и качественных деталей.

Выводы

1. Разработана методика выбора рациональной комбинации процессов деформирования для обеспечения минимального момента, действующего на ползун относительно его геометрической оси с использованием программы, реализованной в системе C⁺⁺.

2. За счет рационального размещения рабочих штампов на ползуне и столе автомата при наличии холостых позиций и изменения нагружения во времени цикла, возможно снижение суммарного усилия и равномерного его распределения относительно геометрической оси ползуна.

3. С учетом простоты использования и объема получаемой информации описанную методику и программу можно рекомендовать для практического использования при решении различных технологических задач.

Список литературы

1 Орлов П.Г. Штамповка деталей на листоштамповочных автоматах (основы теории и расчета). - М.: Машиностроение, 1984. - 160 с.

2 Орлова Е.П., Носков Ю.Г. Выбор оптимального технологического процесса штамповки на листоштамповочных многопозиционных автоматах // Металлообработка. 2012. - № 5-6 (71-72). - С. 28-33.

3 А.С. № 7652 от 14.12.2012, бюл. № 12. Способ штамповки деталей на листоштамповочных многопозиционных автоматах /Орлова Е.П., Поветкин В.В.

4 Архангельский А.Я. Программирование в C++ Builder 6. - М.: ООО Бином-Пресс, 2005. - 1152 с.

УДК 669.15

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАСКАТКИ ПРОШИТОЙ ГИЛЬЗЫ И ПОЛОЙ НЕПРЕРВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ

MODELING AND ANALYSIS OF STITCHED SLEEVE AND HOLLOW CAST BLANK ROLLING IN THE PRODUCTION OF SEAMLESS HOT-ROLLED PIPES

Жакупова А.Т.¹, Богомолов А.В.².

*¹Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан; ²Павлодарский государственный университет имени С.Торайгырова, Павлодар, Казахстан
aray_zhakupova86@mail.ru*

Zhakupova A.T.¹, Bogomolov A.V.²

*¹East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbayev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; ²Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar, Kazakhstan
aray_zhakupova86@mail.ru*

Аннотация: В данной работе исследован процесс раскатки непрерывнолитой полой заготовки по сравнению с традиционной технологией получения горячекатаных труб: прошивка и раскатка гильзы. В экспериментальной части описан алгоритм компьютерного моделирования в программном комплексе Deform 3D и произведен сравнительный анализ результатов деформации при различных видах исходной заготовки и процессов обработки изделий давлением. В результате моделирования выявлены преимущества предлагаемой технологии получения бесшовных труб.

Ключевые слова: Моделирование, прошивка, раскатка, гильза, механические свойства, структура.

Abstract: In this paper, the process of rolling a continuous cast hollow blank is investigated in comparison with the traditional technology of hot-rolled pipes: piercing and rolling of the sleeve. In the experimental part, the algorithm of computer simulation in the Deform 3D software complex is described and a comparative analysis of the deformation results for different types of initial workpiece and

pressure treatment processes is made. As a result of modeling advantages of the offered technology of production of seamless pipes are revealed.

Key words: Modeling, piercing, rolling, sleeve, mechanical properties, structure.

Введение

В настоящее время бесшовная труба изготавливается из низколегированной литой заготовки круглого сечения. Горячекатаные трубы изготавливаются на стане поперечно-винтовой прокатки путем прошивки, которые впоследствии раскатываются на станах непрерывной горячей прокатки и приобретают окончательные размеры на калибровочно-редукционных станах.

Прошивка не только требует дорогостоящего оборудования, инструментов и энергии, но и влияет на качество труб. При прохождении заготовки через бочкообразные или грибовидные валки растягивающее напряжение появляется в центре заготовки и разрушает ее осевую часть. С одной стороны, это облегчает введение оправки и формирование внутренней полости заготовки, с другой, это может привести к образованию дефектов на внутренней поверхности трубы. Кроме того, ввиду неравномерной осевой зоны литой заготовки оправка может быть смещена относительно продольной оси заготовки, что приводит к изменению толщины стенки трубы. Кроме того, для некоторых типов стали и сплавов со значительным содержанием хрома и никеля прошивка затруднена из-за высокой устойчивости к деформации и узкого интервала температур горячей пластичности [1].

В связи с этим, решением данной проблемы является исключение из технологической цепи процесса прошивки, которое может быть достигнуто применением процесса раскатки полой литой заготовки. Однако применение раскатки полой гильзы может привести к более низким механическим характеристикам конечного продукта, что связано с меньшей суммарной степенью деформации прокатываемого изделия. Таким образом, необходимо исследование процесса раскатки полой заготовки, для выяснения целесообразности применения данной технологической схемы получения труб [2].

Ввиду сложности, а порой и невозможности прямого изучения реального объекта применяют компьютерное моделирование. Для моделирования процессов деформации, а именно прошивки и раскатки, в данной работе использован программный комплекс Deform 3D [3].

Эксперимент и результаты

Эксперимент состоит в моделировании двух способов получения бесшовной трубы (рисунок 1) и сравнение их результатов, которыми являются геометрия и механические характеристики.



Рисунок 1 – Способы получения труб

Первым этапом было моделирование прошивки сплошной стальной заготовки диаметром 300 мм (рисунок 2).

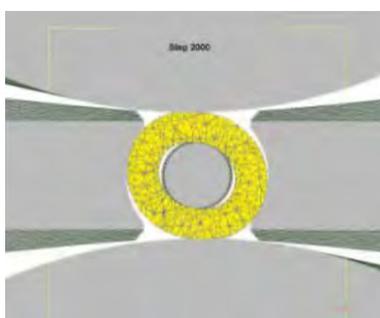


Рисунок 2 – Очаг деформации при прошивке сплошной заготовки

Далее, используя конечные данные полученной гильзы в программе Deform 3D, задались исходными данными по геометрии и свойствам для моделирования процесса раскатки полученной гильзы (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные для процесса раскатки

Параметр	Значение
Диаметр оправки раскатного стана, мм	127,0
Внутренний диаметр гильзы, мм	127,4
Наружный диаметр гильзы, мм	227,0
Температура нагрева гильзы перед раскаткой, °C	1100
Марка стали	ISO-20CrNiMoS2

При получении трубы по технологии раскатки полой заготовки, исходный продукт претерпевает меньшие по сумме деформации, а значит, в результате будут наблюдаться меньшие показатели механических свойств, нормируемые стандартами. Для определения величины разницы получения механических свойств по разным способам производства был смоделирован процесс раскатки прошивной гильзы и полой непрерывнолитой заготовки [4, 5].

Геометрия заготовки и рабочего инструмента для моделирования в Deform 3D изначально была создана в программном комплексе «Компас».

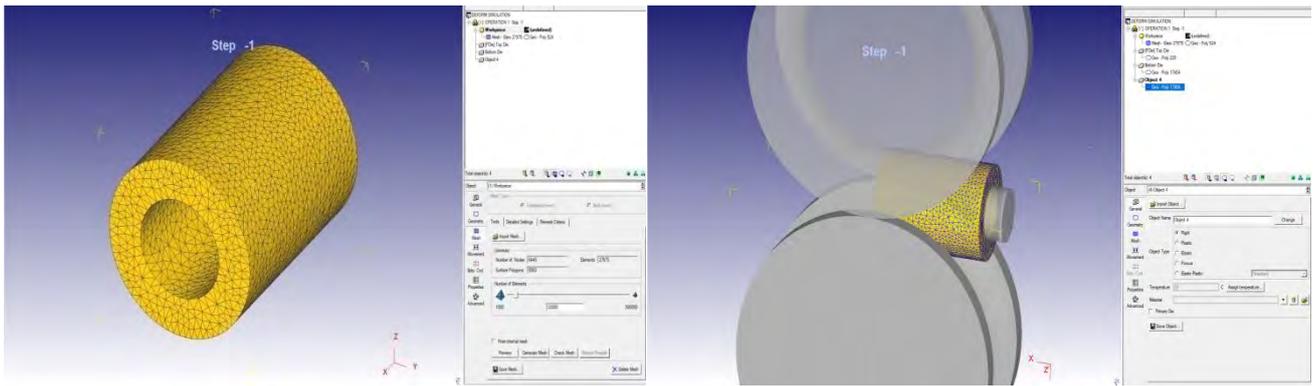
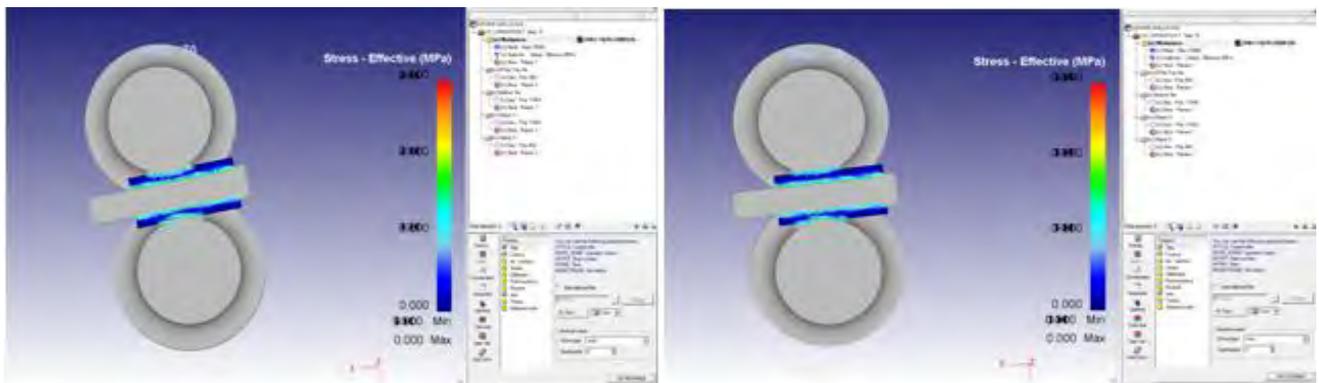


Рисунок 3 – Моделирование процесса раскатки в клети непрерывного стана



а)

б)

Рисунок 4 – Раскатка прошитой гильзы (а) и непрерывнолитой полой заготовки (б)

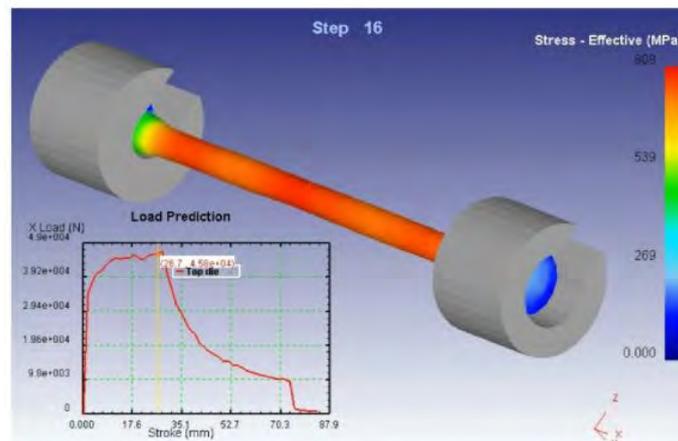


Рисунок 5 – Моделирование испытания на растяжение образца

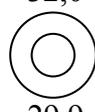
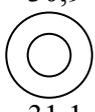
Для определения механических свойств смоделировано испытание на растяжение, при котором предел прочности и предел текучести определили из вычисленного программой усилия, а относительное удлинение – через длину графика растяжения образца (таблица 2).

Таблица 2 – Механические свойства образцов труб компьютерной модели

Показатель	Исходная заготовка раскатного стана	
	Прошитая гильза	Полая литая заготовка
Предел прочности, МПа	482	458
Предел текучести, МПа	352	320
Относительное удлинение, %	15,1	10,8

Также, была определена средняя толщина стенки по четырем точкам в поперечном сечении через каждые 100 мм фрагмента модели трубы (таблица 3).

Таблица 3 – Разностенность образцов черновых труб компьютерной модели

Показатель	Исходная заготовка раскатного стана	
	Прошитая гильза	Полая литая заготовка
Толщина стенки по четырем точкам, мм	32,0  30,8 29,5	30,9  31,6 30,5

Как показывают результаты, механические свойства по предлагаемой схеме производства ниже, чем по традиционной технологии производства труб на 5%. Однако, низкие механические свойства могут быть исправлены последующей термической обработкой. Расхождение же толщины стенки черновой трубы после раскатного стана составляет 3,5 %, по сравнению с традиционной – 7,8 %.

Вывод

Применение технологии производства бесшовных горячекатаных труб без процесса прошивки, с использованием непрерывнолитой полой заготовки имеет ряд преимуществ:

- снижение себестоимости производства трубы за счет исключения из технологической цепи процесса прошивки;
- снижение разностенности труб, возникающей в процессе прошивки легированных сталей, в особенности хромоникелевых;
- улучшение внутренней поверхности производимых труб;
- оптимизация технологии производства бесшовных труб и экономическая целесообразность за счет исключения приобретения дорогостоящего инструмента прошивных станков (валки, оправки, направляющие линейки).

Таким образом, использование в качестве заготовки для получения горячекатаной бесшовной трубы непрерывнолитой полой заготовки повысит качество, что теоретически подтверждено моделированием в программном комплексе Deform 3D и экономически целесообразнее.

Список литературы

1 Романенко В.П. Моделирование процесса винтовой прошивки сплошных заготовок большого диаметра в двухвалковом стане методом конечных элементов / Романенко В.П., Золотарев А.А., Сизов Д.В. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия №3, 2013.

2 Галкин С.П. Неравномерность радиальных перемещений и деформации при прошивке в стане винтовой прокатке / С.П. Галкин, Романцев Б.А. // Производство проката. 2009. № 9.

3 Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.

4 Bogomolov A.V. Efficiency of thermocycling treatment application for hardening casing pipes from steel 09g2s to strength group q125 / A.V. Bogomolov, A.N. Zhakupov, A.B Kuandykov // Materials Science Forum Volume 946 MSF, 2019, Pages 320-324.

5 Bogomolov A.V. Comparative Structural Strength Research of Hardened Carbon Steel and Hot-Rolled Alloy Steel / A.V. Bogomolov, A.N. Zhakupov, A.T. Kanayev, I.A. Sikach, K.K. Tugumov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 142, Issue 1, 2 September 2016.

УДК 621.926.5: 62-761

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ СТАЛЬНОЙ ФУТЕРОВКИ НА РЕЗИНОВУЮ

IMPROVING THE GRINDING PROCESS BY REPLACING THE STEEL LINING WITH RUBBER

Скалозубова Г.В.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

galina_13152012@mail.ru

Skalozubova G.V.

Rudny Industrial Instityt, Rydny, Kazakhstan

galina_13152012@mail.ru

Аннотация: в статье изложены преимущества замены стальной футеровки на резиновую: уменьшение расхода мелющих тел; снижение уровня шума; уменьшение электропотребления; увеличение срока службы; улучшение технологических показателей. Рассматриваются различные разновидности футеровок разработанных с помощью ES – технологии (Energi Saving Technology).

Ключевые слова: измельчение, шаровая мельница, резиновая футеровка, износостойкость, скрап, производительность, потребление электроэнергии, расход шаров.

Abstract: the article describes the advantages of replacing a steel lining with a rubber lining: reducing the consumption of grinding media; noise reduction; reduction in power consumption; increase in service life; improvement of technological indicators. Various types of linings developed using ES technology (Energi Saving Technology) are considered.

Key words: grinding, ball mill, rubber lining, wear resistance, scrap, productivity, electricity consumption, consumption of balls.

Повышение эффективности обогатительного производства требует разработки и внедрения новых технологических процессов и оборудования, обеспечивающих получения высоких технико-экономических показателей в условиях постепенного снижения качества исходного минерального сырья.

Технологические процессы должны совершенствоваться в направлении снижения энергозатрат и материалов на производство концентратов, обеспечения наиболее полного использования в производстве всех компонентов сырья, устранения вредного влияния обогатительного производства на окружающую среду.

Дезинтеграция минерального сырья в барабанных мельницах еще долгое время будет оставаться самым распространенным и энергоемким способом измельчения. Снижение энергоемкости барабанных мельниц являются постоянными требованиями производства. При этом конструкции барабанных мельниц достигли некоторого предела совершенства. А большое количество используемых мельниц делает невозможными быстрые принципиальные изменения технологии измельчения. В связи с этим совершенствование конструкций и материалов футеровок барабанных мельниц было и остается актуальной задачей [1].

Футеровка барабанных мельниц предназначена для:

- защиты от износа основных конструкций элементов барабана мельницы, соприкасающихся с измельченным материалом или пульпой;
- передачи энергии рабочему телу – измельчаемой среде;
- сообщения траектории движения телами измельчающей среды, обеспечивающей наибольшую эффективность измельчения материала.

Для защиты барабана мельницы от износа применяют футеровочные брони цилиндров, торцевых крышек, пустотелых загрузочной и разгрузочной цапф.

Брони изготавливаются преимущественно из износостойкой стали марки 110 Г13Л или резины марки 1801-6, 1701-6, ЗЭТ-33.

Допустимый износ стальной футеровки принимается по остаточной ее толщине, которая не должна быть меньше 30-40% от первоначальной наименьшей толщины футеровки- рисунок 1. Износ резиновой футеровки составляет не более 20-25 мм.

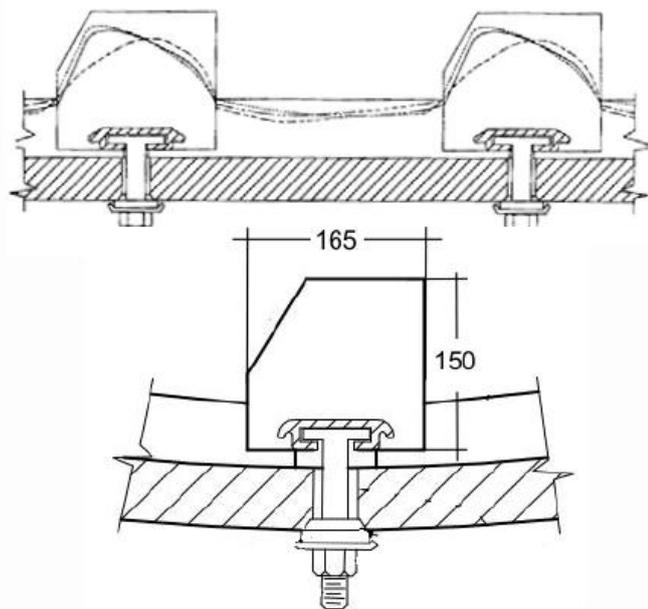


Рисунок 1 – Форма износа футеровки

Со второй половины прошлого века резина стала использоваться для изготовления футеровок вместо металла. Резина обладает способностью к большим обратимым деформациям, высокой стойкостью гидроабразивному и усталостному износу и коррозии. Резиновые футеровки шаровых барабанных мельниц широко используются в горно-обогатительной промышленности. Их преимущества- увеличение выхода продукта заданной крупности, снижение расхода мелющих тел и затрат энергии на процесс измельчения, увеличение межремонтного цикла эксплуатации комплекта футеровки.

Как известно, основным недостатком металлической футеровки является высокая ее металлоемкость и как следствие ее большой вес (порядка 70% от веса футерованного барабана).

Использование резиновой футеровки, вес которой примерно в 7 раз меньше металлической, позволяет:

- снизить нагрузку на коренные подшипники барабана, и, как следствие, момент трения и потери энергии на трение в 1,2 - 1,1 раза;

- облегчить условия пуска благодаря снижению начальной величины момента трения,

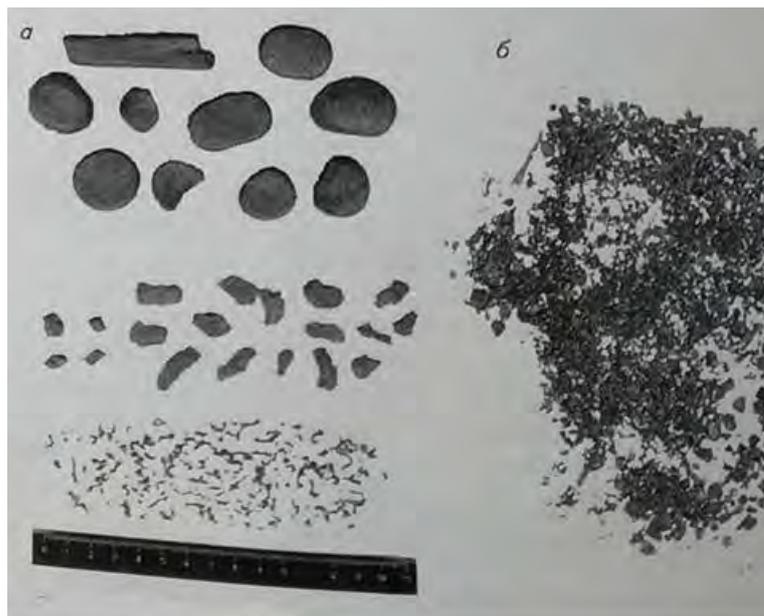
- увеличить момент двигателя более чем в 1,2 раза, компенсировав снижение $M_{дв}$ при питающих электрических сетях ограниченной мощности более чем на 20 %

- обеспечить надежный пуск двигателя и снизить время пуска примерно в 1,4 раза. Снижение сил трения скольжения, интенсивности износа и повышение надежности работы коренных подшипников, простота установки и демонтажа, снижение простоев - вот далеко не полный перечень преимуществ, который делает вопрос об эксплуатации именно резиновых футеровок все более актуальным для многих предприятий.

В то же время применение футеровок оказывает значительное влияние на технологические процессы.

Во-первых, резиновые футеровки имеют в 7 раз меньшую массу, что положительно сказывается на сроке работы опорных подшипников.

Во-вторых, использование резиновых футеровок почти полностью исключает образование металлического скрапа. Часть скрапа в обычных условиях образуется от износа стандартной футеровки, что в случае с резиной полностью исключено. Вторая часть скрапа есть результат разрушения мелющих шаров – рисунок 2.



а) скрап шаров, б) скрап футеровки

Рисунок 2 – образцы скрапа мельницы

Скрап – чрезвычайно вредный результат работы мельниц, частицы скрапа имеют склонность к коррозионным процессам, покрываясь оксидной плёнкой, они вредят работе магнитных сепараторов. Скрап шаров особо вреден, т.к. достигает 5-6 см в длину, что значительно превосходит основной объём частиц в пульпе. Скрап, выходящий из мельницы, переходит в циркулирующую нагрузку, что приводит к повышенному износу рабочих поверхностей. Максимальная контактная сила соприкосновения резиновой футеровки с шаром – 27,8 кН, что в 40 меньше, чем у стандартной футеровки. Такое значение приводит к понижению скрапообразования от шаров, но не влияет на эффективность измельчения.

В-третьих, в мельницах с резиновой футеровкой отсутствуют протекания пульпы сквозь разболтанные болтовые соединения и неровные стыки футеровочных плит, что позволяет защитить барабан от износа.

Все вышеуказанные отличия резиновых футеровок от стальных приводят к конкретным преимуществам, зафиксированным в результате практических опытов. Расход мелющих тел уменьшается на 10%. Снижение уровня шума в 3-

6 раз. Уменьшение электропотребление на 7,2%. Увеличение срока службы на 1/3. Увеличение межремонтного цикла в 2 раза.

На отечественных фабриках в мельницах тонкого измельчения широко используется резиновая футеровка производства Курского завода резинотехнических изделий. Опыт показал, что резиновая футеровка успешно работает в мельницах диаметром до 40 мм при загрузке их шарами 60 мм и ниже при частоте их вращения барабана не более 82 % от критической. Срок службы резиновых футеровок по сравнению со стальными возрастает в 1,2-4 раза, а уровень шума шаров при мокром измельчении ниже в 2-3 раза и при сухом - в 7 раз. В ряде случаев отмечалось уменьшение производительности мельниц на 7-9 % при замене стальной футеровки на резиновую, однако повышение заполнения мельниц шарами при увеличении частоты вращения барабана позволило сохранить технологические показатели измельчения на прежнем уровне.

В футеровках из резины обычно применяется схема «лифтер - плита», что обусловлено характеристиками износа этого материала. Выбор важнейших параметров, которые влияют на износостойчивость и производительность мельниц – это толщина плит, размеры и профиль лифтеров зависят от диаметра барабана и скорости вращения мельницы, измельчающей среды, крупности материала. Благодаря простоте установки и демонтажа резиновых футеровок снижается количество простоев. Это достигается за счет низкого веса резиновой футеровки. Также трудозатраты существенно снижаются, поскольку нет необходимости в проведении специальных газорезательных работ, транспортировка проста, монтировать резиновую футеровку в 3-4 раза быстрее, чем стальную, опасности травматизма в разы меньше. Резиновая футеровка барабанов, в отличие от стальной, не требует проведения частых осмотров, ремонтов, подтяжки ослабших болтов, футеровка прилегает плотно, и через болтовые соединения пульпа утекать не будет.

Предприятием ООО «ВАЛСА ГТВ» (г. Белая Церковь) разработана энергосберегающая технология измельчения – ES – технология (Energi Saving Technology). Главное отличие данной технологии - изменение механизма взаимодействия мелющих тел с футеровкой барабана шаровой мельницы и траекторией перемещения мелющих тел в объеме загрузки путем использования на каждой стадии измельчения резиновой футеровки соответствующей конструкции.

Для барабанных мельниц с шарами 40-60 мм разработана футеровка «Плита-Волна», рабочая поверхность которой имеет форму трапеции. Геометрия рабочей поверхности плит учитывает диаметр используемых мелющих шаров и обеспечивает скольжение слоя шаров, примыкающих к футеровке, по её поверхности. Это создает условия для участия в процессе измельчения материала истиранием всей поверхности футеровки, контактируемой с телом загрузки, и всех шаров, примыкающих к футеровке. При скольжении дополнительно активируются вертикальные перемещения в слоях шаров, ближайших к поверхности футеровки. В результате

увеличивается производительность мельницы по выходу готового продукта. Плиты футеровки имеют переменную высоту по длине барабана мельницы с учетом интенсивности их износа [3].

В ходе испытаний проведённых на ФРПО АО «ССГПО» комплект резиновой футеровки показал продолжительность работы 20000 часов, при цене в 31823125 тенге. Стандартная футеровка имеет срок службы 15000 часов, при цене в 33991432. Исходя из вышеприведённых данных, с экономической точки зрения резиновые футеровки являются более выгодными. В период испытания велся ежесуточный учет перерабатываемого продукта, производимого концентрата, массы догружаемых шаров, фиксировалось чистое время работы секции.

Для определения удельной производительности мельниц в дневные смены производились опробования узла измельчения второй стадии.

При проведении опробований, технологический режим работы секции настраивался в режиме текущего производства при условии выполнения требований «СТ АО 00186789-11404-2009 Концентрат железорудный АО «ССГПО». Технические условия».

В ходе проведения исследований были получены следующие результаты:

- производительность технологической секции по промпродукту в среднем составляет 285т/час;

- прирост по классу крупности минус 0,071 мм в сливе шаровой мельницы с резиновой футеровкой составил 13,6 % против 12,8 % на шаровой мельнице со стальной футеровкой и по классу крупности минус 0,045мм 10,9 % против 9,9 % соответственно;

- удельная производительность шаровой мельницы с резиновой футеровкой по классу крупности минус 0,071 мм составила 0,676 т/м³_{час} против 0,638 т/м³_{час} шаровой мельницы со стальной футеровкой;

- массовая доля в концентрате составила: класс крупности 0,071 мм-90,1 % и класса крупности минус 0,045 мм – 76,3 % железа общего 65,4 %;

По результатам замера удельный расход шаров на период маркшейдерского замера составил 0,50 кг/т для шаровой мельницы с резиновой футеровкой и 0,59 кг/т со стальной футеровкой.

Удельный расход потребляемой мощности на 1 тонну промпродукта шаровой мельницы с резиновой футеровкой составил 3,96 кВт/т против 4,03кВт/т шаровой мельницы со стальной футеровкой.

Полное использование всех уникальных особенностей резины, как футеровочного материала, позволяет получить существенные преимущества перед металлом.

Эффективность использования конструкций резиновых футеровок подтверждена результатами их эксплуатационных испытаний в течение нескольких лет на Полтавском, Северном, Южном, Ингулецком ГОКах (Украина), ССГПО (Казахстан) СТОКе, в компании «РУСАЛ», компании «Асарел-Медет» АД (Болгария).

Список литературы

1 Калашников В.А., Головки Л.Г., Афанасьев Е.С.. Система резиновых футеровок барабанных шаровых мельниц // Обогащение руд.20016. № 1С, 60-63.

2 Резиновые футеровки технологических машин/ В.И. Дырда, Р.П.Зозуля, А.П.Левицкий, И.В.Хмель. Днепропетровск, 2014.255 с.

3 Энергосберегающая ES – технология измельчения минерального сырья в шаровых мельницах с резиновой футеровкой./В.И. Дырда, В.А.Калашников, С.Л. Евенко, А.Е.Маркелов, И.В. Хмель, В.А. Стойко// IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сб. материалов. М., 2013.С.231-234

УДК621.7.043

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПОСОБОВ ВОЛОЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СХЕМЫ ПРОТЯГИВАНИЯ ПРОВОЛОКИ

ON THE USE OF MATHEMATICAL MODELING FOR EVALUATING METHODS OF TRAINING DEPENDING ON THE WIRE PROCESSING SCHEME

Кривцова О.Н.¹, Тончо Койнов², Панин Е.А.¹, Лутченко Н.А.¹

¹Карагандинский Государственный Индустриальный Университет, Темиртау, Казахстан; ²Химико-технологический металлургический университет, г.

София, Болгария

krivcova60@mail.ru

Krivtsova O.N.¹, Toncho Koynov², Panin E.A.¹, Lutchenko N.A.¹

¹Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan; ²University of chemical technology and metallurgy, Sofia, Bulgaria;

krivcova60@mail.ru

Аннотация: В данной работе рассмотрены нестандартные способы волочения, усовершенствованные путём изменения схем движения заготовки через волокна. Проведено компьютерное моделирование процессов волочения в программе DEFORM-3D для выбора рациональной схемы волочения. Используются геометрические параметры инструмента (волоки) и заготовки по технологии волочения стальной проволоки в условиях ТОО «Kaz-Metiz», необходимые для построения моделей процесса. Исследованы следующие параметры при волочении заготовки по рассматриваемым схемам: степень деформации, среднее гидростатическое давление, усилие волочения.

Ключевые слова: волочение, схемы волочения, проволоочная продукция, математическое моделирование, метод конечных элементов.

Abstract: In this paper we consider non-standard methods of drawing, improved by changing the schemes of movement of the workpiece through the die. Computer simulation of drawing processes in the program DEFORM-3D for the choice of rational drawing scheme is carried out. The geometrical parameters of the tool (dies) and the workpiece on the technology of drawing steel wire in the conditions of LLP "Kaz-Metiz", necessary for the construction of models of the process. The following parameters are studied when drawing the workpiece according to the schemes: strain-effective, stress, Load prediction.

Key words: drawing, drawing schemes, wire products, mathematical modeling, finite element method.

В настоящее время компьютерное моделирование всевозможных процессов обработки металла и деформирования имеет большое значение, чему способствуют несколько факторов. Моделирование позволяет изучить процесс изнутри и более полно оценить возникающие напряжения и деформации, выявить закономерности их развития, предсказать появления дефектов. Оно позволяет определить наиболее подходящие параметры инструмента и заготовки для предварительной отладки процесса. Также преимуществом моделирования является то, что современные программные комплексы позволяют смоделировать практически любой процесс, избежав дорогостоящие и сложные эксперименты. Например, при разработке технологии можно смоделировать инструмент и максимально точно подобрать его геометрические параметры, и, всесторонне изучить условия протекания процесса. После чего можно внедрять уже отлаженную технологию в реальное производство. Поэтому моделирование различных процессов деформирования в обработке металлов давлением является актуальной задачей [1].

В данной работе рассмотрены нестандартные способы волочения, усовершенствованные путём изменения схем движения заготовки через волокни. Проведено компьютерное моделирование процессов волочения в программе DEFORM-3D для выбора рациональной схемы волочения. В результате проведенного моделирования рассматривались следующие параметры: накопленная степень деформации (Strain-Effrctive), мм/мм; среднее гидростатическое давление (Stress), МПа; усилия волочения (Loadprediction), кН. Геометрические параметры инструмента и заготовки предварительно взяты по действующей технологии волочения в ТОО «Kaz-Metiz» для режима 4→2,3 мм на волочильном стане 12x600 № 1 для получения проволоки диаметром 2,3 мм из катанки диаметром 4 мм. Моделирование процесса волочения проводилось по семи проходам с использованием программного комплекса DEFORM на базе МКЭ-метода: 4,0мм→3,86мм→3,46мм→3,13мм→2,85мм→2,62мм→2,42мм→2,3мм. Обжатия заготовки принимались равные величине уменьшения диаметра после каждого прохода:

0,14→0,4мм→0,33мм→0,28мм→0,23мм→0,2→0,12 мм.

Геометрия заготовки и инструмента построена в программе КОМПАС 15. Геометрия волок - в соответствии с ГОСТ 9453-75[2]. Исходная заготовка имела первоначальные размеры $\varnothing 4,0$ мм и длину 50 мм. На данную модель была нанесена сетка конечных элементов, равномерно распределенных по всему объему заготовки. Количество узлов – 2240, количество элементов – 2067. В качестве материала заготовки согласно технологии выбрана сталь 15 ГМ [3]. Температура катанки принята равной 20°C. Реологические свойства материала приняты по базам данных DEFORM. Использован неизотермический тип расчета, т.е. помимо отдачи тепла инструменту, заготовка еще отдавала тепло в окружающую среду, (температура которой 20 °С). Принято значение коэффициента трения 0,15, соответствующее волочению с сухой смазкой [4]. Скорость волочения принята 4 м/с согласно действующей технологии. В результате эксперимента получены модели схем: обычного волочения; ступенчатого волочения, и знакопеременного волочения.

Анализ результатов моделирования обычного волочения выявил максимальные значения параметра «эквивалентной деформации» в центре и на поверхности заготовки за все 7 проходов, представленных в таблице 1, и проиллюстрированные в виде графика на рисунке 1. При прохождении каналов волок заготовка в продольном направлении получает одинаковый уровень прироста деформации. В поперечном сечении заготовки величина рассматриваемого параметра распределяется неравномерно, она убывает от поверхности к центру заготовки. После седьмой волоки максимальные значения параметра «эквивалентная деформация» составляют 1,02 на поверхности и 0,7 в центре заготовки. Распределение «эквивалентной деформации» в заготовке за все 7 проходов показано на рисунке 1.

При рассмотрении параметра «среднее гидростатическое давление» было выявлено крайне неравномерное распределение в продольном направлении заготовки. В то же время данное распределение напряжений является характерным для процесса волочения в целом – по всей длине заготовки реализуются большие растягивающие напряжения, возникающие из-за тянущего действия волочильного стана. Однако в зоне деформации волоки возникают и сжимающие напряжения, по своему абсолютному значению значительно превышающие растягивающие.

Таблица 1 - Значения «эквивалентной деформации» при обычном волочении

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7
Центр	0,128	0,292	0,459	0,611	0,758	0,904	1,020
Поверхность	0,052	0,190	0,310	0,413	0,528	0,627	0,700

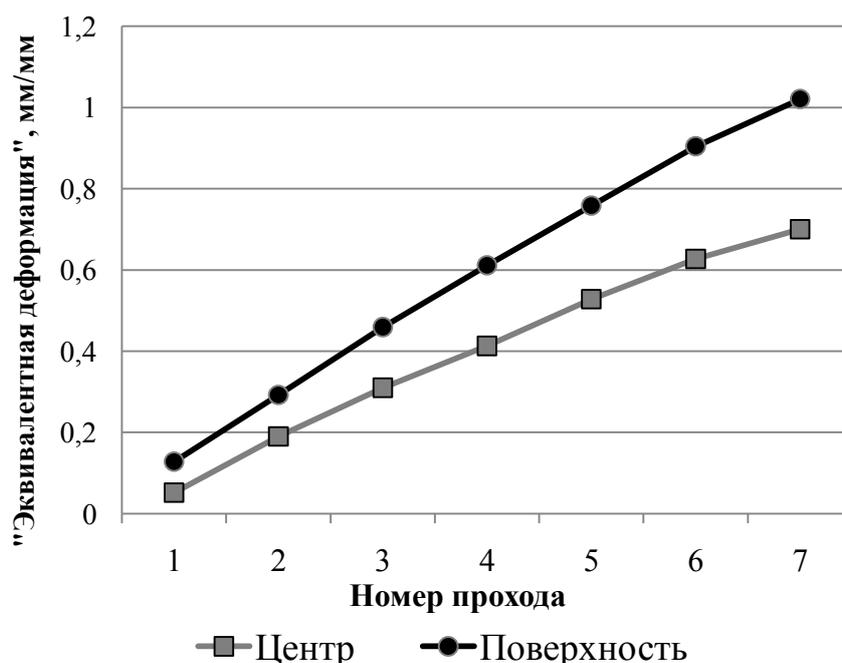


Рисунок 1 - Распределение «эквивалентной деформации» по проходам

Показатели значений растягивающих напряжений, действующих на участках между волокнами, представлены в таблице 2.

Таблица 2–Значения растягивающих напряжений между волокнами, МПа

Участок	Между 1 и 2	Между 2 и 3	Между 3 и 4	Между 4 и 5	Между 5 и 6	Между 6 и 7
Напряжение	37	75	145	133	140	130

Максимальные значения сжимающего действия «среднего гидростатического давления», действующего в очаге деформации представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Значения сжимающих напряжений в очагах деформации, МПа

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7
Напряжение	-1360	-860	-1040	-1350	-1330	-1480	-1490

Максимальные значения усилия при обычном волочении для каждой волокни представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Максимальные значения усилий, кН

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7
Усилие	9	13,6	12,8	11,9	12,4	10,8	9,74

Графическая интерпритация распределения значений усилий при волочении проволоки по всем проходам, представленная на рисунке 2, показывает резкое повышение с величины 9 кН до величины 13,6 кН во

втором проходе, и постепенное уменьшение с каждым проходом до величины 9,74 кН.

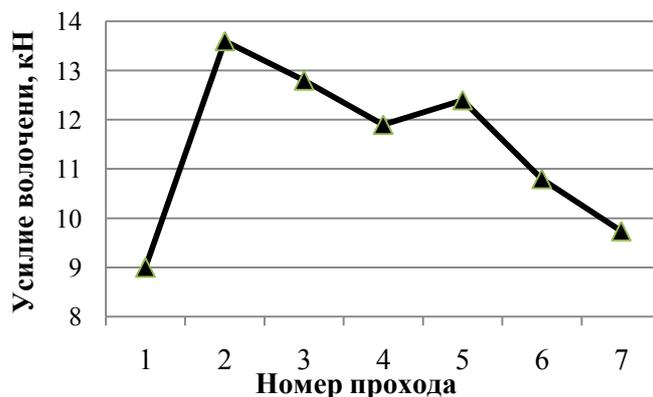


Рисунок 2 – График распределения усилий по проходам

При моделировании напряженно - деформированного состояния металла в очаге деформации при протягивании проволоки по схеме ступенчатого волочения показало, что накопление параметра «эквивалентной деформации» происходит ассиметрично центральной части заготовки. Значения рассматриваемого параметра в нижней части заготовки больше, чем в верхней части. Эта разница в значениях параметра между нижней и верхней частью заготовки увеличивается с каждым проходом. Объясняется тем, что проволока в процессе волочения претерпевает изгиб только в одном направлении – в направлении смещения волок. На рисунке 3 представлены графики распределения значения рассматриваемого параметра по проходам отдельно для каждой области заготовки после волочения: нижней поверхности, верхней поверхности и центра. На данном графике видно, что значение «эквивалентной деформации» при протягивании проволоки по ступенчатой схеме волочения больше на поверхностях, чем в центре. При этом на нижней поверхности заготовки после 7 прохода значение исследуемого параметра превышает значение на верхней поверхности в 1,7 раз.

Рассмотрим изменение параметра «среднее гидростатическое давление», оценивающего напряженно–деформированное состояние проволоки, протягиваемой по всем волокнам.

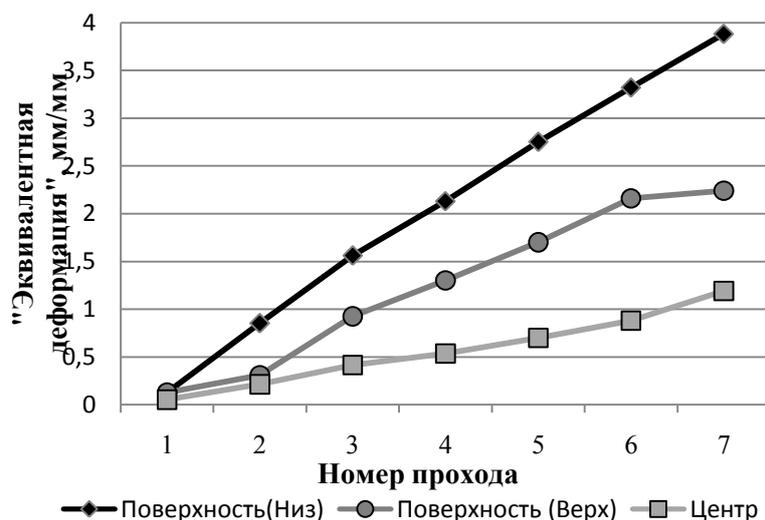


Рисунок 3 - График распределения параметра «эквивалентной деформации» по проходам при протягивании проволоки по ступенчатой схеме волочения

Как и в случае обычного волочения, прослеживается неравномерное распределение значений в продольном направлении заготовки, достигая наибольших значений 1750-1980 МПа во 2-ом и 4-ом проходе. В результате действия данного параметра в очаге деформации от протягивания проволоки растягивающее напряжение направлено по одной диагонали, достигая наибольшего значения в пятом проходе. При сжимающем действии по другой диагонали достигает максимального значения – во втором проходе (таблица 6).

Таблица 6 – Среднее гидростатическое давление в очаге деформации металла, МПа

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7
Сжимающие напряжения	-1360	-1980	-1680	-1750	-1720	-1640	-1840
Растягивающие напряжения	404	528	540	540	553	550	547

Сжимающие напряжения по своему абсолютному значению превышают растягивающие в 3,6-3,8 раза, что подтверждает оптимальные условия распределения напряжений при волочении [4]. Экспериментальные значения параметра усилия в очаге деформации металла при ступенчатом волочении проволоки представлены в таблице 7 и в графическом виде на рисунке 4.

Таблица 7 – Максимальные значения усилия при ступенчатом волочении, кН

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7
Усилие	8,86	13,5	13,9	12,4	12,1	11	8,87

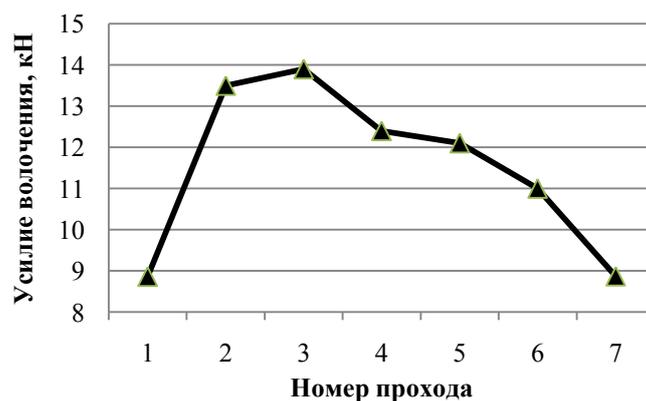


Рисунок 4 – Распределение усилий в очаге деформации металла,

Значения параметра усилия резко возрастают в 1,5 раза во второй волоке, постепенно уменьшаясь после третьего прохода с каждым проходом в 1,1 - 1,5 раза.

Моделирования напряженно - деформированного состояния металла в очаге деформации при протягивании проволоки после первых двух проходов по схеме знакопеременного волочения выявило, что накопление деформации в металле происходит аналогично деформации металла по схеме ступенчатого волочения, то есть ассиметрично. Характеризуется большим накоплением деформации на нижней поверхности заготовки – 0,771 мм/мм. Экспериментальные значения параметра «эквивалентной деформации» в очаге деформации металла в центре заготовки и на двух участках ее поверхности (верхнем и нижнем) за все 7 проходов следующие (таблица 8).

Таблица 8 - Значения параметра «эквивалентной деформации» металла при протягивании проволоки по схеме знакопеременного волочения

№ прохода	1	2	3	4	5	6	7
Центр	0,051	0,215	0,65	0,776	0,922	1,14	1,24
Поверхность (верхняя часть)	0,128	0,31	0,998	1,4	1,85	2,34	2,54
Поверхность (нижняя часть)	0,128	0,771	1,23	1,75	2,11	2,6	2,86

При протягивании проволоки после первых двух проходов значения рассматриваемого параметра составляют 0,215 мм/мм для центра, 0,31 мм/мм для верхней поверхности и для нижней поверхности 0,771 мм/мм, что в 3,6 раз больше, чем для верхней. Однако, после третьего прохода за счет смещения волоки в другую сторону и, как следствие, перегиба проволоки в противоположном направлении, разница в значениях «эквивалентной деформации» для верхней и нижней поверхностей заготовки уменьшается. На рисунке 5 представлены графики распределения значений параметра «эквивалентной деформации» при протягивании проволоки по проходам

отдельно для каждой области заготовки после волочения: для нижней поверхности, для верхней поверхности и для центра.

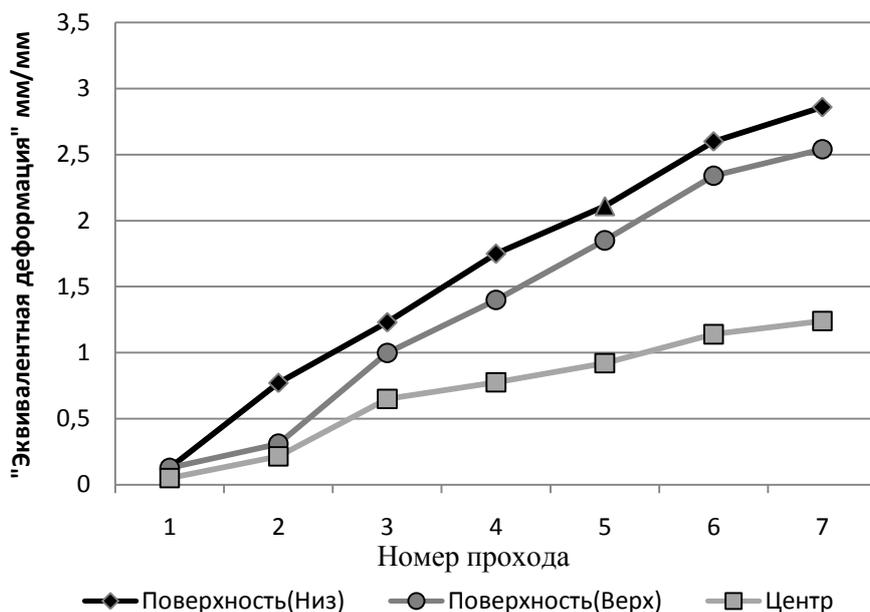


Рисунок 5- Распределение параметра «эквивалентной деформации» в очаге деформации при протягивании проволоки по схеме знакопеременного волочения

Подобный характер накопления «эквивалентной деформации» наблюдается на протяжении всего процесса волочения. После 7-го прохода при протягивании проволоки значения параметра «эквивалентной деформации» достигают следующих величин: 2,54 мм/мм для верхней поверхности, 2,86 мм/мм для нижней поверхности и 1,24 мм/мм для центра. Тем самым характеризуя незначительную разницу в 11% при накоплении деформации на нижней и верхней поверхности.

При оценке значений параметра «среднее гидростатическое давление», как и в случае ступенчатого волочения, имеется неравномерное распределение в продольном и в поперечном направлении при протягивании заготовки. И, аналогично ступенчатой схеме, сжимающие действия от «гидростатического давления» по своему абсолютному значению превышают растягивающие, что характеризуется оптимальным условием распределения напряжений (рисунок 4).

Далее методом компьютерного моделирования оценили напряженно-деформированное состояние в очаге деформации металла при протягивании проволоки $\varnothing 2,3$ мм из заготовки $\varnothing 4$ мм стали марки 15ГМ при различных схемах. Установили величины и распределения значений параметра «эквивалентной деформации». Выявили, что при всех случаях волочения поверхность заготовки при протягивании накапливает больше деформации, чем центральная часть деформируемого металла. Определили наибольшее накопление деформации при протягивании проволоки по ступенчатой схеме

волочения (рисунок 7). Накопленная величина «эквивалентной деформации» достигает здесь наибольших значений 3,88 мм/мм на нижней поверхности.

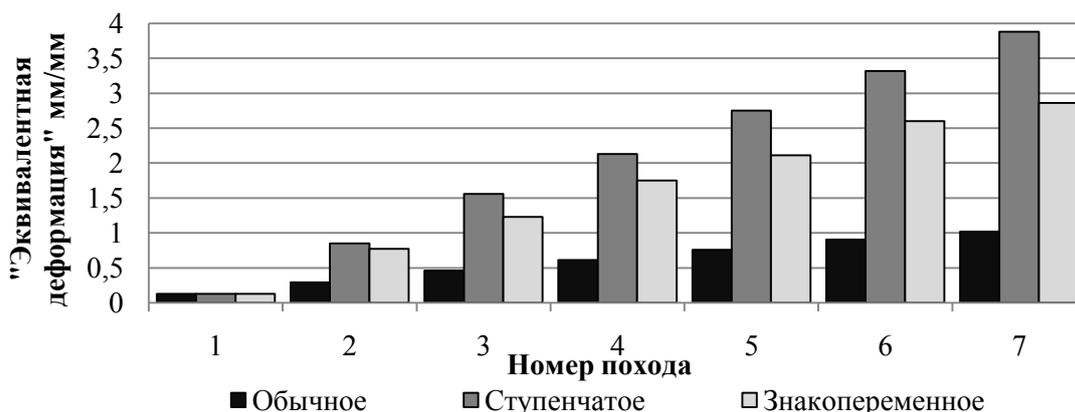


Рисунок 7- Максимальные значения величины «эквивалентной деформации» на нижней поверхности заготовки при различных способах волочения

При этом накопление деформации происходит ассиметрично центру протягиваемой заготовки, составляя на ее верхней поверхности значение 24 мм/мм, что в 1,7 раза меньше, чем на нижней (рисунок 8). Такое распределение параметра «эквивалентной деформации» является неблагоприятным, так как вызывает неоднородность механических свойств готовой продукции относительно центра заготовки. Значения параметра «эквивалентной деформации» на поверхности проволоки при знакопеременном волочении имеют меньшие значения по сравнению со ступенчатой схемой, но при этом они распределены более равномерно (рисунок 8).

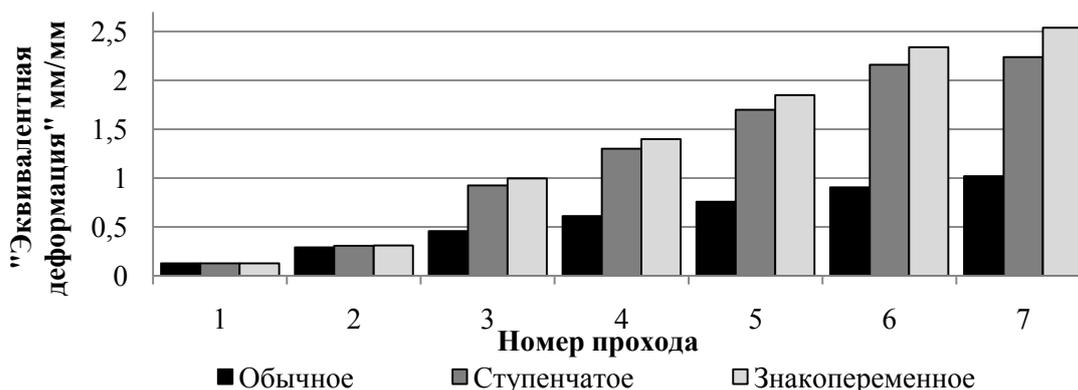


Рисунок 8 - Максимальные значения параметра «эквивалентной деформации» на верхней поверхности заготовки при различных способах волочения

Разница между проработкой верхней и нижней поверхностями составляет 11%, что незначительно, и является благоприятным условием для обеспечения высоких механических свойств готовой продукции. Также, схема

знакопеременного волочения обеспечивает более высокий уровень накопления деформации в центральной части заготовки протягиваемой проволоки по сравнению с обычной (в 1,8раз) и ступенчатой схемами (в 1,04раза) (рисунок9).

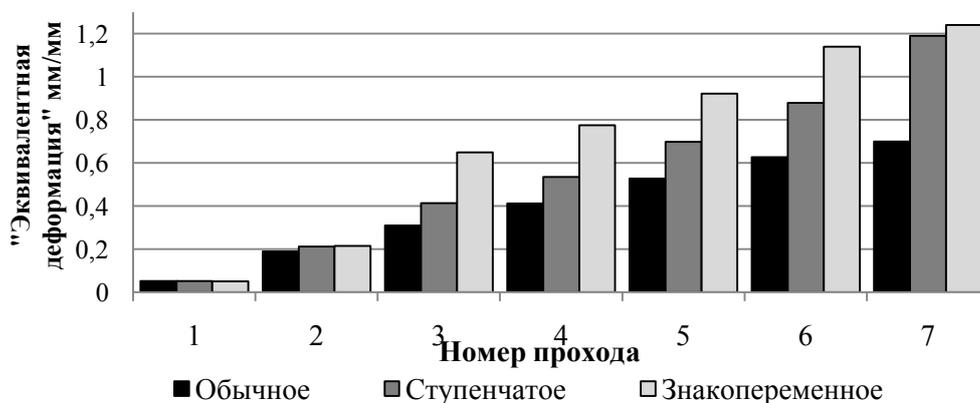


Рисунок 9 - Максимальные значения «эквивалентной деформации» в центре заготовки для различных способов волочения

Следовательно, напряженно- деформированное состояние в очаге деформации металла при протягивании проволоки $\varnothing 2,3$ мм по знакопеременной схеме волочения обеспечивает проработанность структуры исследуемой проволоки.

На рисунке 10 представленный график распределения параметра усилия при протягивании исследуемой проволоки по проходам не характеризует процесс в целом, так как не учитывает изменение микроструктуры, и появление наклепа в процессе деформации протягиваемой проволоки.

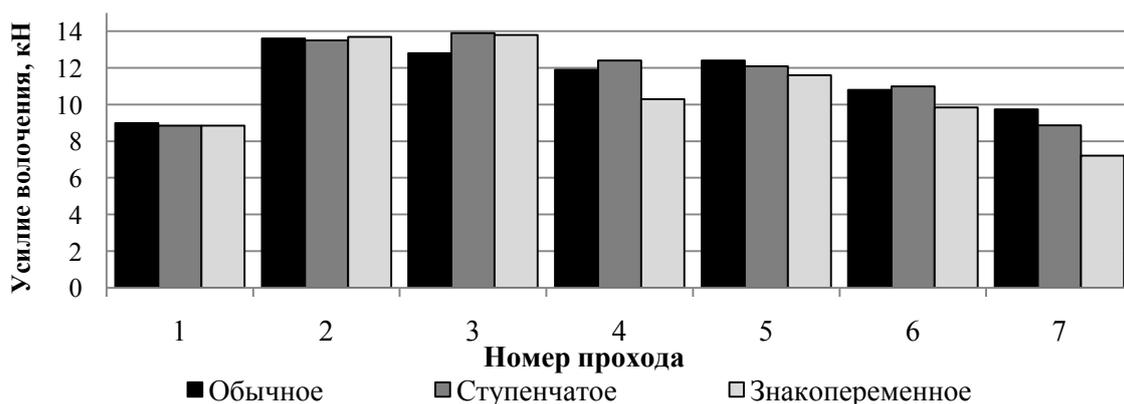


Рисунок 10 - Максимальные значения усилия волочения для различных способов

Значения параметра усилия по проходам следует рассматривать как единичное значение, которые зависят только от условий деформации в данном конкретном проходе, и не зависят от количества предыдущих проходов. При

оценке усилия волочения по проходам видно, что максимальные значения усилий при новых способах волочения лишь иногда незначительно превышают значения усилия при обычном волочении, что в перспективе позволит использовать любую из двух предложенных схем, не производя полную замену оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Проведено математическое моделирование волочения проволоки диаметром 2,3 мм из катанки 4мм по трем различным схемам волочения: обычного, ступенчатого и знакопеременного способов.

2. Выявлены и описаны закономерности развития напряженно-деформированного состояния в очаге деформации металла при протягивании проволоки для каждого рассмотренного способа волочения. Исследованы параметры «эквивалентная деформация», «среднее гидростатическое давление», «усилие волочения». Полученные результаты представлены в виде графиков и проанализированы.

3. Определены наибольшие значения «эквивалентной деформации» в очаге деформации металла при протягивании проволоки после всех семи проходов при способе ступенчатого волочения на нижней поверхности заготовки и в центре заготовки. Выявленная асимметричность накопления значений «эквивалентной деформации» неблагоприятно сказывается на механических свойствах проволоки.

4. Установлены величины значений «эквивалентной деформации» в очаге деформации металла при знакопеременной схеме волочения проволоки, имеющие меньшие значения по сравнению со ступенчатой схемой.

5. Методом математического моделирования выявлен наиболее эффективный, с точки зрения обеспечения проработки структуры, знакопеременная схема волочения проволоки, обеспечивающая максимальную проработку центра заготовки и симметричную, относительно оси заготовки, проработку поверхности.

6. Для практического применения полученных результатов в дальнейшем необходимо провести уточненные расчеты с учетом возникающего упрочнения.

Список литературы

1 Lampman, S. R. ASM Metals HandBook[Текст]. /S. R. Lampman ;Vol. 19 - Fatigue and Fracture. ASMInternational, 2002, 2592 p.

2 ГОСТ 9453–75. Волоки-заготовки из твердых спеченных сплавов для волочения проволоки и прутков круглого сечения [Текст]. – М : Изд-во стандартов, 1987. – 27 с.

3 Сорокин, В. Г. Марочник сталей и сплавов[Текст]. / А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]; под общ.ред. В. Г. Сорокина. — М.: Машиностроение, 1989. — 640 с.

4 Перлин, И. Л. Теория волочения[Текст]. / И. Л. Перлин, М. З. Ерманок. – М.:Металлургия, 1971. – 448 с.

УДК 622.882

ИЗУЧЕНИЕ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКОСОВ ВНЕШНИХ ОТВАЛОВ

STUDYING THE SUBSTANTIATION OF RATIONAL WAYS FOR RECULTIVATION OF EXTERNAL DUMP SLOPES

Калыбеков Т., Сандибеков М.Н., Рысбеков К.Б., Асылханова С.
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан
sandibekovm@mail.ru

Kalybekov T., Sandibekov M.N., Rysbekov K.B., Asylkhanova S.
Kazakh national research technical university named after K.I. Satpayev
sandibekovm@mail.ru

Аннотация: Показана важность изучения обоснования рациональных способов рекультивации отсыпаемых откосов внешних отвалов при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Приведены наилучшие доступные технологии и эффективные способы формирования отвалов и их откосов с учетом восстановления в соответствии с горнотехническими и горно-геологическими условиями разрабатываемого месторождения. Предлагается в северных и степных территориях с целью исключения выполаживания откосов создание двух-трех ярусов по высоте отвала и растительного покрова за счет посева семян многолетних и однолетних трав.

Ключевые слова: карьер, внешний отвал, откос, нарушение земель, рекультивация, зарастание.

Abstract: The importance of studying the substantiation of rational methods of reclamation of dumped slopes of external dumps during the open mining of mineral deposits is shown. The best available technologies and effective methods for the formation of dumps and their slopes are given, taking into account the restoration in accordance with the mining and mining and geological conditions of the field under development. It is proposed to create in the northern and steppe territories with the aim of avoiding the flattening of slopes the creation of two or three tiers in height of the heap and vegetation cover by sowing seeds of perennial and annual grasses.

Key words: quarry, external dump, slope, land disturbance, reclamation, overgrowing.

На открытых разработках рекультивация нарушенных земель направлена на восстановление продуктивности и народнохозяйственной ценности земель,

а также на повышение качества окружающей среды в районе освоения недр. С этой целью составляется проект рекультивации земель, нарушенных горными работами, для приведения их в состояние, пригодное для хозяйственного использования, а также улучшения условий техногенной местности. Выбор направления рекультивации земель производится с учетом характера нарушения территории района освоения месторождения, эколого-экономической целесообразности восстановления их плодородной ситуации для дальнейшего целевого назначения и разрешенного применения. При этом учитывается фактическое и прогнозируемое положение их к моменту реабилитации, перспективы развития региона в соответствии с документами территориального планирования и градостроительного зонирования, а также техническая обоснованность проведения рекультивационных работ.

Открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых представляет собой комплексный источник негативного влияния на окружающую среду и характеризуется наиболее высокой степенью опасности, интенсивности и воздействия на компоненты природы. В результате открытых горных работ пространство отрицательного воздействия их на окружающую природную среду в несколько раз превышает площадь, занятую горными выемками. Поэтому предприятия, нарушающие почвенный покров на предоставленных в пользование земельных участках, обязаны выполнить проектные документации по рекультивации нарушенных земель для приведения их в состояние, пригодное для хозяйственного использования. Горнодобывающие отрасли должны осуществлять работы, направленные на реабилитацию биологической продуктивности, хозяйственной ценности нарушенных земель и улучшение ситуации территории эксплуатируемого месторождения, с учетом хозяйственных, природоохранных и санитарно-гигиенических требований. Поэтому решение проблемы возобновления продуктивности нарушенных земель и снижение последствий вредного воздействия открытых разработок на окружающую природную среду имеет важное экономическое и социальное значение при освоении богатств недр. Горнотехническая рекультивация отсыпанных внешних отвалов в зависимости от вида последующего освоения восстановленных земель включает проведение следующих основных работ: выравнивание поверхности отвала для нанесения плодородного слоя почвы; выполаживание откосных зон отвалов; покрытие плодородным почвенным слоем предохранительных террас и откосов отвалов. Поэтому изучение формирования откосов внешних отвалов в соответствии с проектными решениями, а также с целесообразным расположением района разрабатываемого месторождения и параметров рекультивируемой площади откосной части отсыпаемого отвала, имеет важное значение при выборе рациональных способов ее рекультивации.

Восстановление и сохранение биоразнообразия устанавливает основные положения по идентификации нарушенных земель и применение наилучших доступных технологий рекультивации, основанные на использовании комплекса работ по возвращению земель, территорий, ландшафтов и экосистем

до состояния, приближенного к первоначальному [1-3]. Нарушение земель может привести к негативным изменениям почвенного слоя и гидрологического режима местности, качественного состояния земельного покрова, а также ухудшает сохранение, восстановление и устойчивое использование биологических ресурсов района разработки месторождения. Принятая технология рекультивации нарушенных земель и экономическая целесообразность реализации охраны окружающей среды в районе освоения недр должна отвечать условиям технической возможности их применения. В связи с этим принятые способы сохранения биоразнообразия местности надлежащим образом, по всей вероятности, удовлетворяли требованиям реабилитации нарушенного пространства.

В районах расположения предприятий по добыче и переработке минерального сырья одним из основных источников нарушения и загрязнения различных компонентов природной среды являются техногенные массивы, образованные отходами, различающиеся по своему составу и свойствам [4]. Экологические проблемы, связанные с накоплением огромного количества отходов горнодобывающего и перерабатывающего комплексов, регулируется разработкой технологии консерваций месторождений для предотвращения негативного воздействия их на окружающую среду района и потерь полезных компонентов, включая природоохранного и санитарно-гигиеническую рекультивацию. Далее на основании проекта, составленного в соответствии с требованиями существующих нормативных документов, решаются проблемы формирования поверхности и откосов внешних отвалов с учетом направления восстановления нарушенной территории [1-2].

Земельные площади под многоярусными отвалами и одноярусными одинаковой емкости и высоты, отличаются друг от друга в пределах нескольких процентов. Предпочтение следует отдавать двух-трех ярусным отвалам с высотой яруса до 30 м [5-7]. Затраты на превышение занимаемых земельных площадей практически компенсируются почти двукратным снижением объема работы по транспортировке вскрыши по сравнению с работой при одноярусном отвале одинаковой емкости. Для интенсификации рекультивации отвалов вблизи населенных пунктов необходимо создавать растительный покров за счет посева семян многолетних и однолетних трав с предварительной подготовкой поверхностей откосов и берм. Опытные отсыпки мелкодисперсных пород на откосе полигона показали, что распределение материала происходит в форме клина из-за разницы углов естественного откоса отсыпаемых и подстилающих пород. По результатам исследований сделан вывод, что для реабилитации откосов отвала необходимо формировать отвалы с высотой яруса до 30 м.

Капсульный почвообразователь можно эффективно применять для рекультивации больших площадей, в том числе, и откосных поверхностей. В этом случае сокращается расход материала рекультиванта и в течение одного вегетационного периода воссоздается почвенный покров рекультивируемых отвалов и создается травяной покров [8-11]. Применение капсул для

реабилитации совместно с биогенным обеспыливанием приводит быстрому зарастанию откосов и обеспечивает условия восполнения семенного и питательного запасов, необходимых для успешного биогенного образования почвенного и дернового покрова в экстремальных условиях ветровых и водных влияний. Несмотря на относительно высокое плодородие наносимого гумусированного слоя, зарастание поверхности реплантоземов происходит медленно, наблюдается смыв почвенного мелкозема с террасы на террасу, потеря продуктивного слоя почвы и некоторое снижение эффективности рекультивационных работ.

Выполнение горнотехнической рекультивации рекомендуется путем формирования отвалов террасами, без выколаживания откосов, гребнистой и частично спланированной поверхностью корнеобитаемого слоя, сформированного из смеси потенциально плодородных пород (ППП) и верхнего плодородного слоя почвы (ПСП), полученной в процессе снятия верхнего вскрышного уступа совместно с ПСП и укладки его на поверхность отвалов [12]. Биологическая рекультивация проводится сплошным или очаговым способом, посевом трав и посадкой древесно-кустарниковых пород с использованием биопрепаратов, лесонасаждением для рекреационных целей. Проведены исследования ПСП в районах расположения угледобывающих предприятий, ППП верхнего вскрышного уступа карьера и буртов хранения с целью оптимизации состава корнеобитаемого слоя на поверхности отвалов для лесохозяйственного направления рекультивации.

Импактные зоны горнодобывающих предприятий являются территорией кризисного состояния природной среды в результате практически полного разрушения почвенно-растительного покрова, являющегося природным ресурсом особого назначения и обладающего наивысшей потребительской стоимостью [13]. В результате для северных районов обоснована технология восстановления поверхности и откосов отвалов без нанесения ПСП в соответствии с образованием почвы, согласно которой она является продуктом взаимодействия материнской породы, климата, рельефа и времени.

На частично выположенном рельефе точки отбора почвенных проб и соответственно укосов фитомассы расположены на трех гипсометрических уровнях: в верхней, средней и нижней частях склоновой поверхности либо равномерно по площади на ровной плоскости, на гребневом рельефе - на вершине, склонах двух экспозиций и во впадине [15]. Причем распределение запасов фитомасс по профилю гребней подчиняется следующей закономерности: наибольшие их значения наблюдаются во впадинах и на откосах северной части, а склоны южной экспозиции и особенно вершины отличаются разреженным обедненным травостоем.

Бермы созданы в тыловой части солеотвала и по бокам, а на фронтальной части отвала на заключительных стадиях отвалообразования [15]. Они формируются снизу-вверх: две технологические и одна транспортная. Ширина технологической бермы составляет 3,5 м, а транспортной - 8 м, она выбрана минимальная, но с условием обеспечения технологических нужд. На

техническом этапе рекультивации солеотвалов проводят грубую и чистовую планировку плоской вершины и специальную подготовку поверхности внешних откосов. На внешних откосах солеотвалов формируют специальный микрорельеф, обеспечивающий устойчивость грунтового слоя на откосах и более равномерное распределение влаги, необходимой для нормального питания и развития растений, при этом предварительного выполаживания откосов не производится.

Транспортировка ППП осуществлялась самосвалами, после этого и они разгружались на площадке перед породным предохранительным валом [16]. Затем ППП перемещались бульдозером на откос отвала, часть породы при перемещении сталкивалась на откосе, часть оставалась на бровке поверхности отвала в качестве предохранительного вала. Рекультивацию высоких скальных отвалов технически возможно проводить только в верхней части откосов ярусов, инициируя тем самым самозарастание нижней части, поскольку при описанной технологии разгрузки грунт на откосе размещается в виде клина из-за разницы углов естественного откоса пород.

Геоморфологические характеристики отвалов обуславливают необходимость проведения специализированных работ на склоновых участках крутизной от 15 до 45° [17]. Закрепление почвенно-растительного покрова на относных частях отвалов требует первоначальной стабилизации поверхности откосов. Наиболее эффективным в данных условиях является использование таких геосинтетических материалов, как геомат, георешетка и геосетка. Геомат представляет собой трехмерную структуру из переплетенных волокон из полипропиленового и полиэфирного сырья. При укреплении им откосов, защита от эрозии достигается благодаря выполнению функций покрытия, повышающего устойчивость откосов, и фильтра, предотвращающего вынос тонких почвенных фракций с атмосферными осадками. Анализ возможных технологий закрепления поверхности показал, что оптимальный результат в местных условиях достигается покрытием откосов геоматом.

В районах Заполярья, из-за низкой плотности населения, поселения размещаются чаще всего на большом расстоянии от карьеров, поэтому с позиции снижения возможного пыления откосов, с эстетической точки зрения, а также с целью уменьшения затрат на рекультивацию целесообразно предусматривать биологическую рекультивацию только для откосов, обращенных к близко расположенному населенному пункту [18]. В этой связи при решении задачи рекультивации откосной части внешних отвалов следует принять во внимание местонахождение разрабатываемого месторождения относительно поселения.

Рекультивация откосов внешних отвалов на открытых горных работах должна осуществляться в соответствии с требованиями наилучших доступных технологий по восстановлению техногенно нарушенных земель. Негативное воздействие накопленного количества складированных отходов горных предприятий на окружающую среду уменьшается при своевременной рекультивации их поверхностей. При формировании отвалов с высотой яруса

до 30 м появляется возможность создания растительного покрова на откосах в результате посева семян многолетних и однолетних трав. Быстрое зарастание откосов отвала происходит при обеспечении условий восполнения семенного и питательного запасов капсульным почвообразователем. Опрыскивание откосов отвалов, разбрасывание семен растительности и косточки древесных пород по склону откоса при соответствующих условиях могут прорасти и в последующем закрепляться на откосе. Сформированные отвалы террасами без выполаживания откосов следует рекультивировать посевом трав и посадкой кустарников с использованием биопрепаратов, лесонасаждением для рекреационных целей. На частично выположенном рельефе наибольшая часть фитомассы расположены во впадинах, а откосы и вершины отвалов обеднены травостоем. При обеспечении устойчивости грунтового слоя на откосах и равномерном распределении влаги без предварительного выполаживания откосов достигается нормальное питание и развитие растений. В случае рекультивации верхней части откосов высоких скальных отвалов активизируется самозарастание нижнего участка откоса. При укреплении откосов отвалов геоматами повышается их устойчивость и происходит стабилизация поверхности. Расположенные близко к населенному пункту откосы отвалов, в случае биологической рекультивации, эти поверхности становятся живописными и снижают пыление окружающей среды.

Таким образом, изучение обоснования рациональной технологии рекультивации откосов внешних отвалов показывает важность заключения о формировании их в процессе отвалообразования в соответствии с заранее принятыми в проекте решениями по восстановлению нарушенных земель. При этом следует обратить внимание на целесообразность принимаемых намерений по реабилитации техногенно нарушенных территорий, занятых складированными вскрышными породами, данным горно-геологическим и горнотехническим условиям месторождения. В северной и степной зоне наиболее эффективным способом отсыпки отвалов в соответствии с требованиями последующей рекультивации их поверхностей является создание на откосах ярусов по высоте отвала с целью исключения выполаживания его откоса.

Статья подготовлена по проекту ГФ МОН РК 2018/АРО5131591.

Список литературы

1 ГОСТ Р 57446-2017. Наилучшие доступные технологии. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия.

2 Kalybekov, T., Rysbekov, K., & Zhakypbek, Y. (2015). Efficient land use in open-cut mining. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 287-291. <https://doi.org/10.1201/b19901-51> Scopus Author ID: 57191974391

3 Kalybekov T., Sandibekov M.N., Rysbekov K.B. Management of land reclamation on opencast mining. Resources and resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. - 363p. (pp.37-53).

4 Стратегическая программа исследований технологической платформы твердых полезных ископаемых. Москва, Санкт-Петербург. 2017. <https://Docplayer.ru/68858061-strategicheskaya-programma-issledovaniy-tehnologich>.

5 Архипов А.В., Земцовская Е.В. Преимущества формирования породных отвалов с малой высотой яруса. www.giab-online.ru/files/Data/2016/2/153_159_2_2016.pdf.

6 Архипов А.В., Земцовская Е.В. Выбор рациональной конструкции и высоты породных отвалов / Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли - формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов. Апатиты. СПб.: «Реноме», 2014. -Т. 1. -С.171-177.

7 Архипов А.В., Земцовская Е.В. Возможность рекультивации породных отвалов в условиях Заполярья и влияние рекультивации на отвалообразование // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 4. С. 110–121.

8 Заболотских В.В., Белобородова О.А. Разработка технологических подходов к рекультивации отработанных карьеров на территории Самарской Луки // «Евразийское Научное Объединение». № 2 (24). 2017. -С.53-56.

9 Заболотских В.В., Белобородова О.А. Проблемы и перспективы биологической рекультивации отработанных карьеров на территории Самарской Луки / Сборник трудов шестого международного экологического конгресса "Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕЛРПТ. Самара-Тольятти, Россия: Изд-во «ЕЛРПТ». 2017. Т.2. Научный симпозиум «Биотические компоненты экосистем». -С.37-45.

10 Заболотских В.В., Белобородова О.А. Разработка технологических подходов к рекультивации отработанных карьеров на территории Самарской Луки // «Евразийское Научное Объединение». № 2 (24). 2017. -С.53-56.

11 Шапарь А.Г., Скрипник О.А., Романенко В.Н., Гулямов Б.С., Дихтяр А.А. Технологии ускоренной биологической рекультивации скальных отвалов. <https://cyberleninka.ru/.../tehnologii-uskorennoy-biologicheskoy-rekultivatsii-skalnyh>.

12 Андроханов В.А., Лавриненко А.Т. Обоснование технологии создания и формирования корнеобитаемого слоя поверхности отвалов угледобывающих предприятий КАТЭКа для биологической рекультивации. <https://cyberleninka.ru/article/.../obosnovanie-tehnologii-sozdaniya-i-formirovaniya-k>.

13 Мельников Н.Н. Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли / Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли - формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов: сборник

докладов Всероссийский научно-технической конференции с участием иностранных специалистов. Апатиты. СПб.: «Реноме», 2014. -Т. 1. -С.9-26.

14 Лавриненко А.Т., Остапова Н.А. Изучение лимитирующих факторов биологической рекультивации на отвалах гребневой формы отсыпки угледобывающих предприятий Хакасии // Уголь. №12. 2018. -С.98-101.

15 Комаров Ю.А. Обоснование технологии высотного складирования пород-отходов при разработке калийных месторождений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург. 2016. old.spmi.ru...aspirant-doctorant...2016...komarov.pdf.

16 Земцовская Е.В. Горнотехническая рекультивация отвалов скальных пород на примере АО «Ковдорский ГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. -С. 384-391.

17 Алексеенко А.В., Дребенштедт К. Оценка воздействия на окружающую среду и рекультивация отвалов карьера по добыче мергеля // Научные ведомости. Серия Естественные науки. 2018. Том 42. № 3. -С. 467-477.

18 Архипов А.В., Решетняк С.П. Особенности рекультивации породных отвалов на территориях Севера и Заполярья России // Вестник Кольского научного центра РАН. №2 (25). 2016. -С.39-43.

УДК 622.271.324

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ В КАРЬЕРАХ

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR CONTAINER TECHNOLOGY OF MINING MATERIAL TRANSPORTATION IN PITS

Кузьмин С.Л., Тюрбит А.Н.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

decan_2008@mail.ru

Kuzmin S.L., Turbbit A.N.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

decan_2008@mail.ru

Аннотация: В статье предлагается новая технология перевозки горных пород в контейнерах без строительства в карьере транспортных коммуникаций и обладающей технологическими и энергосберегающими преимуществами. Этими преимуществами является: одновременная экскавация горных пород, транспортирование пород по кратчайшему расстоянию, низкий коэффициент тары контейнера и мобильность комплекса подъемных машин, что снизит энергозатраты и стоимость транспортировки горной массы. Главная

особенность предлагаемой технологии заключается в том, что все виды оборудования для контейнерных перевозок просты в производстве и могут быть созданы непосредственно в условиях горных предприятий.

Ключевые слова: контейнерная технология, глубокий карьер, подъемная машина, открытые горные работы, экскаваторно-транспортный комплекс.

Abstract: The article proposes a new technology for transporting rocks in containers without the construction of transport communications in the pit and with technological and energy-saving advantages. These advantages are: simultaneous excavation of rocks, transportation of rocks over the shortest distance, low container tare coefficient and mobility of a complex of lifting machines, which will reduce energy costs and the cost of transporting mine material. The main feature of the proposed technology is that all types of equipment for container transportation are simple to manufacture and can be created directly in the conditions of mining enterprises.

Key words: container technology, deep pits, lifting machine, open cast mining, excavation and transportation complex.

Комплектация технологического оборудования глубоких карьеров является самым сложным вопросом в технологии существующих карьеров. Это показывает, что они содержат ряд противоречий, требующих новых решений. По мере понижения горных работ в карьерах увеличивается расстояние автомобильных перевозок, поэтому требуются самосвалы большей грузоподъемности. Увеличение грузоподъемности самосвалов нарушает оптимальное соотношение емкости ковша призабойного экскаватора к вместимости кузова автосамосвала. Для уменьшения времени простоя дорогостоящих самосвалов необходимо увеличить мощность ковша и стандартный размер экскаватора. Увеличенные размеры самосвалов требуют расширения автомагистралей, площадок для маневрирования и т. д., что значительно снижает объемы добываемой руды [1]. Это способствует увеличению числа внутрикарьерных перегрузочных пунктов, применяемых при комбинированных перевозках.

Основные недостатки, присущие традиционным технологиям с автомобильным, железнодорожным и комбинированным автомобильным и железнодорожным транспортом: высокий коэффициент тары кузова самоходных транспортных средств; малые преодолеваемые уклоны транспортных коммуникаций в карьере; снижение производительности экскаваторов, автомобильно-экскаваторных и железнодорожных комплексов из-за недостаточного снабжения экскаваторов необходимым количеством транспортных средств для снижения времени простоя дорогостоящего оборудования; потребность в дополнительных энергоемких экскавациях при перегрузке горной массы на внутрикарьерных складах при комбинированном транспорте; высокий уровень образования пыли при перегрузке горной массы на складах, при транспортировке и складировании; увеличенная высота

подъема породы на внешних отвалах и потребность в дополнительном оборудовании для сброса (бульдозер, экскаватор горной массы); увеличение текущего коэффициента вскрыши из-за отклонения от оптимального направления формирования промежуточного борта карьера при размещении транспортных коммуникаций и перегрузочных складов на временных опорах в рабочей зоне карьера; невозможность автоматизации процесса транспортирования, подъема горной массы из карьера [2].

Основными недостатками горной технологии с конвейерным транспортом в карьере являются: трудности взрывных работ в зоне размещения конвейерных линий; необходимость энергоемкого дробления пустой породы перед загрузкой на транспортер; время простоя добывающего оборудования при реорганизациях, техническом обслуживании и ремонте конвейерных линий и дробильного оборудования; увеличение текущего коэффициента вскрыши из-за отклонения от оптимального направления скорости понижения при размещении дробильных установок и конвейерных линиях на понижаемом остатке в рабочей зоне карьера.

Основной недостаток предлагаемых ранее специальных подъемников для карьеров (для самосвалов, железнодорожных вагонов, скипов) - необходимость строительства на борту карьера стационарного маршрута направляющих и подъемных механизмов. Негибкость этой схемы транспортировки, в условиях динамически развивающейся рабочей зоны карьера с проведением взрывных работ ограничивает зону, обслуживаемую подъемником, или оказывает неблагоприятное воздействие на режим горных работ при размещении маршрута подъемника на оставленных опорах в рабочей зоне карьера.

Для внедрения на открытых горных работах предлагается контейнерная технология транспортировки горной массы, которая позволит повысить показатели открытых горных работ по экономии энергоресурсов и сохранению окружающей среды на качественно новом уровне [3].

Это будет включать:

1. Одноразовое разрыхление породы во время загрузки контейнера которое снижает потребление энергии.

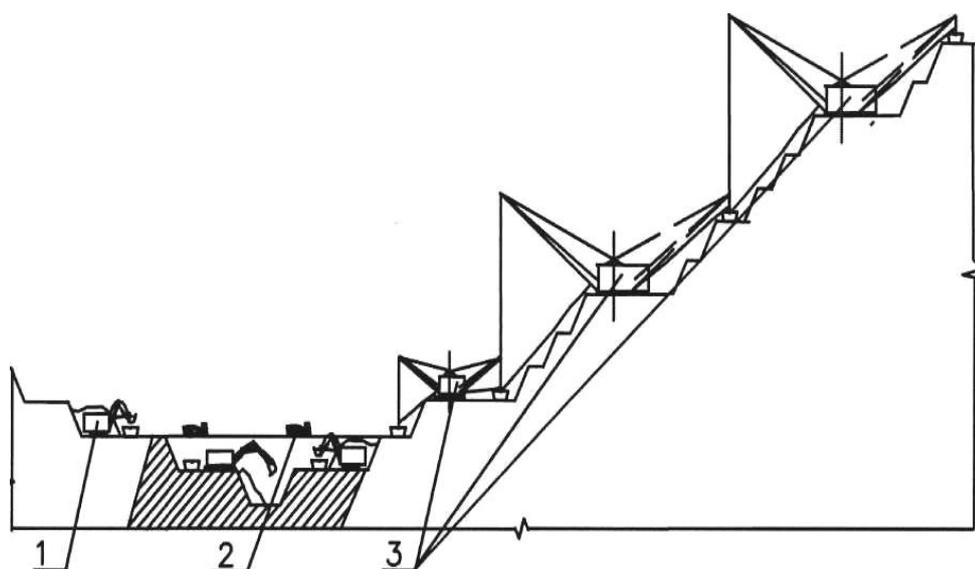
2. Доставка горной массы путем транспортировки сборного узла контейнера к месту подъема осуществляется на минимальные горизонтальные расстояния дороги, что приводит к уменьшению необходимого парка транспортных средств, удельного расхода топлива, шин и выброса вредных газов в атмосферу.

3. Коэффициент тары транспортного контейнера (0,25-0,30) значительно меньше коэффициента автомобильного кузова (0,70-0,80) или железнодорожного транспорта (0,80-0,82).

4. Комплекс контейнерных подъемных машин является мобильным, что позволяет перейти на новое место при производстве взрывных работ или другой уступ в карьере с последовательной разработкой карьеров. Увеличиваются возможности регулирования и поддержания режима оптимальных горных работ.

Главная особенность предлагаемой технологии заключается в том, что все оборудование для контейнерных перевозок не сложно в изготовлении и может быть произведено на горнодобывающих предприятиях. В качестве подъемных машин могут быть использованы шагающие карьерные экскаваторы.

В соответствии с основной технологической схемой карьера-подъемные контейнеры устанавливаются на уступах карьера для поднятия контейнеров с нижних уступов в верх (согласно рисунку 1). На промежуточных платформах осуществляется очистка загруженных и пустых контейнеров. После подъема на уступы, где работает железнодорожный транспорт, производится выгрузка контейнера непосредственно в вагоны.



1 - загрузка горной массы экскаватором в контейнеры; 2 - доставка авто контейнерными носителями до места подъема на уступах; 3 - увеличение высоты подъема горных пород в контейнерах с помощью подъемных установок

Рисунок 1 – Схема энергосберегающей контейнерной технологии на открытых горных работах

Технологическая схема с применением карьерных подъемных установок обладает достаточной надежностью, гибкостью и разнообразием. Это позволяет постепенно увеличивать высоту подъема, размещать комплексы подъемных установок на уступах карьера, распределять или объединять грузопоток по типам горной массы.

В результате конструкторских работ был разработан контейнер, его конструкция показана на рисунке 2. Контейнер представляет собой сварную конструкцию коробчатого сечения 1 [4]. Его днище створчатое, открываемое с помощью двух рычагов 2, входящих в петли днища 3. При открывании контейнера при разгрузке производится воздействие на верхний конец рычага и он, проворачиваясь на оси 4, выходит из петли днища, при этом груз

высыпается за счет собственного веса. Возврат колена происходит посредством пружины сжатия, расположенной в опоре 5. На боковых сторонах располагаются упоры 6, служащие для захвата контейнера при транспортировке.

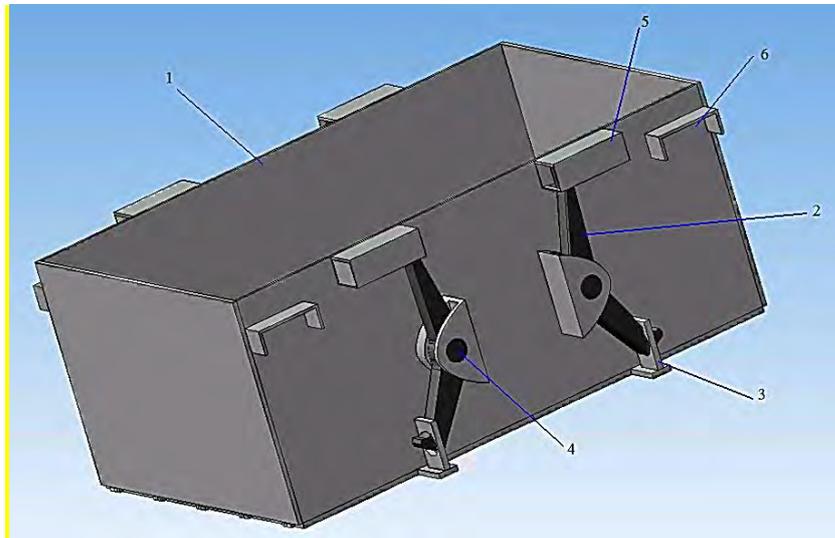


Рисунок 2 – Конструкция контейнера

Прочностные расчеты всех деталей контейнера производятся в программе APM WinMachine 9.7 в разделе APM Studio. Результаты прочностных расчетов представлены в виде графических диаграмм. Основные показатели: напряжение, перемещения, нагрузка, коэффициент по запасу усталостной прочности, главные напряжения, деформация. Деталь, разбитая на конечно-элементную сетку, импортируется в программу Structure 3D. Для детали подбирается нужный материал и производится расчет. Ниже представлены диаграммы расчета стенки контейнера (в соответствии с рисунком 3).

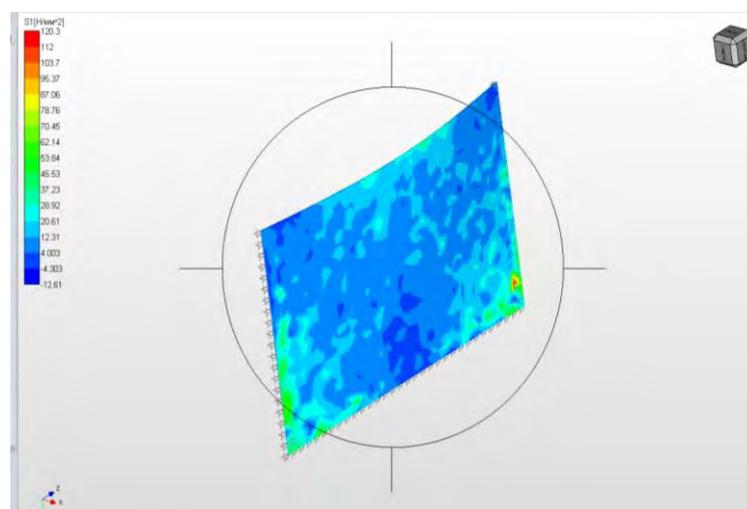


Рисунок 3 – Диаграмма главных напряжений

Прочностной расчет стенок контейнера показал следующие результаты: максимальное напряжение – $137,5 \text{ Н/мм}^2$, минимальный коэффициент запаса по пределу текучести – $3,617$, максимальные главные напряжения – $83,85 \text{ Н/мм}^2$, минимальные – $5,211 \text{ Н/мм}^2$, минимальный коэффициент запаса по усталостной прочности – 3 , максимальная деформация – $0,000296 \text{ мм}$.

Разработанное грузозахватное устройство должно соответствовать контейнеру и производить его захват, транспортировку и разгрузку. Вид спредера показан на рисунке 4. Спредер состоит из опорной балки 1, которая оснащена прямоугольными захватами 2. Длина балки увеличивается, при этом обе стороны выдвигаются с помощью гидроцилиндров 3. Захваты передвигаются для зажима контейнера. На балке установлены гидроцилиндры 4, обеспечивающие разгрузку контейнера. Станция управления гидравликой 5 располагается на опорной балке. Для ориентации контейнера в горизонтальной плоскости используется привод с гидромотором 6.

Преимуществом разработанного оборудования является его эксплуатационная надежность, простота конструкции, возможность транспортировки крупнокусковых грузов и полная автоматизация работы. Рычажная система позволяет производить полную разгрузку контейнера и быстрое возвращение в исходное состояние. Данные контейнера будет легко изготовить силами самого горного предприятия.

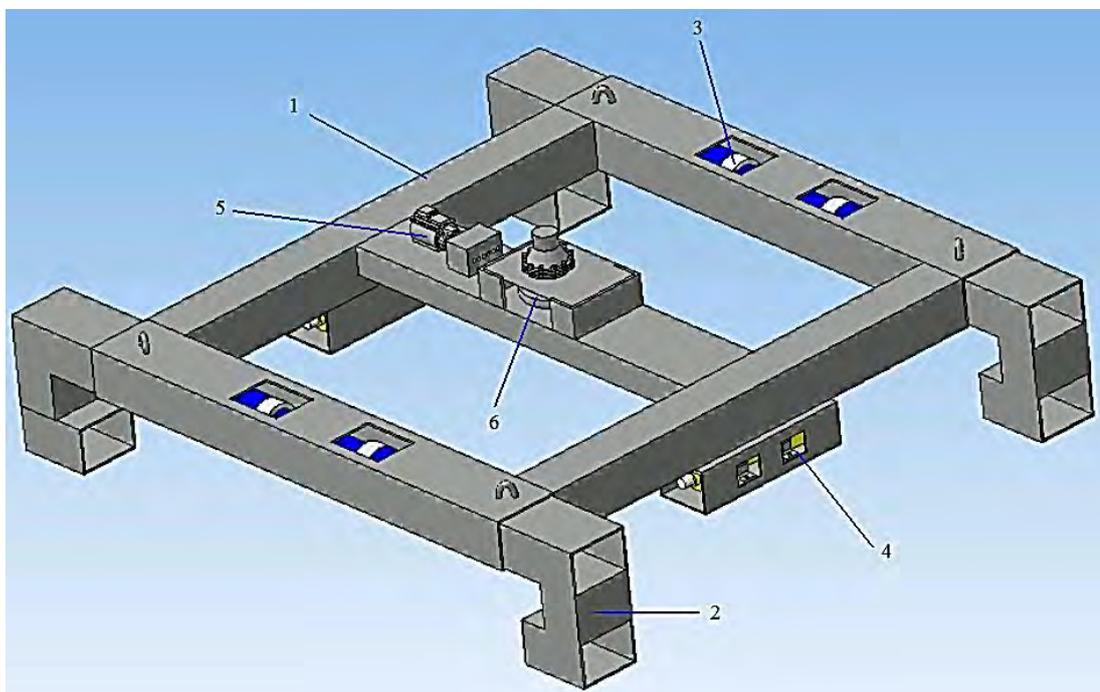


Рисунок 4 – Общий вид спредера

Контейнер со спредером показан на рисунке 5.

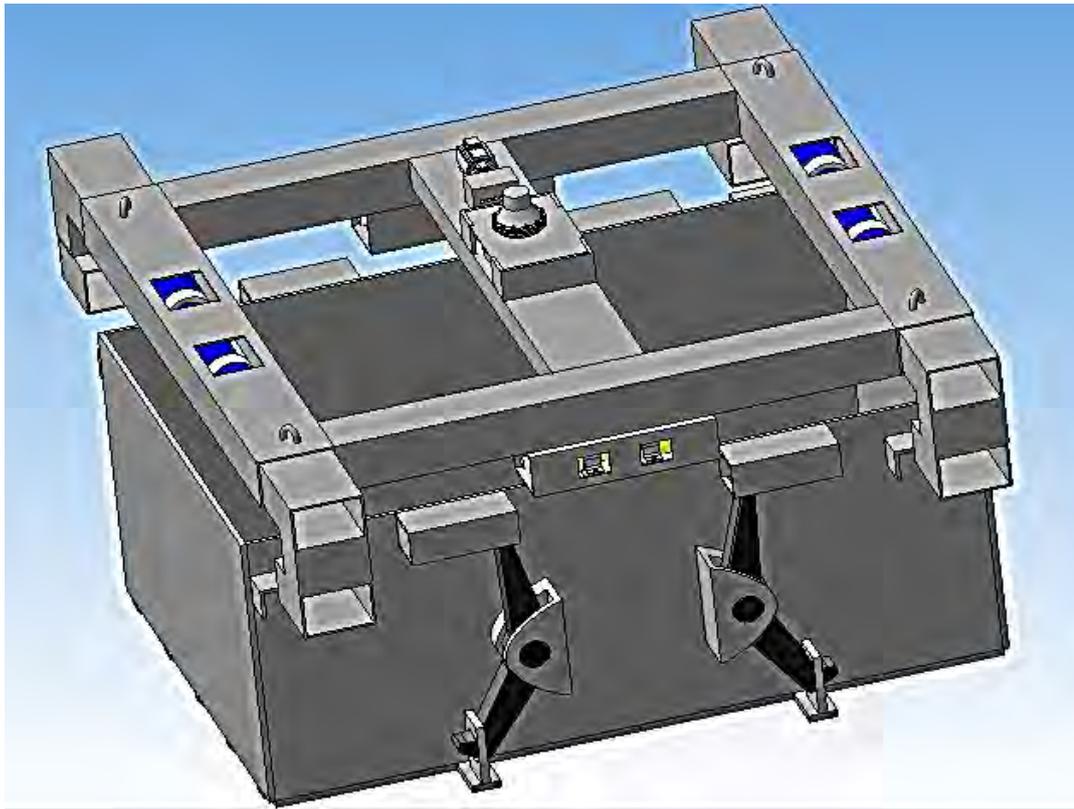


Рисунок 5 – Вид контейнера со спредером

Для захвата и открытия контейнера используются гидроцилиндры с двусторонним штоком двустороннего действия. Гидроцилиндры данного типа производятся на заказ в фирме Voeh Rexroth.

Подбираются гидроцилиндры для зацепления контейнера и его открытия. Диаметр поршня гидроцилиндра удержания контейнера определяется по формуле [5]

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}}, \quad (1)$$

где F – сила, необходимая гидроцилиндру, Н;
 p – давление в системе, $p = 16$ МПа.

Сила прижатия $P_{пр}$, кН, определяется по формуле

$$P_{пр} = \frac{k_3 \cdot P}{2}, \quad (2)$$

где P – расчетная нагрузка от веса контейнера и горной массы, $P = 1053,516$ кН;

k_3 – коэффициент запаса, $k_3=1,5$;

f – коэффициент трения, принимается равным 0,15.

$$P_{\text{гг}} = \frac{1,5 \cdot 1053,516}{2} = 790,137 \text{ кН.}$$

Нагрузка на один гидроцилиндр с учетом установки двух гидроцилиндров определяется по зависимости [6]

$$F = k_H \cdot \frac{P_{\text{гг}}}{2}, \quad (3)$$

где k_H – коэффициент неравномерности распределения нагрузки, принимается 1,25.

$$F = 1,25 \cdot \frac{790,137}{2} = 493,836 \text{ кН,}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 493836}{3,14 \cdot 16 \cdot 10^6}} = 0,1983 \text{ м.}$$

Принимается из нормального ряда значений для диаметров (ГОСТ 6540-68) диаметр $d = 0,2$ м. Рабочий ход гидроцилиндра $h = 0,6$ м принимается по технологии производимых работ. Рабочая скорость принимается в пределах $V = 0,2$ м/с по аналогии с существующими конструкциями.

Гидравлическая схема захватного устройства приводится на рисунке 6.

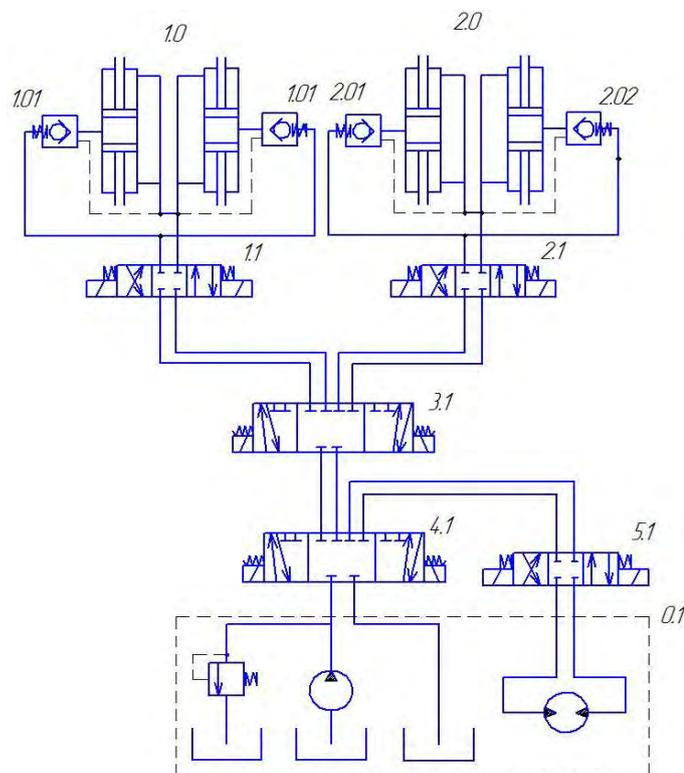


Рисунок 6 – Гидравлическая схема спредера

На рисунке 7 показана деформация деталей захвата при подъеме контейнера при применении для его изготовления стали 10ХСНД, полученная с помощью методов компьютерного моделирования.

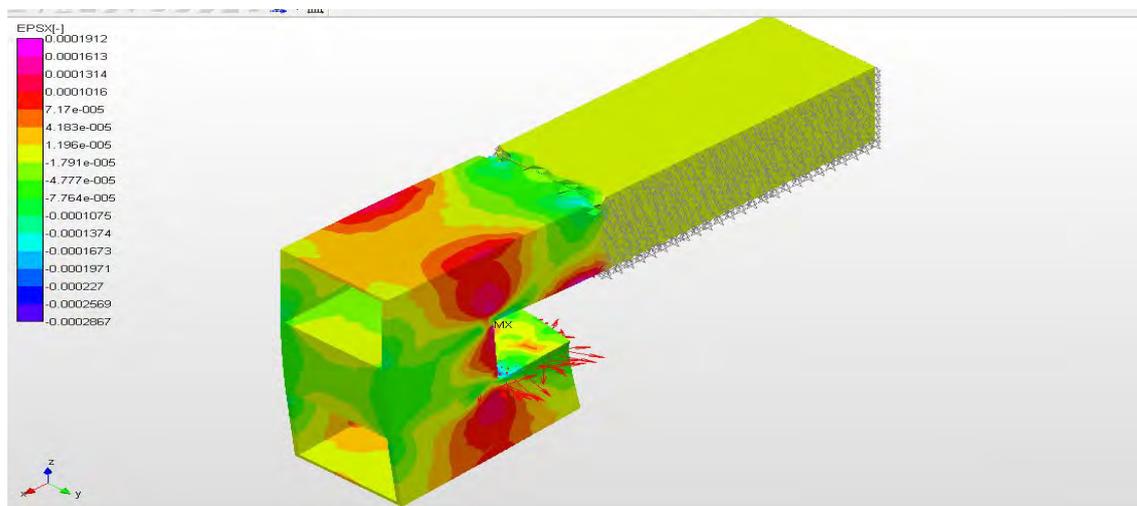


Рисунок 7 –Схема деформации деталей захвата при подъеме

Контейнерная технология при ее применении в глубоких карьерах позволяет решить весь комплекс проблем основных технологических процессов открытых горных работ. Использование сменных контейнеров в карьерах значительно изменит принципы формирования экскаваторов и транспортных комплексов, повысит их производительность и эффективность экскаваторов по основной работе. Замена устаревших горнотранспортных машин на прогрессивное оборудование обеспечит повышение транспортной безопасности, повысит степень использования фронта горных работ и производственных мощностей карьеров. Важнейшим преимуществом контейнерных технологий является перспектива автоматизации ряда операций транспортного процесса в карьере. Все оборудование контейнерных технологий может быть создано силами самого горного предприятия.

Список литературы

1 Хохряков В.С. Лель Ю.И., Ворошилов Г.А. К оценке энергетической эффективности транспортных систем карьеров в условиях рыночной экономики. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции 20-23 сентября 2005г. Проблемы карьерного транспорта, УрО РАН ИГД, Екатеринбург, 2005. - с.18-24.

2 Юдин А.В. Теория и технические решения транспортно-перезагружающих систем в карьерах. - Екатеринбург: Издательский дом USMU. 2011. - 507 с.

3 Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Маулямбаев Т.И., Осадчий В.И., Орынгожин Е.С. Применение контейнерной технологии для открытых горных работ. Монография. – Алматы: Aleshan, 2015. – 96 с.

4 Патент 33091. Оборудование для транспортирования породы на горных работах / Битимбаев М.Ж., Кузьмин С.Л., Тюрбит А.Н.; опубл.17.09.18, Бюл. №35

5 Свешников В. К., Усов А. А. Станочные гидроприводы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1982. – 464 с.

6 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. – М.: Машиностроение, 2006 – 1526 с.

УДК. 622.236.4

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ АКТИВНОГО ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД В УСЛОВИЯХ КАБЕРА

THE METHOD OF THE ACTIVE ROCK CRUSHING IN QUARRY CONDITIONS

Искаков Р.Ж.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

Rusik91R@mail.ru

Iskakov R. Zh.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Rusik91R@mail.ru

Аннотация: В статье предусматриваются методы определения размеров зоны активного дробления пород на карьерах за счет модернизации их технологий с использованием инновационных методов определения параметров расположения зарядов взрывчатого вещества (ВВ) в массиве пород.

Ключевые слова: массив, пород, взрывчатое вещество, продукты детонации, разрушения породы, взрывная полость, трещина,

Abstract: The article provides methods for determining the size of the zone of active crushing of rocks in quarries by upgrading their technologies using innovative methods for determining the parameters of the location of explosive charges in the rock mass.

Key words: array, rock, explosive substances, the products of detonation, rock breaking, blast cavity, crack

Принятая модель разрушения массива пород взрывом

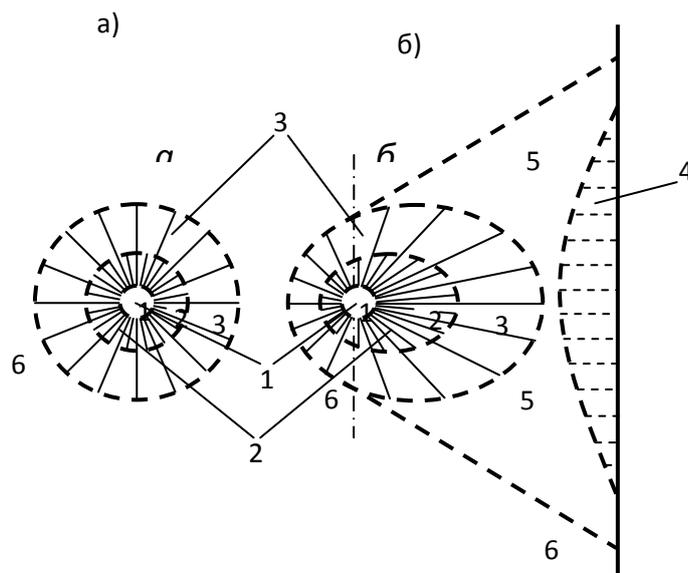
Разрушение массива горных пород действием взрыва заряда взрывчатого вещества (ВВ) зависит от конкретного сочетания многочисленных влияющих факторов. Среди них основными являются физико-технические свойства

массива пород химико-физические характеристики ВВ и условия взрывания. Для выявления этого взаимодействия рассмотрим физическую картину взрывного разрушения массива крепких горных пород, в основу которой положена наиболее удачная, получившая экспериментальное подтверждение и ставшая классической схема действия взрыва, предложенная Г.И.Покровским [110].

Согласно принятой модели разрушения массива пород, после практически одновременной детонации заряда ВВ в момент, когда детонационная волна доходит до поверхности заряда, соприкасающейся со средой, на породу действуют взрывные газы с весьма высоким давлением. В результате в среде возникает волна сжатия, которая сжимает, раздавливает и переводит в текучее состояние слой породы на контакте продукты детонации – среда. Материал среды здесь будет испытывать состояние всестороннего сжатия. Размеры образовавшейся при этом зоны сжатия (раздавливания) (рисунок 1, зона-2) всецело зависят от давления, развиваемого в продуктах детонации (ПД) в этой зоне, прочностных и упругих свойств окружающей заряд породы.

При дальнейшем удалении от центра взрыва деформации, вызванные растягивающими напряжениями, прекращаются и новые трещины не образуются. Однако возникшие ранее трещины могут распространяться еще на некоторое расстояние благодаря перераспределению напряжений около их концов, где происходит концентрация растягивающих усилий. Размеры зоны радиальных трещин (рисунок 1, зона-3) зависят от трещиноватости массива пород, их физико-механических свойств, передачи энергии ВВ в волну напряжений и времени их воздействия на среду (рисунок 1).

На размеры этих зон существенное влияние оказывают и расширяющиеся газообразные продукты детонации. В остальной части среды за пределами отмеченных зон волна сжатия приводит к накоплению некоторого запаса потенциальной энергии упругой деформации, которая реализуется в работу разрушения лишь при наличии свободной поверхности. В этом случае при достижении волной сжатия свободной поверхности частицы приграничного слоя получают возможность расширяться в ее сторону. Такое расширение породы будет передаваться все более удаленным слоям среды. В результате возникает волна растяжения (или отражения), распространяющаяся от свободной поверхности во внутрь массива. Эта волна вызывает растягивающее напряжение в породе, а так как предел прочности горных пород на разрыв в десятки раз ниже предела их прочности на сжатие, то это приводит к интенсивному разрушению среды. Трещины, образовавшиеся под действием волны растяжения, развиваются перпендикулярно направлению ее распространения (рисунок 1, зона-4). В некоторых случаях наложение прямых и отраженных волн приводит к явлению откола [360].



1 – взрывная полость; зоны: 2 – раздавливания; 3 – радикальных трещин; 4 – трещин, развиваемых от свободной поверхности; 5 – совокупного разрушения; 6 – неразрушенная

Рисунок 1 - Разрушение массива пород при взрыве цилиндрического заряда ВВ в безграничной среде (а) и вблизи свободной поверхности (б)

Участок породы, ограниченный с одной стороны зоной радиальных трещин, с другой – зоной трещин, идущих от свободной поверхности, разрушается под совокупным действием волновых процессов и газообразных продуктов детонации (рисунок 1, зона-5). При взрыве в безграничной среде после падения давления ПД в полости сильно сжатая вокруг нее порода незначительно смещается в сторону оси заряда, возбуждая волну разряжения, в результате чего в среде появляются кольцевые тангенциальные трещины.

В целом основное разрушение скальных горных пород происходит под действием волн напряжений, возбуждаемых в среде взрывом заряда ВВ, и самих газообразных продуктов взрыва. При этом видимый контур массива не изменяет своего начального положения. Далее оставшиеся в полости продукты взрыва до разрушают отбиваемую часть массива и сообщают ей дополнительную кинетическую энергию. В результате раздробленная масса получает механическое движение и занимает определенное конечное положение в пространстве. В сильно уплотняемых породах (грунтах) роль волновых процессов в разрушении сводится к минимуму и разрушение осуществляется за счет сообщения среде кинетической энергии газообразных продуктов взрыва ВВ.

Таким образом, для решения поставленных в проекте задач достаточно ограничиться рассмотрением так называемой первой стадий взрыва, когда мощная волна сжатия, образованная при взрыве, разрушает породу на контакте заряд – среда (дробит или переводит в пластическое состояние), от границы

зоны раздавливания распространяется зона радиальных трещин. Процесс до наступления полного разрушения мало отличается от явлений, сопровождающих взрыв в безграничной среде. Эта стадия кратковременная, но за это время расходуется большая часть энергии ВВ. В течение этой стадии камуфлетная полость цилиндрической формы достигает предельного объема и осуществляется основное разрушение отбиваемой части массива пород.

Закономерности перемещения стенок цилиндрической взрывной полости в массиве пород

Общепризнано, что среди различных эффектов взрыва в среде особенно наглядным является образование полости. Оно интегрально включает в свой состав все элементы развития процесса взрыва. Поэтому кинематические характеристики перемещения взрывной полости в массиве пород (скорости перемещения во времени, предельный радиус, время образования полости) могут быть положены в основу расчета параметров буровзрывных работ.

Закономерности развития камуфлетной полости при взрыве сферического, реже цилиндрического заряда в неограниченной среде рассмотрены в работах [281]. Большинство из них носит чисто теоретический характер, а полученные уравнения для определения основных параметров движения полости громоздки и сложны. Кроме того, в этих работах отсутствует инженерный метод расчета размеров полости при взрыве наиболее распространенного на практике цилиндрического заряда в ограниченной среде. В связи с этим исследования закономерностей движения камуфлетной полости при взрыве цилиндрического заряда в массиве с двумя свободными поверхностями весьма актуальны.

Как было отмечено, после детонации заряда ВВ по горной породе распространяется мощная волна напряжений, которая сильно сжимает (разрушает) слой породы на своем пути. Однако границы продуктов детонации, через некоторое время начинают отставать от фронта волны сжатия, газообразные продукты детонации дальше развивая уже начатый процесс разрушения, переизмельчают среду в зоне контакта и осесимметрично расширяют зарядную камеру. Иначе говоря, вступает в силу этап динамического безволнового расширения камуфлетной полости.

Газовая (взрывная) полость при симметричном развитии достигает своего предельного объема, который определяется свойствами среды, применяемого ВВ и условиями взрывания. Иначе говоря, ПД осесимметрично будут расширяться до тех пор, пока их давление не упадет до значения P_c , равного прочностному сопротивлению среды в условиях взрывного нагружения [74]. За все это время продолжается процесс разрушения массива. Пока волна сжатия не достигнет свободной поверхности, картина движения среды и развитие разрушений происходят так же, как при камуфлетном взрыве. Симметричное развитие взрывной полости продолжается примерно вдвое дольше, поскольку влияние свободной поверхности скажется после прихода отраженной от свободной поверхности волны разгрузки.

Таким образом, для определения максимальных размеров взрывной полости при взрыве цилиндрического заряда в массиве с двумя свободными поверхностями достаточно ограничиться рассмотрением камуфлетной стадии взрыва. В дальнейшем вследствие влияния волновых процессов и разрушения уступа нарушается осесимметрическое развитие полости. Вступает в силу вторая стадия – стадия ускоренного движения раздробленной части массива. В такой.

Максимальная зона расширения продуктов детонации может быть рассчитана как максимальная величина перемещения границы раздела ПД – среда. Подвижки границы раздела связаны с раздавливанием среды, с ее дроблением и уплотнением (рисунок 2). Вытесненный из полости объем породы растет от минимального до максимального значения и определенным образом распределяется в зоне разрушения. Следовательно, масса этого объема переменная. Ее величина, приходящаяся на единицу длины заряда, определяется из соотношения [49]:

$$M = \pi(r^2 - r_i^2) \rho_i, \quad (1)$$

где r – расстояние от оси заряда до границы раздела ПД – среда;

r_n – начальный радиус полости;

ρ_o – плотность вытесненной породы.

По аналогии с [448] плотность уплотненной породы принимается как постоянная величина. Использование массы породы на единицу длины заряда связано с тем, что действительное конечное расширение стенок полости по высоте заряда одинаково. Кроме того, характер движения каждого элементарного слоя по высоте полости за соответствующие моменты с учетом времени распространения детонационной волны также одинаков.

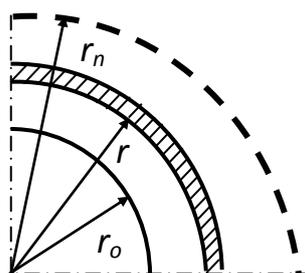


Рисунок 2 - Схема к установлению закономерностей движения взрывной полости

В уравнении (1) в начальный момент движения $M \approx 0$, как это кажется на первый взгляд. Дело в том, что до начала движения, по крайней мере, некоторый элементарный слой среды уже уплотнен или раздроблен действием

ударной волны (УВ). Поэтому $r_n = r_0 (1 + \square)$, где \square – относительная толщина слоя, уплотненного (или раздробленного) УВ до начала движения границы раздела под действием газообразных продуктов детонации; r_0 – радиус заряда.

Применив теорему об изменении количества движения тела переменной массы, для вытесненного и вовлеченного в движение объема породы можно написать:

$$u \frac{d(Mu)}{dr} = S(P - P_c). \quad (2)$$

где M – масса среды, вовлеченной ПД в механическое движение;

u – текущая скорость границы раздела ПД – среда;

S – текущая площадь поверхности границы раздела;

P – текущее давление ПД;

P_c – прочностная характеристика среды в условиях взрывного нагружения.

Как видно из экспериментов, высота газовой полости при взрыве цилиндрического заряда близка к его высоте. Тогда площадь поверхности раздела границы, приходящаяся на единицу высоты заряда:

$$S = 2\pi r. \quad (3)$$

Так как прочностная характеристика скальных горных пород в условиях всестороннего сжатия больше $P_k = 200$ МПа, расширение ПД на рассматриваемом участке можно принять происходящим энтропически по закону $PV^3 = \text{const}$ [136], откуда

$$P = P_n (r_0/r)^6, \quad (4)$$

где P_n – начальное давление ПД.

Подставив значения M , S и P из (1), (3), в уравнение (2) и взяв производную по r от левой части, получим

$$\frac{du^2}{dr} + \frac{4ru^2}{r^2 - r_0^2} = \frac{4r}{\rho_0 (r^2 - r_0^2)} \left[P_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^6 - P_c \right]. \quad (5)$$

После интегрирования уравнения (5) в соответствующих пределах получен закон изменения скорости стенок полости от ее радиуса в виде:

$$u = \frac{1}{\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1} \sqrt{\frac{P_H}{\rho_0} \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \left[\left(\frac{r_0}{r}\right)^2 - 2\right] - \frac{P_c}{\rho_0} \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \left[\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 2\right]} + \frac{P_H}{\rho_0} - \frac{P_c}{\rho_0}.$$

Обозначив r_0/r через \bar{r} , после несложных преобразований это уравнение можно привести к виду

$$u = \frac{(\bar{r}^2 - 1)\sqrt{P_i - P_c\bar{r}^4}}{\bar{r}^2(\bar{r}^2 - 1)\sqrt{\rho_i}} = \frac{\sqrt{P_i - P_c\bar{r}^4}}{\bar{r}^2\sqrt{\rho_i}}. \quad (6)$$

Для того чтобы пользоваться уравнением (6), нужно знать значения величин P_H , P_c

Как было сказано, расширение полости под действием газообразных продуктов начинается с момента отделения фронта ударной волны от поверхности раздела ПД – среда. К этому времени в замкнутом объеме в продуктах детонации устанавливается одинаковое среднее давление, значение которого вдвое меньше давления на фронте детонационной волны. Следовательно, это давление для рассматриваемой стадии взрыва является начальным, т. е.:

$$P_H = 1/8\rho_{ВВ}D^2, \quad (7)$$

где $\rho_{ВВ}$ – плотность ВВ;

D – скорость детонации ВВ.

Для максимального давления в полости, образованной при взрыве цилиндрического заряда, предопределяющего прочностную характеристику массива пород в условиях динамического нагружения нами получено

$$P_c = \sigma_{сж} \left(\frac{\rho_0 c^2}{\sigma_{сж}} \right)^{1/4}. \quad (8)$$

где $\zeta_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа;

ρ_0 – плотность породы, кг/м³; c – скорость звука в породах, м/с.

Как видно из уравнения (8), прочностная характеристика зависит как от сжимаемости, так и от предела прочности породы на раздавливание. Выражение в скобках представляет собой безразмерную величину, учитывающую условие всестороннего динамического нагружения среды действием взрыва ВВ. Иначе говоря, это число показывает, во сколько раз на самом деле увеличивается сопротивляемость пород разрушению в ближней зоне взрыва при всесторонней динамической нагрузке.

Уравнение (8) выражает закон изменения скорости стенок взрывной полости от ее относительного радиуса. По уравнению можно вычислить скорости стенок полости, соответствующие заданному значению относительного радиуса до тех пор, пока полость не достигает своего предельного положения. После достижения такого положения полость перестает быть, существовать так как слой породы, окружавший полость полностью переходит в сыпучее состояние.

Расчетное определение скоростей перемещения и времени расширения взрывной полости

Для определения нужных кинематических параметров движения стенок взрывной полости прочностные характеристики исследованных пород, рассчитанные по формуле (8) приведены в таблице 1. Начальное давление ПД P_n , рассчитанное по формуле (7) последовательно применялись равными 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500 МПа.

Таблица 1 - Прочностные характеристики исследованных пород

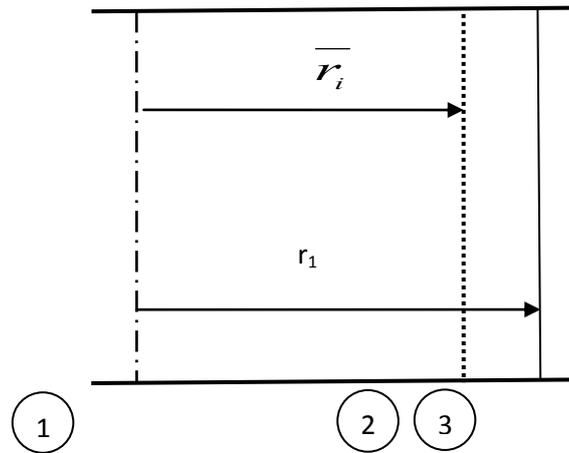
Породы	P_c , МПа
Альбитофир (С)	603
Диорит-порфирит (С)	843
Известняк мраморизованный (С)	520
Известняк глинистый (С)	614
Магнетитовая руда богатая (С)	1103
Магнетитовая руда бедная (С)	934
Мартит пористый (С)	401
Песчаник кварцевый (С)	706
Порфирит диабазовый (С)	787
Сиенит порфиновый (С)	706
Скарн пироксен-эпидотовый (С)	805
Туф альбитофирный (С)	699

Время расширения взрывной полости на расстояние, равное отрезку между смежными радиусами полости (τ) при радиусе скважины $r_0=0,125$ м определялось по формуле [210]:

$$\tau = \frac{0,25(\bar{r}_{i+1} - \bar{r}_i)}{u_i + u_{i+1}}, \quad (9)$$

где \bar{r}_i, \bar{r}_{i+1} - относительные радиусы полости соответственно на рассматриваемом и последующем положении радиуса полости (рисунок 3); u_i, u_{i+1} – соответствующие этим положениям скорости стенок

ПОЛОСТИ.



1-ось заряда, 2- \bar{r}_i -положение полости на рассматриваемом участке;

3- \bar{r}_{i+1} -положение полости на последующем участке

Рисунок 3 - Схема к определению времени расширения взрывной полости

Общее время расширения полости до предельного положения зависит от значений P_c и P_n . В одних и тех же породах с увеличением P_n растет время образования полости до предельного положения. Фрагмент развития полости до предельного положения, обработанный в программной среде Unity Pro приведен на рисунке 4.

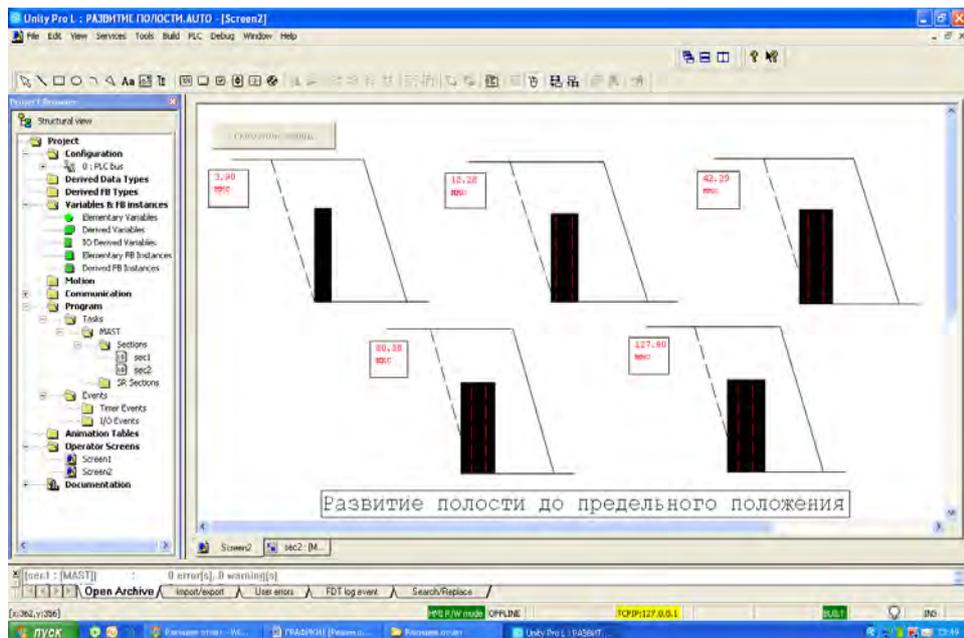


Рисунок 4 - Развитие полости до предельного положения в программной среде Unity Pro

Так, в альбитофире указанное время составляет от 80 до 234,6 мкс, в диоритах Сарбая - от 51,37 до 143,77 мкс, в известняке мраморизованном – от 136,0 до 229,2 мкс и т.д. В рассмотренных породах время образования максимальной полости не превышает 274 мкс. В технической литературе полностью отсутствует информация о кинематических характеристиках движения взрывной полости в массивах пород.

В статье разработана методика определения предельного относительного радиуса взрывной полости в массиве пород. По ней рассчитаны возможные предельные относительные радиусы полости во всех рассмотренных породах при различных начальных давлениях продуктов детонации. На основе предельного относительного радиуса полости - фундаментального результата взрыва в среде установлены зависимости для определения радиусов зон раздавливания и трещинообразования. Они учитывают комплексное взаимодействие физико-механических свойств пород, детонационных характеристик применяемого типа ВВ. По этой методике определены возможные радиусы указанных зон во всех породах при различных начальных давлениях продуктов детонации. На основе установленных радиусов зон раздавливания и трещинообразования разработана методика определения размеров зоны активного дробления в различных породах. Приведены их возможные размеры во-всех рассмотренных породах при различных начальных давлениях продуктов детонации.

Список литературы

- 1 Проект промышленный разработки Сарбайского месторождения на 1995 – 2000 гг. - Том 1. - Санкт – Петербург: Инв.№ 50595 июнь 1993. - 110 с.
- 2 Проект промышленный разработки Житикаринского месторождения хризотил асбеста на 2012 – 2016 гг. Институт горного дело им. Д.А.Кунаева. - Алматы, 2012.
- 3 Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. –М.: Недра, 1969. –360с.
- 4 Машанов А.Ж. Механика массива горных пород. – Алма-Ата, 1961. – 210 с.
- 5 Ракишев Б.Р., Машанов А.А., Абдылдаев Э. К. Структура массива и деформируемость горных пород. Монография – Алматы, 2011. – 281с.
- 6 Парамонов Г.П., Господариков А.П., Ковалевский В.Н. Влияние трещиноватости горного массива на выбор технологии добычи блоков природного камня // Взрывное дело. – М.: ЗАО «МВК по взрывному делу при АГН», 2010. - №104/61. - С.74.
- 7 Латышев О.Г., Корнилков М.В., Осипов И.С., Берсенев Г.П. Оценка активизируемых взрывом нарушений как критерий прогноза качества дробления горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - № 2. - 2010. – С.49.
- 8 Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом. Учебник для ВУЗов. –

М.: МГГУ, 1994. – 448с.

9 Барон Л.И., Личели Г.П. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке. –М., 1966. – 136 с.

10 Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах.– М., 1957. – 276с.

11 Ракишев Б. Энергоемкость механического разрушения горных пород. Алматы: Баспагер, 1998. – 210 с.

УДК 621.7

MODULAR CONSTRUCTION PANELS IN THE BODIES OF TRANSPORT VEHICLES

МОДУЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПАНЕЛЕЙ В КУЗОВАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Henryk Dyja¹, Jarosław Lulkiewicz¹, Szymon Szkudelski¹, Witold Polećd¹,
Maciej Radaszewski²*

¹*Łukasiewicz Research Network-Metal Forming Institute, Poznań, Poland;*

²*Specialized Enterprise "bocar" Ltd., Wrzosowa, Poland*

henryk.dyja@inop.poznan.pl

*Генрик Дыя¹, Ярослав Лулкевич¹, Шимон Шкудельски¹, Витольд Полечд¹,
Мацей Радашевски²*

¹*Научно-исследовательский институт обработки металлов им. Лукасевича,
Познань, Польша; ²Специализированное предприятие ООО "bocar", Вжосова,
Польша*

henryk.dyja@inop.poznan.pl;

Abstract: The paper presents selected results of the project realised by bocar company in collaboration with the ŁUKASIEWICZ–Metal Forming Institute and Albatros Aluminium Company. Within the project, elaboration of innovative assembly of the special vehicle bodies used mainly by the fire brigades. At the moment, special cars are built with the body design based on steel profiles and with the application of composite materials and/or steel and aluminium sheets. The main purpose of the project is to elaborate a technology of vehicle body production with the use of module aluminium panels.

This work presents the results of investigation of the geometry of the assembling panels, as well as the results of investigations of designing an angular connector of the assembling panels and the technology of manufacturing it by the method of forging.

Key words: connectors, aluminum, modular mounting panels, fire trucks

Аннотация: В статье представлены отдельные результаты проекта, реализованного компанией bocar совместно с Институтом металлообработки

имени Лукасевича и алюминиевой компанией "Альбатрос". В рамках проекта разрабатывается инновационная сборка специальных кузовов автомобилей, используемых в основном пожарными бригадами. В настоящее время строятся специальные автомобили с кузовной конструкцией на основе стальных профилей и с применением композитных материалов и/или стальных и алюминиевых листов. Основной целью проекта является разработка технологии изготовления кузова автомобиля с использованием модульных алюминиевых панелей.

В данной работе представлены результаты исследования геометрии сборочных панелей, а также результаты исследований проектирования углового соединителя сборочных панелей и технологии его изготовления методомковки.

Ключевые слова: разъемы, алюминий, модульные монтажные панели, пожарные машины

Introduction

Both in Poland and around the world, the bodyworks currently applied in fire engines are based on polyester and glass steel structures connected with thermoformed composite components (i.e. ABS and PP) or steel metal sheets [1]. Plastic bodyworks (fig. 1 b) contain elements combined using bonding technologies, whereas traditional bodyworks based on stainless steel and aluminium are most frequently connected by welding or riveting (fig. 1a). During the operation of fire engines, which work in difficult conditions, bodywork components are frequently damaged (fig. 1c), being among the most important elements from the visual, functional, and technical perspective [4]. Currently, when a vehicle is damaged, the entire bodywork structure is usually replaced. Therefore, the assembly and disassembly time, as well as the ease of replacement of particular components of the structure are very significant factors for the operation of special vehicles. When designing new vehicles, it is required to use materials and technologies that reduce the negative effect of cars on the environment [3].

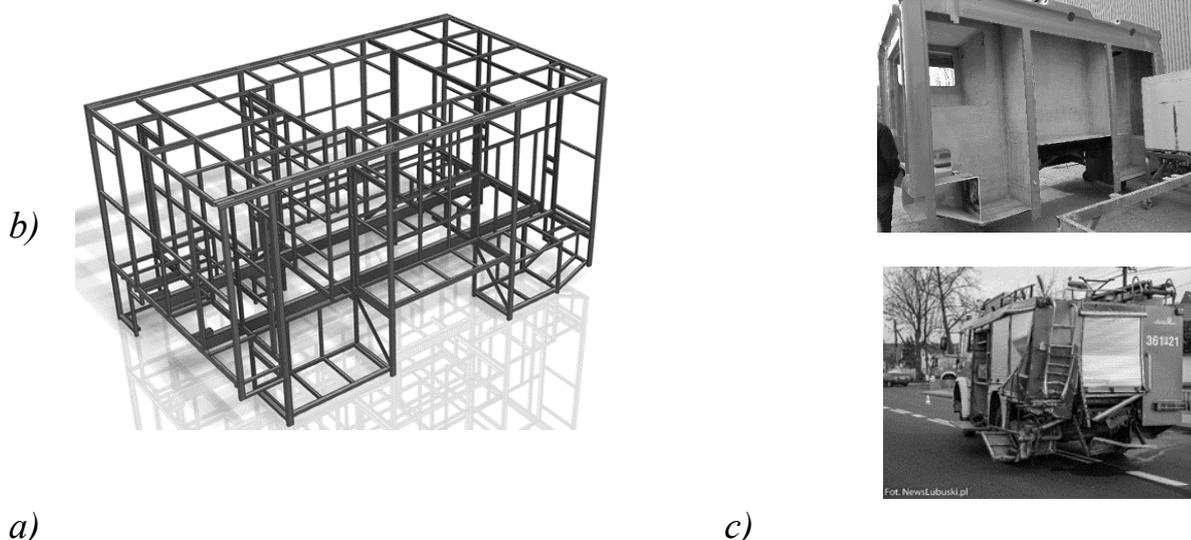


Fig. 1. Current car bodywork a) steel bodywork - welded b) composite bodywork, c) damaged vehicle

As part of the project, a bodywork installation method for special vehicles to be used in fire service has been developed, characterised by modular bodywork construction with profiles made of aluminium alloys. Currently, there has been an increase of the average consumption of aluminium components for the production of trailers, semi-trailers, buses, trams and wagons. The designed bodywork with frame structure consists of two side panels installed on the intermediate frame of the vehicle bodywork, connected with cross beams. A side panel is composed of two aluminium profiles A and B, elastically connected along their length, in order to achieve the assumed width cut into sections of specific length, connected frontally by means of angle connectors and bolted joints. The following elements needed to be developed within the framework of the design work:

- a new method of fastening connectors in profiles,
- geometry of aluminium profiles ensuring connection into modules, as well as the possibility of bodywork internal installation,
 - technology of profile execution by extrusion,
- design of forged aluminium angle connector, which enables to execute proper modules for the installation of aluminium profiles,
 - connector forging technology,
 - simulation of connection load and endurance tests,
 - technology of assembling connectors in profiles using bolts.

There are many aluminium system solutions in the market, in which aluminium profiles with different shapes of grooves and assembly methods are used, but there is no solution for broad profiles and their application as elements of vehicle bodywork (fig. 2).

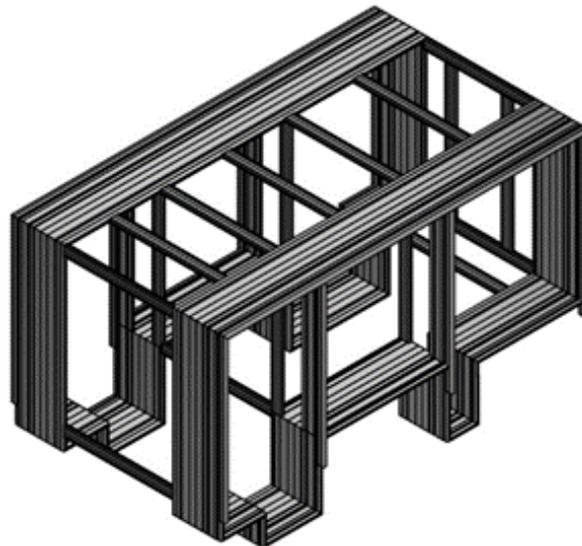


Fig. 2. Average car bodywork made entirely of profiles without shelves for equipment in the storage compartment area

Thanks to the modular structure, it will be possible to replace particular damaged profiles, which will significantly reduce the repair time and cost. Moreover, the application of modular structure made of large-sized aluminium profiles will allow to

reduce the vehicle weight at least by 10% in comparison with the currently produced bodyworks made of welded steel structures. The reduction of weight will result in enhanced vehicle stability thanks to the increase of the lateral heel angle, which will ensure the improvement of functionality and safety during the operation of traction parameters. The new solution will have a significant impact on the speed of assembly and the process of combining bodywork elements. Additional advantages include shorter braking distance (bigger safety), reduced combustion with increased range/load capacity (financial savings and reduction of negative environmental impact). The proposed solution eliminates the currently existing problems, including very limited recyclability of plastic elements and harmfulness of substances used in the manufacturing process.

This paper presents the method of connecting profiles by means of separable elements - connectors, which will be made of aluminium alloys and formed by means of the drop forging method.

Goal of the Research

The goal of the research was to develop the geometry of connector and its manufacturing technology for aluminium panels used in the construction of fire engine bodywork. This solution is characterised by its universality, and thus, the possibility of application in other vehicles, such as caravans, horse trailers or food and drink trucks.

Development of the Connector Installation Method

At the first stage of the research, the shape of the mounting hole in the profile to which the connector is inserted, was verified. Two solutions were adopted and developed. The first of them includes a shared socket in the aluminium profile, which requires the use of 2 connectors and 4 mounting sockets (fig. 3a). This solution is based on form connection (conical bolt head) and friction connection (surface clamp on the middle shelf in the profile mounting socket). The second solution with full socket, which requires the application of 1 connector and 6 mounting sockets (fig. 3b), is based on the form connection only (conical bolt head). In order to verify both versions, 40 mm wide samples were carried out (fig. 4a,b) and prepared in two options: (1) with two 3 mm thick walls and two bolts - corresponding to a double connector and (2) with one 3 mm thick wall and three bolts - corresponding to a single connector. The samples were prepared for a tensile test. In both adopted solutions, analogous materials were used for the threaded and the loaded parts. M8 class 10.9 pan head bolts were used, tightened with a torque wrench set to 20 Nm. The test speed was 3 mm/min. The test was performed at the temperature of 22.2° C.

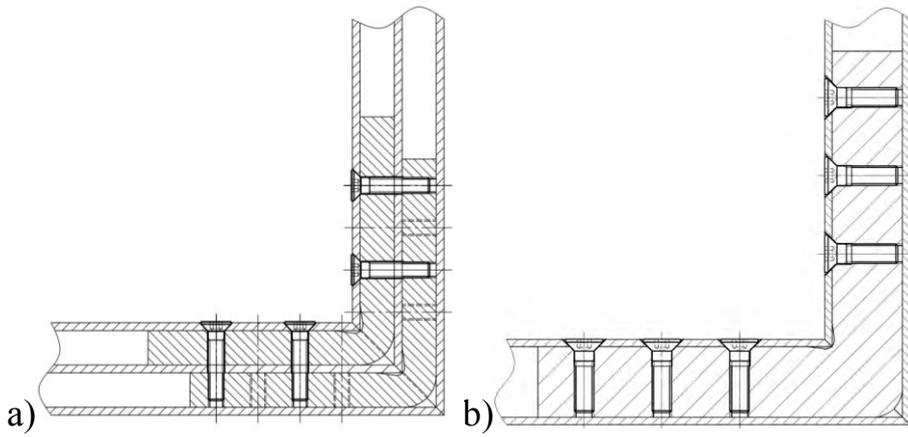


Fig. 3. Solutions related to the shape of mounting socket in combined profiles: a) profile with shared socket, b) non-shared socket

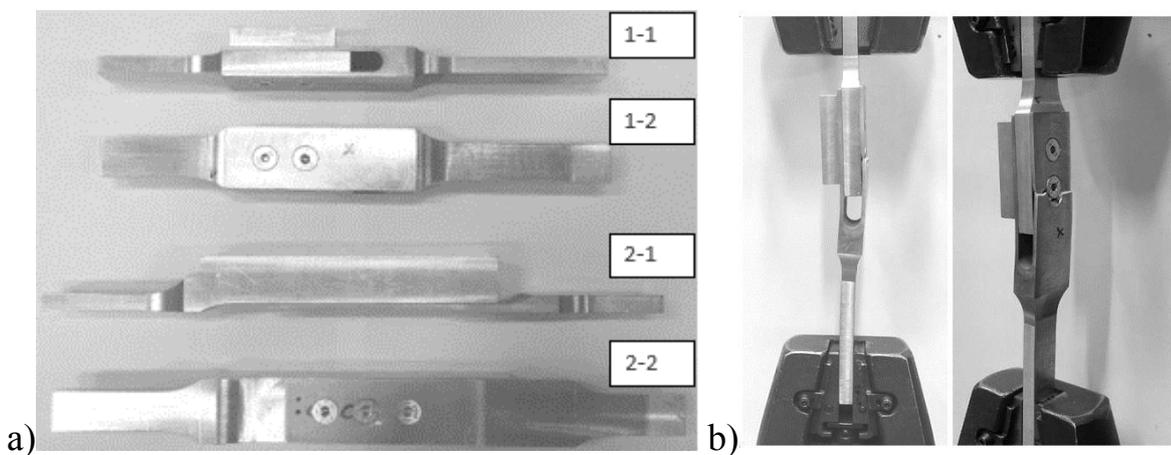


Fig. 4. Samples; two options of connection a), in universal testing machine grips b) in static tensile test

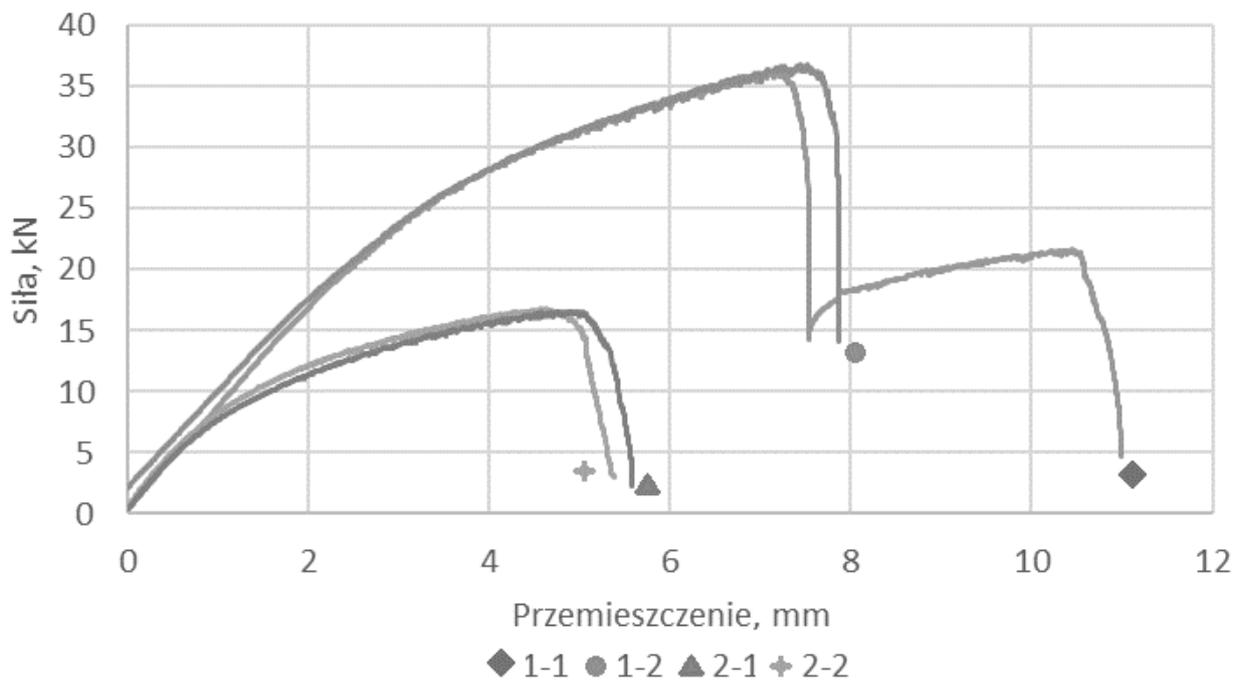


Fig. 5. Results of sample tensile test

The conducted tensile test (fig. 5) demonstrates that the value of force needed to break a connection is over twice higher in case of applying the solution with a double connector (samples 1-1 and 1-2). In case of applying samples corresponding to one connector (2-1 and 2-2), the connection was broken at the force of 15 kN.

Connector ShapeSelection

The use of double connector, despite twice higher breaking force, has certain disadvantages, such as: the problem with assembly, i.e. the precision of manufacturing cooperating elements does not allow for later ergonomic assembly, and the most important technological problem of extruding a profile with horizontal shelf (with a shared hole for 2 connectors). Taking into consideration the fact that connectors should be simple elements, which do not affect the increase of costs of target bodywork structure, the focus was on the tests of single element connector. Fig. 6 a,b,c present the changes of connector from the moment of developing the end product (fig. 6 d), which is characterised by double T cross section. The mounting socket in the profile has the same section outline, increased by mounting clearance.

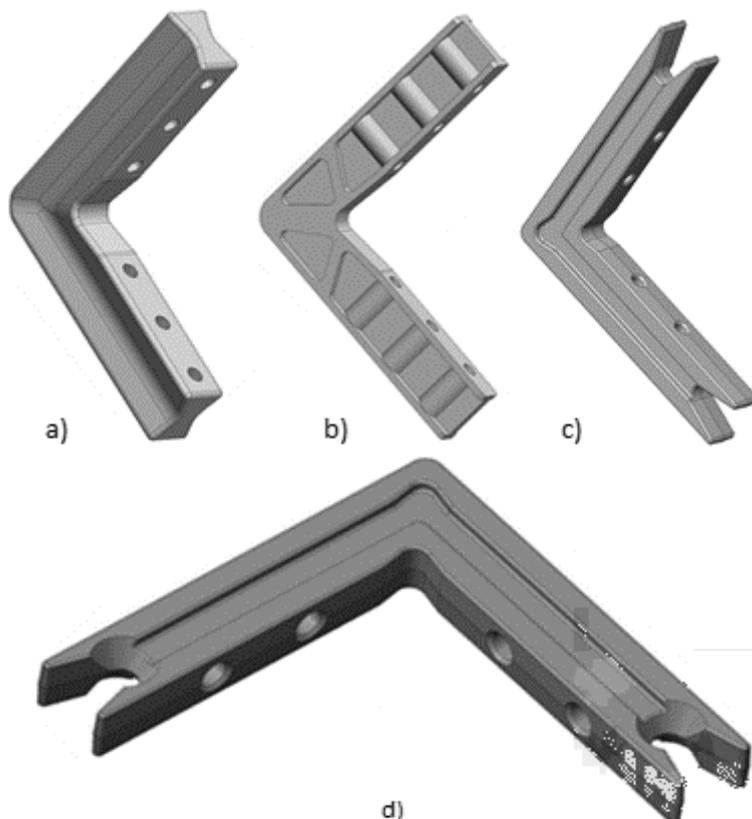


Fig. 6. History of changes - evolution of the concept of connector geometry; a), b), c), d) final product

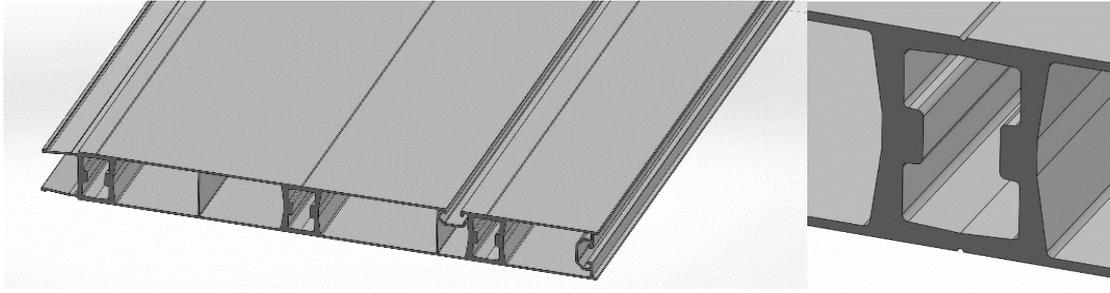


Fig. 7. Mounting profile section outline

The installation of connector in profiles is carried out by means of bolted connection (fig. 8), which is both form connection (in sockets for pan head bolts) and friction connection by surface clamping (on the profile internal surface and connector external surface). The section narrowings at the end of the connector are intended to prevent the accumulation of strain in the installation places throughout the load of the entire structure. The connector is equipped with 4 M8 threaded holes.

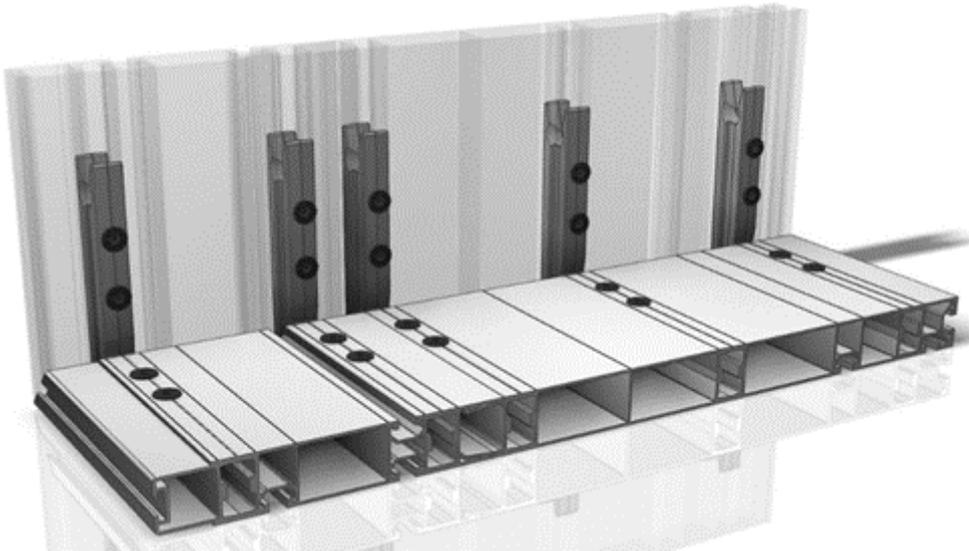


Fig. 8. Concept of connecting profiles by means of connector

In order to verify the correctness of the adopted concept of connecting profiles by means of connector, numerical simulations were performed with reference to structure elastic load, using SOLIDWORKS Simulation Professional software. The tests were performed for a connector mounted in the profile with double T cross section socket (fig. 9a) and in the profile with rectangular socket (fig. 9b).

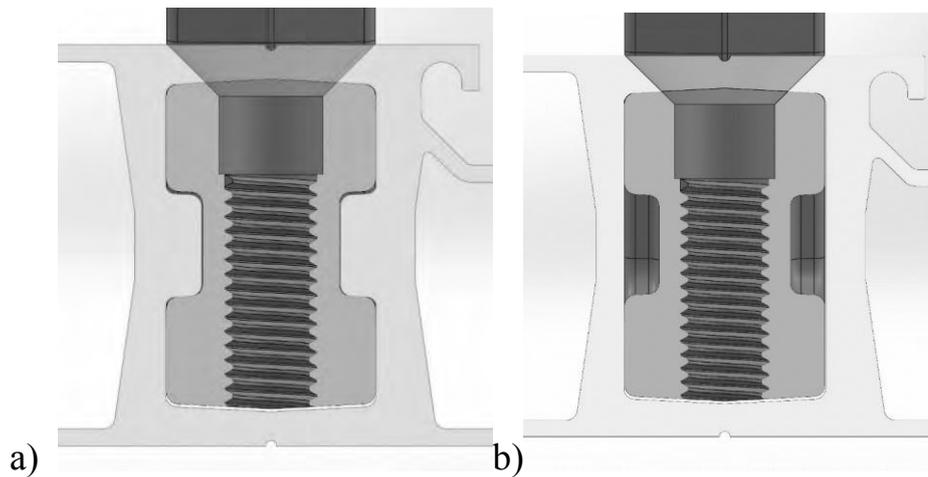


Fig. 9. Profile socket; a) with double T section, b) with rectangular section

The same parameters were adopted for each version of simulation: force value 1kN; profile length 500 mm; pan bolt tightening torque 26.1 Nm; aluminium alloy material 6063–T6. Fig. 10 presents the load method. The average Huber-Misses stress values obtained in simulation for a profile with double T section socket amounted to approximately 90 MPa, whereas for the rectangular section socket, it was approximately 140 MPa. The obtained results indicate that the use of profiles with double T section in the solution adopted for implementation is justified and affects a significant increase of rigidity of the whole structure.

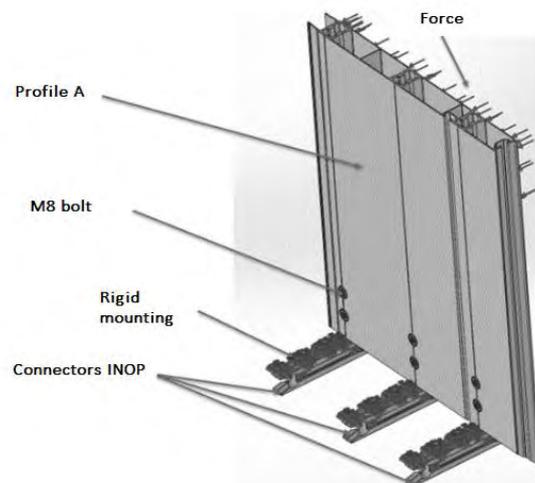


Fig. 10 Load method adopted for the numerical analysis

Manufacturing Technology

A numerical analysis of the technological process was performed for the adopted connector shape (fig. 6d). The tests were performed using Qform VX 8.2 software, intended for the analysis of thermal forming processes. The connector was executed using the drop forging technology. As part of numerical simulations, proper input geometry (fig. 11), as well as shape and size of tools were selected in Qform software. The results of simulation, i.e. force value and stress value allowed to design the optimum technological process. The parameters of forging process, such as

temperature of tools (200°C) and input (540°C), were also selected. In the connector forging process, a specially designed aluminium profile 6082, in T5 or T6 condition, executed by extrusion and cut into proper sections, is used as the input material.

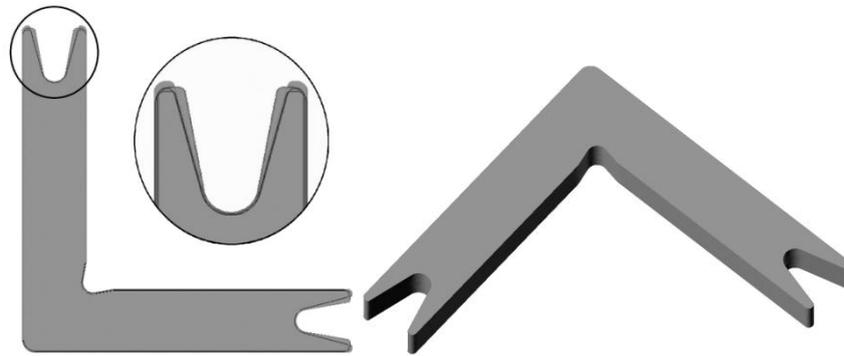


Fig. 11. Input material

Structure of Tools

Thanks to the performed simulations, tools and structure of forging device were designed. The devices for forging and punching were made from metal. Thanks to this, it was possible to create a batch for research and tests. Fig. 12 presents a test stand with an installed forging device. Fig. 13 shows forged connectors, for which optimum thermal processing conditions were developed, including the processes of forging, supersaturation and ageing in order to achieve T6 condition.

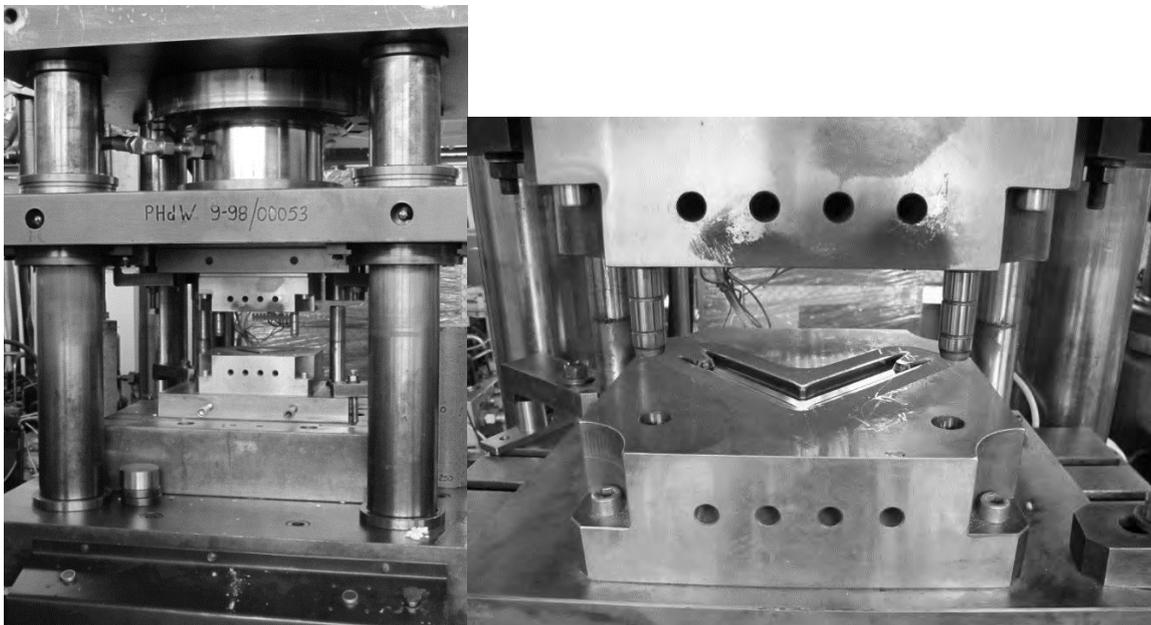


Fig. 12 Forging device on press PHDW 250



Fig. 13 Forged connectors made from aluminium alloys series 6005 and 6082

Strength samples were cut out from executed connectors from alloy 6082 and subject to tests using machine Instron 4483. The obtained values R_m for the samples upon the process of supersaturation and ageing in 195°C/3 hours ranged from 305 to 332 MPa. Not less significant from the point of view of operation will be the verification of ownership of connectors during the bending test (fig. 17) of finished elements and connectors carried out as part of further project work.

Summary

The paper presents the process of developing optimum geometry of mount connectors for panels, method of their connection and manufacturing technology. The production of new bodywork for fire engines will allow to:

- reduce the weight (frame structure) of the frame by approximately 10% in comparison with the currently applied frame, thanks to which additional space for rescue and fire-fighting equipment or additional quantity of extinguishing agent (water, foam or powder) was obtained,
- reduce the assembly time,
- achieve the repeatability of production,
- reduce the warehouse surface – a smaller number of components in a particular structure,
- enable higher use of CNC machine potential.
- The use of designed profiles enables the manufacturing of structural and finishing part of the bodywork without the need for installing additional finishing metal sheets, guides or grips (this function is performed by profiles).

The project entitled **Ultralight and high-strength modular structural panels for applications e.g. in the bodywork construction of special vehicles** implemented under Measure 4.1 –Research and development work”, Submeasure 4.1.4 –Application projects” of the Operational Programme Smart Growth 2014-2020 co-financed by the European Regional Development Funds, agreement No. POIR.04.01.04-00-0016/17

Literature

1 [http://docplayer.pl/1905253-Ps-bocar-polski-producent-nowoczesnych-samochodow-pozarnicznych.html]

2 K. Laber, H. Dyja, A. Kawalek, S. Sawicki, (5) J. Borowski, Wpływ parametrów i schematu odkształcenia na zmiany naprężenia uplastyczniającego trudno odkształcalnego stopu aluminium 5XXX. The effect of deformation parameters and the deformation scheme on the variations in the yield stress of the hard deformable aluminium alloy 5XXX. *Obróbka Plastyczna Metali* vol. XXVIII nr 1 (2017), s. 27–38, *Metal Forming* vol. XXVIII no. 1 (2017), pp. 27–38

3 M. Idzior, Rozwój metod wytwarzania pojazdów samochodowych w aspektach ograniczeń gospodarowania energią, THE DEVELOPMENT OF METHODS OF PRODUCTION THE CARS VEHICLES IN THE ASPECTS OF LIMITATION OF THE ENERGY AUTOBUSY *Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, s. 147–160 Nr 12 12/2011

4 M. Liss, T. Kałaczyński, B. Żółtowski Metody oceny wytrzymałości konstrukcji nośnych pojazdów osobowych, *Methods for assessing the strength of selected elements supporting structures of passenger vehicles* s. 6777–6784, *Logistyka* 6/2014

УДК 519.718.2

ПРЕДПОСЫЛКИ ВЫБОРА МЕТОДА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

PREREQUISITES TO CHOOSE THE METHOD FOR DEPENDABILITY ASSESSMENT OF HOT ROLLING PROCESS

Ширяева Е.Н., Полякова М.А., Голубчик Э.М.

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Магнитогорск, Россия*

m.polyakova@magtu.ru

Shiryayeva E.N., Polyakova M.A., Golubchik E.M.

Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia

m.polyakova@magtu.ru

Аннотация: В статье представлены основные виды технологических систем на различных уровнях иерархии производственного процесса. На примере технологического процесса горячей прокатки стального листа показаны основные структурные элементы данной технологической системы с имеющимися входными и выходными параметрами и потоками вещества, энергии и информации. Отмечается важность определения надежности технологической системы как основного фактора, гарантирующего производство продукции с заданным комплексом свойств. Рассмотрены

особенности оценки надежности технических систем как основной составляющей технологической системы. Приведена характеристика методов определения надежности согласно действующим нормативным документам.

Ключевые слова: надежность, горячая прокатка, технологическая система, техническая система, метод оценки надежности.

Abstract: The main kinds of technological systems on different hierarchical levels of manufacturing process are presented in the paper. On the example of steel sheet hot rolling process the basic structural elements of this technological system both with its input and output parameters and flows of matter, energy, and information are presented. It is mentioned the importance of technological system dependability assessment as the main factor which guarantees manufacture of product with the specified set of properties. Peculiarities of dependability assessment for technical systems as the basic component of technological system are analyzed. Methods of dependability assessment due to normative documentation are characterized.

Key words: dependability, hot rolling, technological system, technical system, method of dependability assessment

В современных условиях перехода к новому технологическому укладу такие понятия как «технологическая система», «технологический процесс» должны рассматриваться с новых позиций. Это особенно актуально для крупных промышленных предприятий, например, металлургической отрасли, в рамках которых реализуются различные технологические взаимодействия.

На сегодняшний день в нормативных документах технологическая система рассматривается как совокупность функционально связанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций [1, 2]. При этом, как известно, важнейшими свойствами любой технологической системы являются стабильность и надежность функционирования, гибкость и способность к адаптации, высокая интенсивность, малостадийность и малооперационность, безотходность и т.д. Существующие технологические системы можно представить в виде иерархической схемы (рисунок 1).

Рассмотрим функциональную взаимосвязь технологических систем различного уровня на примере технологического процесса производства горячекатаного рулонного металлопроката [3-5]. В целом технологический процесс горячей прокатки можно представить в виде следующих основных операций (рисунок 2): слябовая заготовка подвергается нагреву под аустенизацию в методической печи, после чего осуществляется процесс горячей прокатки в черновой и чистовой группах клетей, как правило, на широкополосном стане. Затем производят ускоренное управляемое охлаждение полосы и ее смотку в рулон при заданной температуре смотки для получения необходимых свойств.

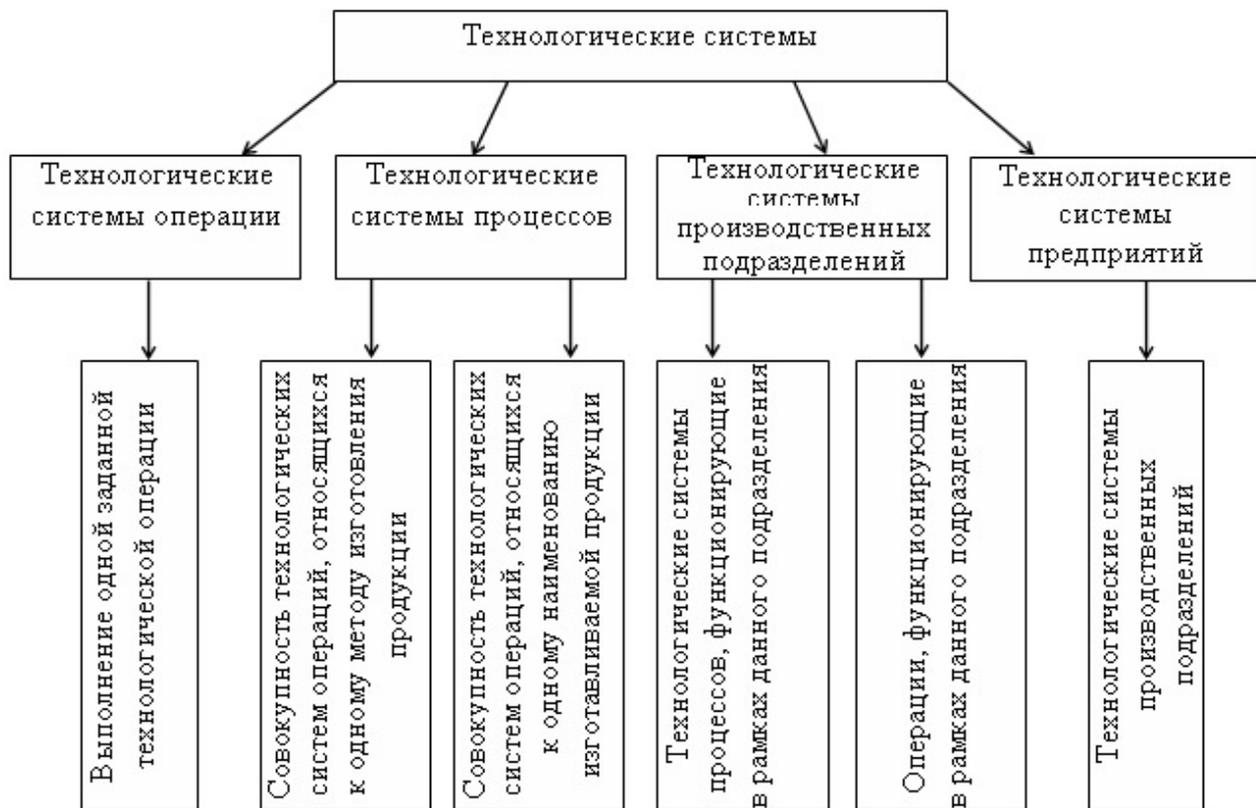


Рисунок 1 - Иерархия технологических систем в условиях промышленного предприятия

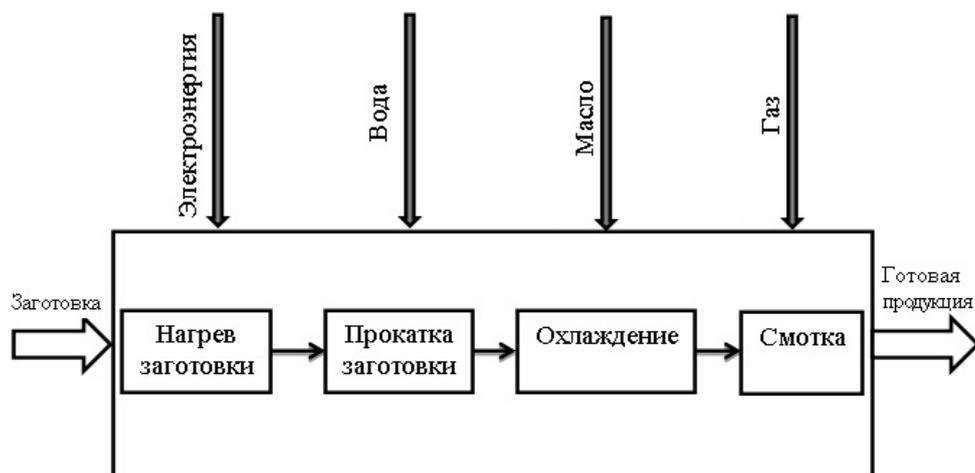


Рисунок 2 - Схема процесса производства стальной полосы горячей прокаткой:

- поток материала;
 - поток энергии;
 - поток информации

Используя известные подходы системного анализа, данный технологический процесс можно представить в виде структурной схемы, объединяющей отдельные операции, и систему входных и выходных параметров. Для получения готового проката с заданными свойствами необходимо обеспечить сквозной проход через все элементы технологической

системы потоков материала (обрабатываемый металл), энергии (комплекс энергетических температурно-деформационных воздействий) и информации (комплекс всей технологической, нормативной, технической и т.д. информации) (рисунок 3).

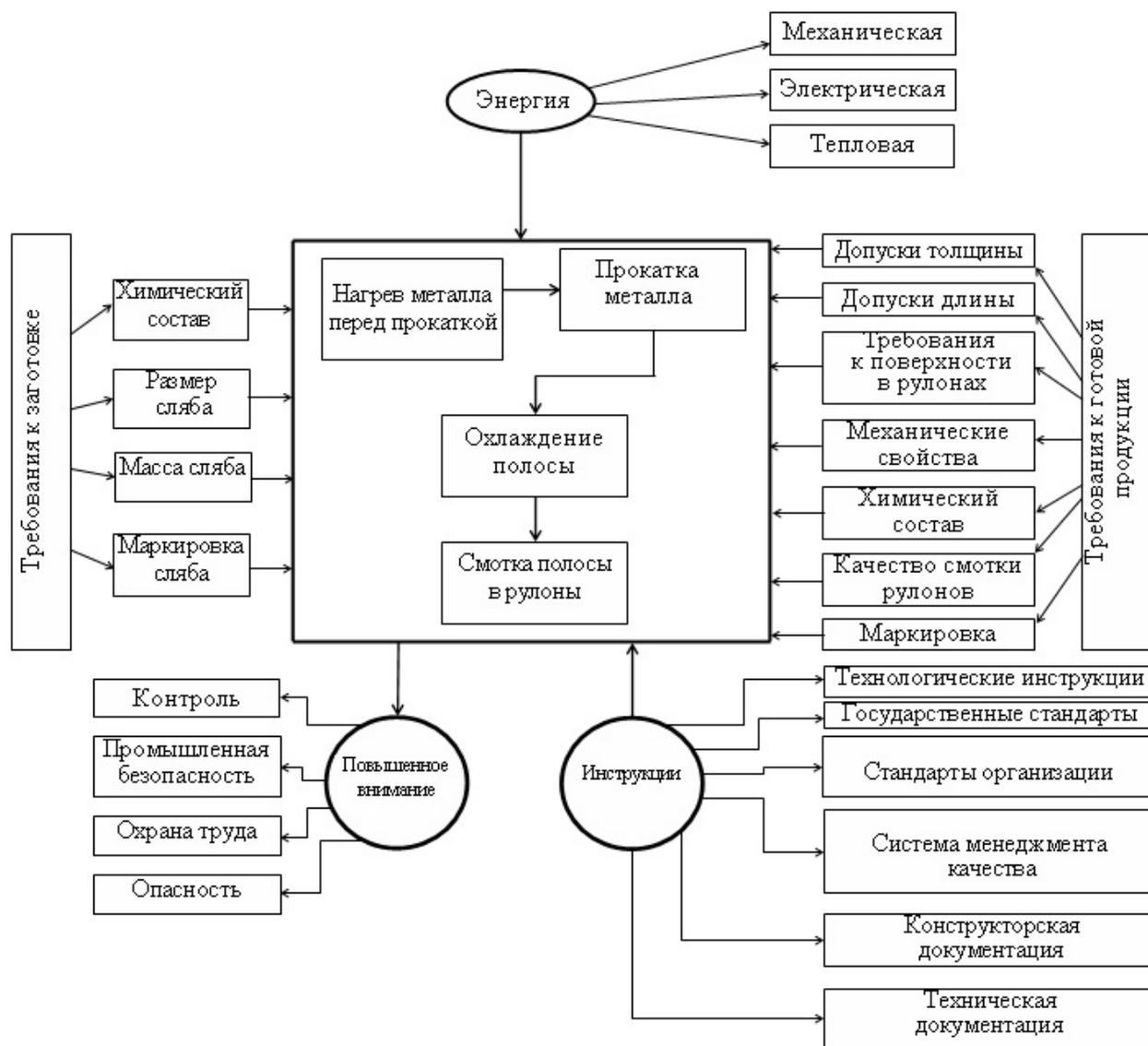


Рисунок 3 - Структурная схема технологического процесса производства горячекатаной полосы в условиях широкополосного стана горячей прокатки

Целью функционирования любой технологической системы является производство продукции с заданным комплексом потребительских свойств. Степень соответствия продукции предъявляемым требованиям, иными словами ее качество, а также способность технологической системы обеспечивать ее в течение длительного времени или производственного цикла фактически является индикатором надежности технологической системы.

Важность количественной оценки надежности технологических систем подтверждается наличием соответствующих государственных стандартов,

регламентирующих не только термины и определения в данной области, но также методы определения показателей надежности. Действующий ГОСТ 27.004-85 устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения основных понятий в области надежности технологических систем. Стандарт содержит основные показатели, отражающие специфику технологических систем и характеризующие их надежность в регламентированных условиях производства. Наряду с показателями надежности, установленными в настоящем стандарте, используют показатели надежности технологических систем по параметрам качества изготавливаемой продукции и по параметрам производительности, регламентируемые российскими стандартами, соответственно, ГОСТ 27.202-83 и ГОСТ 27.204-83 [6, 7]. Количественную оценку надежности технологической системы также проводят и с использованием критериального подхода (рисунок 4).



Рисунок 4 - Подходы к определению надежности технологических систем

Технологическая система процесса в целом отражает набор или совокупность отдельных технологических операций. В тоже время для контроля и управления технологическим процессом необходимым условием функционирования является наличие определенной совокупности технических систем. К таким техническим системам следует отнести совокупность оборудования: нагревательная печь, прокатный стан, черновые и чистовые клетки, моталки и т.д., которые в свою очередь будут являться неотъемлемой частью технологической системы. При этом формирование требуемого комплекса свойств готовой продукции будет определяться надежностью конкретной технической системы. Здесь следует подчеркнуть, что надежность системы определяется не только надежностью оборудования и технологической

системы в целом. Она в значительной степени зависит от малостадийности, малооперационности, бесперебойности работы технической системы.

Как известно, анализ надежности технической системы проводят в два этапа [8, 9] (рисунок 5).



Рисунок 5 - Этапы проведения анализа надежности технических систем

На стадии проектирования технической системы проводят априорный анализ надежности. Название данного этапа объясняется тем, что он априори предполагает известные количественные характеристики надежности всех используемых элементов системы. Иными словами, априорный анализ базируется на априорных (вероятностных) характеристиках надежности, которые лишь приблизительно отражают действительные процессы в аппаратуре технических систем. Результаты априорного анализа надежности технической системы позволяют уже на стадии проектирования выявить слабые места той или иной конструкции, узла или агрегата. Это делает возможным на первых этапах жизненного цикла технической системы разработать систему мероприятий по повышению ее надежности. Поэтому априорный анализ надежности имеет существенное значение в практике проектирования технических систем и составляет неотъемлемую часть технических проектов. Второй этап - апостериорный анализ надежности - проводят на основании статистической обработки экспериментальных данных о работоспособности и восстанавливаемости технических систем, полученных в процессе их работы, испытаний и эксплуатации. Полученная информация является основой для совершенствования технической системы с целью выполнения ею комплекса полезных функций.

Одним из нормативных документов регламентирующих методы анализа надежности является национальный стандарт ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности» [10]. В зависимости от вида анализируемой информации методы оценки надежности можно условно разделить на следующие группы:

- методы, основанные на оценке количества отказов, неисправностей, а также причин их возникновения;
- методы, основанные на анализе системы в целом, существующих событий и связей между ними.

Сведения о методах оценки надежности согласно ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) приведены в таблице.

Таблица 1 – Основные методы анализа надежности

Метод	Распределение требований / целей надежности	Качественный анализ	Количественный анализ	Применение
Прогнозирование интенсивности отказов	Применяется для последовательных систем без резервирования	Возможно применение для анализа стратегии технического обслуживания	Вычисление интенсивностей отказов и МТТФ для электронных компонентов и оборудования	Применяется на начальных стадиях проектирования для оценки интенсивности отказов оборудования и системы в целом.
Анализ дерева неисправностей (FTA)	Применяется, если поведение системы зависит от времени или последовательности событий	Анализ комбинации неисправностей	Вычисление показателей безотказности работоспособности и относительного вклада подсистем в системы	Применяется как способ идентификации причины существующего отказа и как метод анализа режима отказа, прогнозирования и моделирования надежности.
Анализ дерева событий (ETA)	Возможен	Анализ последовательности отказов	Вычисление интенсивностей отказов системы	Используется при необходимости исследовать все возможные пути формирования событий, последовательность их появления и наиболее вероятные результаты или последствия
Анализ структурной схемы надежности (RBD)	Применяется для систем, у которых можно выделить независимые блоки	Анализ путей работоспособности	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности системы	Применяются на стадии определения продукции. Для систем, у которых можно выделить независимые блоки
Марковский анализ (Markov)	Применяется	Анализ последовательности отказов	Вычисление показателей безотказности и	Применяются, когда интенсивность перехода зависит от состояния

Analysis)			комплексных показателей надежности системы	системы, нагрузки или структуры системы, стратегии технического обслуживания или др.
Анализ сети Петри	Применим	Анализ последовательности отказов	Подготовка описания системы для Марковского анализа	Применяется, когда должны быть учтены сложные логические взаимодействия
Анализ режимов и последствий (критичности) отказов FME(C)A	Применим для систем, у которых преобладают единичные отказы	Анализ воздействия отказов	Вычисление интенсивностей отказов (и критичности) системы	Применяется, когда уровень риска выявляется на ранних уровнях разработки продукции.
Исследование опасности и работоспособности HAZOP	Поддержка	Анализ причин и последствий отклонений	Не применим	Применяется на поздних стадиях разработки проекта для экспертизы средств эксплуатации и при изменении этих средств
Анализ человеческого фактора (HRA)	Поддержка	Анализ воздействия действий эффективности человека на работу системы	Вычисление вероятностей ошибок человека	Применяется для рассмотрения системы в целом и взаимодействия отдельных работников при эксплуатации системы
Анализ прочности и напряжений	Не применим	Применим как средство для предотвращения неисправности	Вычисление показателей безотказности для электромеханических компонентов	Применяется для определения надежности или эквивалентной интенсивности отказов компонентов.
Таблица истинности (анализ функциональной структуры)	Не применим	Возможен	Вычисление показателей безотказности и комплексных показателей надежности системы	Начальные этапы совпадают с FMECA. Идентифицируются все отказы системы
Статистические методы надежности (Monte-Carlo)	Возможен	Анализ воздействия неисправностей	Определение количественных оценок показателей безотказности с неопределенностью	В зависимости от решаемой задачи используют различные модели надежности

Таким образом, в настоящее время существует целый ряд методов и показателей оценки надежности различных технологических и технических систем. Выбор метода определения надежности в значительной степени зависит от цели проводимых исследований, вида и степени сложности системы, характера информации, цели использования результатов. В то же время

отсутствуют научно обоснованные принципы и единые методы оценки надежности сложных технологических систем и применяемых в них технических систем, что требует проведения комплекса теоретико-экспериментальных исследований.

Список литературы

1 ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения. - М.: Стандартиформ, 1985. - 9 с.

2 ГОСТ Р 57194.1-2016. Трансфер технологий. Общие положения. - М.: Стандартиформ, 2016. - 12 с.

3 Ширяева Е.Н. Проектирование процесса горячей прокатки на основе системного анализа // XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горно-геологического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля: тез. докл. - Санкт-Петербургский горный университет, 2019. - С. 284.

4 Технология горячей прокатки стального листа как объект проектирования на основе системного анализа / Полякова М.А., Ширяева Е.Н., Налимова М.В. // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования: тез. докл. 77-й междунаро. науч.-технич. конф. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2019. - С. 218-219.

5 Ширяева Е.Н., Полякова М.А. Особенности взаимодействия потоков в технической системе «стан горячей прокатки» // Magnitogorsk Rolling Practice 2019: proceedings of the 4th Youth Scientific and Practical Conference / ed. by A.G. Korchunov. - Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University Publishing House, 2019. - pp. 115-117.

6 ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. - М.: Стандартиформ, 1983. - 66 с.

7 ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. - М.: Стандартиформ, 1984. - 28 с.

8 Базовский И. Надежность: монография. - М.: Мир, 1965. - 374 с.

9 Надежность технических систем: справ.; под ред. Ушакова И.А. - М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.

10 ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. - М.: Стандартиформ, 2002. - 29 с.

**СЕКЦИЯ 3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ, СОЦИАЛЬНОЕ И ДУХОВНОЕ
ОБНОВЛЕНИЕ В КОНТЕКСТЕ НЕОИНДУСТРИАЛЬНОГО И
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

УДК: 330.342.23

**РАЗВИТИЕ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
КАЗАХСТАНА В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ**

**MINING AND METALLURGICAL COMPLEX DEVELOPMENT IN
KAZAKHSTAN WITHIN THE FRAMEWORK OF INDUSTRIALIZATION
PROGRAMME**

Рау А.П.

*Мажилис Парламента Республики Казахстан, г.Нур-Султан, Казахстан
aprau@mail.ru*

A.P. Rau

*Mazhilis of the Parliament of the Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Kazakhstan
apray@mail.ru*

Аннотация: В статье ставится цель исследовать тенденции развития горно-металлургического комплекса Казахстана, оценить результативность Государственных программ индустриально-инновационного развития в отраслях ГМК за период с 2010 по 2019 годы, выявить резервы роста в данном отраслевом сегменте рынка. Гипотеза исследования основывается на предположении о том, что, во-первых, горно-металлургический комплекс Казахстана имеет высокий потенциал для роста локальной и национальных экономик, и, во-вторых, что по сравнению с другими отраслями горно-металлургический комплекс Казахстана имеет высокую привлекательность для инвесторов. В процессе исследования использовались общенаучные методы познания (системный и структурно-функциональный подходы, логический и формализация). Анализ специфики развития горно-металлургического комплекса проведен с использованием методов сравнения и группировки.

Научная новизна исследования заключается в выявлении резервов роста в отрасли, как в секторе добычи, так и в секторе переработки. Практическая значимость проведенного исследования состоит в том, что основные выводы и рекомендации могут быть использованы в процессе разработки программных документов, направленных на продвижение казахстанской продукции на внешних рынках, в том числе в рамках ЕАЭС, снижение импортной зависимости, развитие производственной кооперации внутри страны и наращивание технологического потенциала с учетом текущей развитости отечественных металлопотребляющих отраслей.

Ключевые слова: отрасль, горно-металлургический комплекс, программа, индустриализация, инвестиции, резервы.

Abstract: The aim of the article is to study development trends of mining and metallurgical complex of Kazakhstan, to evaluate effectiveness of state industrial and innovative development programmes in mining and metallurgical complex for the period from 2010 to 2019 and identify growth reserves in this industry-based segment of the market. The hypothesis of the study is based on the assumption that, firstly, mining and metallurgical complex of Kazakhstan has high growth potential of local and national economies, and secondly, mining and metallurgical complex of Kazakhstan is highly attractive for investors compared with other sectors. In the research process, general scientific methods of cognition were used (systemic and structural-functional approaches, logical and formalization). Analysis of development specifics of mining and metallurgical complex was carried out using methods of comparison and grouping.

Scientific novelty of the study is to identify growth reserves in the industry, both in the mining sector and in the processing sector. Practical significance of the study is that main conclusions and recommendations can be used in the process of programme documents development aimed at promotion of Kazakhstani products in foreign markets and within the framework of the EAEU, import dependence reduction, development of industrial cooperation within the country and technological potential building up taking into account the current development of domestic metal consuming industries.

Key words: industry, mining and metallurgical complex, programme, industrialization, investment, reserves.

Как известно, горная металлургия играет важнейшую роль в экономике Республики Казахстан. В настоящее время горно-металлургический комплекс формирует около 7,3% ВВП, 24,7% промышленного производства и 24% экспорта. Отрасль представлена более 800 предприятиями. В ней трудятся порядка 160 тыс. человек.

Казахстан по потенциалу минерального сырья входит в первую десятку стран и исторически является одним из ключевых игроков в мировой горно-металлургической промышленности. Страна занимает 1-ое место в мире по запасам вольфрама, 2-ое место – по запасам урана и хрома, 4-ое и 5-ое места - по марганцу, серебру, цинку, свинцу и другим полезным ископаемым; входит в 5-ку экспортеров ферросплавов, 10-ку экспортеров цинка, меди, свинца, угля, а также занимает 1 место в мире по добыче урана.

Основные цели Государственных программ индустриально-инновационного развития в отраслях ГК в период с 2010 по 2019 годы ориентированы на увеличение выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью и технологическую модернизацию промышленности. Задачи, которые были поставлены перед горно-металлургическим комплексом, ориентированы на стимулирование экономического роста [1].

При этом ключевыми проблемами отрасли были определены:

- высокая степень изношенности, наличие морально устаревшего оборудования на предприятиях;

- низкая загрузка производственных мощностей действующих предприятий;
- слаборазвитый внутренний рынок;
- падение экспорта и увеличение импорта продукции с высокой добавленной стоимостью;
- низкое качество и узкий ассортимент выпускаемой продукции;
- отсутствие испытательных баз и лабораторий для сертификации продукции;
- высокая энерго- и трудоемкость продукции;
- низкий уровень транспортно-логистической инфраструктуры;
- нехватка кадров соответствующей квалификации;
- необходимость в модернизации материально-технических и опытно-промышленных баз отраслевых институтов.

Так, в черной металлургии особое внимание акцентировано на повышение производительности труда и привлечение иностранных инвестиций. Главные задачи сосредоточены на производстве высоколегированной стали, товаров с высокой добавленной стоимостью, а также на модернизации существующих установок для производства готовых формованных изделий, изделий из металла и листового проката.

В цветной металлургии помимо привлечения иностранных инвестиций и проектов, направленных на увеличение производства металлических изделий, целевые установки включали выпуск готовых изделий с более высокой добавленной стоимостью, таких как медные трубы, медная катанка и алюминиевые листы.

За период 2010-2018 годы наблюдается увеличение производства в секторе добычи руд цветных металлов, при этом добыча железной руды за 9 лет осталась практически на прежнем уровне.

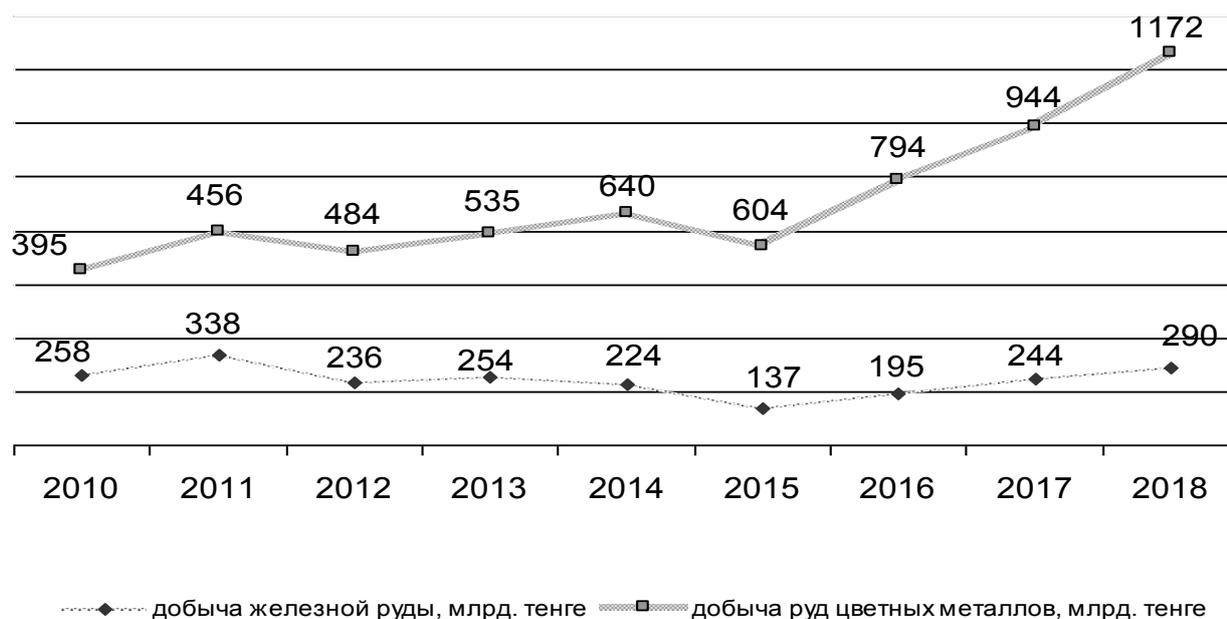


Рисунок 1 - Добыча металлических руд в 2010-2018 гг.

В период первой пятилетки ситуация в металлургической промышленности характеризуется низким ростом стоимостного производства и снижением экспорта цветных и черных металлов. Данная ситуация сложилась в результате изменения валютного курса и снижения мировых цен на металлы.



Рисунок 2 - Производство и экспорт в металлургической промышленности

В 2018 году объем производства в ГМК составил 6,1 трлн. тенге, добыча металлических руд увеличилась на 24 %, рост в металлургической промышленности составил 113,2%. При этом, ввиду слабой развитости производства высоких переделов, отечественная металлургия имеет высокую зависимость от мировых цен на металлы, которые находятся под давлением проводимых санкций и торговой войны между США и Китаем. Учитывая тот факт, что около 40% отечественной металлургической продукции экспортируется в Китай [2], Казахстан находится в крайне уязвимом положении.

Анализируя развитие ГМК, следует отметить рост объемов производства по многим основным позициям (таблица 1).

Таблица 1 – Объём производства в ГМК

Показатель	2010 г.	2018 г.	Относительное отклонение, %
1	2	3	4
Добыча металлических руд			
Руды железные, тыс. тонн	50 190	41 877	83,0
Руды медные, тыс. тонн	32 039	105 219	328,4
Концентраты медные, тыс. тонн	1 862	13 000	698,2
Медь в медном концентрате, тыс. тонн	381	593	155,8
Руды медно-цинковые, тыс. тонн	4 773	4 822	101,0
Руды алюминиевые (бокситы), тыс. тонн	5 310	6 104	115,0

Руды золотосодержащие, тыс. тонн	14 227	20 414	143,5
Продолжение таблицы 1			
1	2	3	4
Концентраты свинцовые, тыс. тонн	81	362	449,6
Свинец в свинцовом концентрате, тыс. тонн	35	87	244,4
Руды свинцово-цинковые, тыс. тонн	6 722	5 957	88,6
Концентраты цинковые, тыс. тонн	805	600	74,5
Цинк в цинковом концентрате, тыс. тонн	405	304	75,1
Руды марганцевые, тыс. тонн	3 045	1 427	46,9
Концентраты марганцевые, тыс. тонн	1 094	434	39,7
Руды хромовые, млн. тонн	5 092	6 689	131,4
Концентраты хромовые, млн. тонн	3 502	4 965	141,8
Черная металлургия			
Ферросплавы, тыс. тонн	1 701 790	2 088 638	122,7
феррохром, тыс. тонн	1 311 302	1 772 510	135,2
ферросиликомарганец, тыс. тонн	224 627	137 710	61,3
Сталь нерафинированная, тыс. тонн	4 344 847	4 005 982	92,2
Плоский прокат, тыс. тонн	2 899 808	2 546 929	87,8
Стержни и прутки прочие из стали легированной прочей, штампованные, горячекатаные, тыс. тонн	12 931	367 465	в 28,4 раза
Трубы разных диаметров, профили полые бесшовные из стали, тыс. тонн	158 923	286 980	180,6
Листы ребристые из стали нелегированной (углеродистой), тыс. тонн	67 960	107 362	158,0
Сэндвич-панели из покрытого стального листа, тыс. тонн	9 401	15 596	165,9
Основные благородные и цветные металлы			
Серебро необработанное и полуобработанное или в виде порошка, кг	552 060	969 347	175,6
серебро аффинированное, тыс. кг	548 990	959 002	174,7
Золото необработанное и полуобработанное или в виде порошка, тыс. кг	30 272	100 288	331,3
золото аффинированное, тыс. кг	13 456	53 084	394,5
Алюминий необработанный; оксид алюминия, тыс. тонн	1 867 309	1 751 472	93,8
Свинец необработанный рафинированный, тыс. тонн	103 400	148 579	143,7
Цинк необработанный, тыс. тонн	318 858	317 965	99,7
Медь рафинированная необработанная, нелегированная, тыс. тонн	323 368	438 115	135,5

Среди продукции металлургии (готовой к применению) наиболее высокие темпы роста отмечены в производстве труб разных диаметров (180,6%), стержней и прутков (в 28,4 раза), сэндвич панелей (165,9%).

В рамках программ индустриализации были реализованы проекты по производству стальной продукции (мелкосортный прокат, фасонный прокат, метизы, стальные канаты и тросы, трубы разных диаметров и алюминиевой продукции). Однако, объем указанных новых производств все еще

незначительный, а ряд производств не загружены или простаивают. В большей степени, данные производства ориентированы на покрытие внутреннего рынка.

К моменту завершения второй пятилетки в горно-металлургическом комплексе Казахстана можно выделить следующие результаты. За годы реализации программ велись работы по 108 проектам в сфере ГМК на общую сумму инвестиций 2,3 трлн. тенге. Более 90% от общего объема инвестиций сосредоточены в проектах первых 3-х переделов – от добычи до производства первичного металла. Наиболее значимые отраслевые проекты, введенные в рамках программ индустриализации:

- производство первичного алюминия объемом 250 тыс. тонн в год на АО «Казахстанском электролизном заводе» в г. Павлодар;
- выпуск титановых слитков и сплавов, производство титановых слябов совместного предприятия АО «УКТМК» и POSCO мощностью около 6 тыс. тонн в год на АО «Усть-Каменогорский титано-магниевого комбинат» в объеме 16 тыс. тонн в год;
- золотоизвлекательная фабрика АО «Алтын-Тау Кокшетау» мощностью до 15 тонн золота в год;
- проект «Новая металлургия» ТОО «Казцинк» по увеличению производства катодной меди на 70 тыс. тонн в год;
- новые мощности по производству высокоуглеродистого феррохрома на АО «ТНК «Казхром» (Актюбинская область);
- современный аффинажный завод в г. Астана мощностью 25 тонн золота и 50 тонн серебра в год;
- строительство Актюбинского рельсо-балочного завода мощностью 200 тыс. тонн рельсов и 230 тыс. тонн фасонного проката;
- Бозшакольский ГОК мощностью 100 тыс. тонн меди в концентрате;
- Актогайский ГОК мощностью 25 тыс. тонн катодной меди и 100 тыс. тонн концентрата;
- ГОК на базе месторождения «Коктасжал» мощностью 18 тыс. тонн катодной меди в год в Карагандинской области.



Рисунок 3 - Проекты ГМК в Карте индустриализации (2010-2019 гг.)

Среди основных проблем ГМК к моменту завершения второй пятилетки необходимо отметить:

- низкая диверсификация производителей и высокая зависимость ГМК от крупных игроков. Более 80% ГМК формируют крупнейшие игроки: ТОО «Евразийская Группа», ТОО «Казцинк», ТОО «Корпорация Казахмыс», АО «АрселорМиттал Темиртау» и Группа KazMinerals. Данные компании имеют высокий уровень влияния на показатели отрасли. Любое изменение в производственной программе или внешнеторговой деятельности компании напрямую влияет на изменение ситуации в ГМК. Кроме того, указанные компании имеют тесную взаимосвязь с предприятиями России и Китая, что в условиях экономических санкций ставит под угрозу внешнюю торговлю отечественной металлопродукцией;

- концентрация крупных производителей на продукции низкого и среднего передела для экспорта. На долю АО «АрселорМиттал Темиртау» приходится около 1/3 общего объема производства черной металлургии. Таким образом, данное предприятие является основным двигателем в вопросе развития отрасли. В свою очередь, за последние 10 лет на предприятии сохранился выпуск относительно низкой по качеству и технологическому уровню продукции, наблюдается тенденция сокращения номенклатуры выпускаемой продукции, что ограничивает качественное развитие через выпуск готовых изделий и кооперацию с внутренними потребителями;

- недостаточное развитие внутреннего производства продукции готовых изделий. За весь период политики индустриализации отечественное производство стальной продукции смогло обеспечить внутренний рынок только по сортовому прокату (прутки, строительная арматура) за счет ввода новых производств. Все другие позиции стальной продукции (швеллеры, двутавры, металлоконструкция, стальные бесшовные и сварные трубы) развить не удалось;

- наличие невостребованных мощностей по производству стальных труб. Казахстанские предприятия, имея на балансе общую совокупную мощность производства более 700 тыс. тонн стальных труб в год, по факту производят около 250 тыс. тонн продукции, тогда как диапазон объемов импорта достигает от 0,5 до 1,5 млн. тонн. Оставшаяся продукция с мощностью более 400 тыс. тонн не востребована на внутреннем рынке по ряду объективных и субъективных причин. Главной причиной столь низкого уровня развития данного сегмента является несоответствие требованиям по качеству (стандарты API) и количеству ассортимента товаров, предлагаемых отечественными производителями. Также имеет место отсутствие качественного трубного сырья (полуфабриката из штрипса) для трубопрокатных производств (марка стали X80 и выше);

- слабая кооперация между металлообрабатывающими предприятиями и смежными секторами экономики (сегменты машиностроительной отрасли, строительство). Низкий технологический уровень производства по качеству и сортаменту (отсутствие производства высокопрочных марок стали, низкое качество плоского проката для выпуска труб и др.) не позволяет развивать кооперацию с металлопотребляющими предприятиями. В настоящее время ряд

отечественных предприятий обеспечивается необходимыми стальными заготовками от внешних поставщиков: ТОО «АРБЗ» - 200-300 тыс. тонн от ОАО «Металлинвест», трубопрокатные производства - 50-100 тыс. тонн штрипса от ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ТОО «Проммашкомплект» - 50-100 тыс. тонн от «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат», ТОО «ЕвразКаспианСталь» - 300-400 тыс. тонн сортовых заготовок от «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат»;

- низкий уровень внедрения инновационных разработок. Слаборазвитая система стимулирования и поддержки инноваций, сохранение низкого качества научно-исследовательской базы, отсутствие ориентации коммерческих банков на поддержку инноваций, недостаточность навыков у бизнеса, крайне низкая практическая востребованность НИОКР.

Несмотря на ежегодные высокие показатели производства металлургической продукции, за последние годы отечественное производство не смогло переломить ситуацию концентрации на производстве продукции низких переделов, при этом зависимость внутреннего рынка Казахстана от импортных поставок усиливается с каждым годом. В данном аспекте стратегически важно развитие черной металлургии, которая является доминирующим поставщиком материалов для нефтегазовой отрасли (основной налогоплательщик страны) и строительного сектора (один из самых социально значимых секторов экономики), тем самым оказывая влияние на ценообразование во многих сферах экономики Республики Казахстан.

Так, по расчетам «QazIndustry» за годы индустриализации показатель обеспечения внутреннего рынка отечественной стальной продукцией сократился с 34,3% в 2010 году до 17,5% в 2018 году [3], а все остальное было обеспечено импортными поставщиками из России, Китая и других стран. Это связано с рядом внутренних проблем отрасли, в частности выпуском продукции низкого качества и сортамента, слабой кооперацией между смежными потребителями и нехваткой высокотехнологичных мощностей. Если считать, что для контроля и влияния на внутреннем рынке необходим уровень доли внутренних поставок не ниже 30%, то текущая ситуация свидетельствует об отсутствии рычагов влияния для сохранения стабилизации рынка.

Необходимо отметить, что казахстанский рынок для российских производителей является важным рынком сбыта изделий из черных металлов с долей экспорта страны более 30%. За последние 8 лет доля российских производителей стальной продукции на внутреннем рынке увеличилась в 2 раза с 21% до 42% [4].

В Казахстане за период индустриализации реализован ряд проектов по производству металлургической продукции, но объем новых производств все еще недостаточен. Некоторые запущенные проекты не загружены или простаивают. Таким образом, реализация программ позволила развить некоторые компетенции в создании конкурентоспособного производства

конечной продукции, но при этом необходимо признать не достижение ряда задач.

Для дальнейшего укрепления позиций необходима активизация работ по продвижению казахстанской продукции на внешних рынках, в том числе в рамках ЕАЭС, снижению импортной зависимости, усилению анализа возможной производственной кооперации внутри страны и наращиванию технологического потенциала с учетом текущей развитости отечественных металлопотребляющих отраслей (машиностроение, электрооборудование, нефтегазовое оборудование, строительство), которые могут стимулировать металлургическое производство и обеспечивать применение более высоких технологий.

Обрабатывающие отрасли в ГМК могут усилить влияние горнодобывающего сектора на внутреннюю экономику, обеспечивая экономическую диверсификацию и занятость кроме деятельности по добыче. Перерабатывающие отрасли промышленности имеют более низкую маржу, но имеют более низкий риск, с меньшей технической вариативностью и меньшим воздействием волатильности цен на сырьевые товары.

С целью поиска резервов для интеграционных процессов консалтинговой группой Wood Mackenzie были определены позиции Казахстана в цепочке добавленной стоимости по каждому металлу (таблица 2).

Таблица 2 – Развитость цепочки добавленной стоимости в ГМК Республики Казахстан

	Резервы и ресурсы	Добыча	Обогащение	Переработка	Конечное применение	Комментарии
1	2	3	4	5	6	7
Алюминий	✓	✓	✓	✓	✓	Полная алюминиевая цепочка, экспорт показывает, что можно использовать большие объемы на внутреннем рынке
Барит	✓	✓				Ограниченная переработка необходима для использования в нефтегазовом бурении
Бор	✓	✓	✓	✓	✓	Вся добываемая продукция потребляется на внутреннем рынке
Хром	✓	✓	✓	✓		Нержавеющая сталь может обеспечить дальнейший рост, концентрат экспортируется
Кобальт	✓					В настоящее время производство отсутствует
Медь	✓	✓	✓	✓	✓	Значительный экспорт медного концентрата, перспективы расширения выплавки
Золото	✓	✓	✓	✓		Имеющиеся аффинажные фабрики активно используются, но незначительное производство ювелирных изделий

Железная руда (сталь)	✓	✓	✓	✓	✓	Производятся сварные конструкции, но импорт стальной продукции до сих пор в большом объеме
Свинец	✓	✓	✓	✓		Завод по рафинированию свинца и производству аккумуляторов, но нет полной цепочки производства

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
Магний				✓		Усть-Каменогорский титано-магниевый комбинат импортирует магниевую руду
Марганец	✓	✓	✓	✓		Несколько предприятий, производящих SiMn
Никель	✓	✓				Единственный актив, производящий никелевый концентрат
Фосфорит	✓	✓	✓	✓	✓	Интегрированное производство удобрений
Редкоземельные металлы	✓	✓	✓	✓		Обогатительные фабрики в Казахстане могут производить специализированные сплавы
Серебро	✓	✓	✓	✓	✓	Активно используемые аффинажные мощности, но мало производств ювелирных изделий
Олово	✓					Возможность разработать проект по олову
Титан	✓		✓	✓		Импорт руды в настоящее время, в Казахстане имеются неосвоенные месторождения
Вольфрам						Нет освоения значительных запасов
Цинк	✓	✓	✓	✓	✓	Возможности оцинкования металлургической продукции на внутреннем рынке, возможности экспорта концентрата.

Примечание: Источник: Wood Mackenzie

Анализ позиции Казахстана в цепочке создания стоимости металла показывает, что существует множество резервов для развития отрасли, как в секторе добычи, так и в секторе переработки. Даже для меди и цинка, где присутствует целая цепочка добавленной стоимости, имеются возможности для расплава большего объема концентратов внутри страны. В случае алюминия и стали, где большая часть продукции является сырьем, существует возможность роста производства полуфабрикатов.

Важность с точки зрения занятости и индустриализации значительно варьирует в разрезе металлов и стадий переработки. При этом, оценивая потенциал для переработки, следует учитывать близость к конечным рынкам, и для Казахстана замещение импорта металлургической продукции является очевидной возможностью роста.

В результате исследования Wood Mackenzie определили перспективные товары в Казахстане на основе, как экономических, так и технических факторов. Данный анализ подчеркивает инвестиционную привлекательность

каждого товара. Экономический анализ представлен в таблице 3, где каждый товар оценен с экономической точки зрения на основе трех критериев:

– возможности переработки - возможность увеличения производства с добавленной стоимостью в Казахстане;

– спрос - перспективы спроса на международном рынке, отражающие, как глобальные, так и региональные перспективы, в зависимости от уровня международной торговли товаром;

– маржа - потенциальная маржа прибыли, связанная с этим товаром, отражающая текущие местные издержки производства и прогноз цен на металлы.

Таблица 3 – Инвестиционная привлекательность металлов в Республике Казахстан

	Возможности переработки	Спрос	Маржа	Экономический итог	Комментарии
1	2	3	4	5	6
Алюминий	●	●	●	●	Высокая рентабельность с низкими затратами на электроэнергию, возможности производства полуфабрикатов
Барит	○	●	●	○	Потребляется непосредственно в нефтяной отрасли с варьирующейся маржой
Бор	●	●	●	●	Разнообразие применения, каждое направление с уникальной цепочкой стоимости и возможности переработки
Хром	●	●	●	●	Производство с низкой себестоимостью, возможности производства нержавеющей стали для поставок на внутренний рынок
Кобальт	●	●	●	●	Рост применения в литий-ионных батареях, неизвестная маржа новых проектов
Медь	●	●	●	●	Возможность выплавления большего объема концентрата внутри страны
Золото	○	●	●	○	Достаточное количество аффинажных мощностей в Казахстане
Железная руда	●	●	○	●	Высокие издержки, возможности в сталелитейных мощностях и товарах с добавленной стоимостью
Свинец	●	●	●	●	Замещение новыми типами аккумуляторов, значительные экологические ограничения
Магний	●	●	●	●	Нет собственной добычи, поэтому перерабатывающие мощности определяют спрос
Марганец	●	●	●	●	Связан со спросом на сталь, относительно высокие издержки
Никель	●	●	●	●	Нержавеющая сталь может создать

					возможности роста спроса, растущее применение в литий-ионных батареях
Фосфорит	●	●	●	●	Устоявшаяся отрасль производства удобрений, возможность роста в этом секторе

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
Редкоземельные металлы	●	●	●	●	Обогащение рения на внутреннем рынке, можно расширить на другие редкоземельные элементы
Серебро	○	●	●	●	Существующие аффинажные мощности, поставка связана с производством свинца (Pb)
Сталь	●	●	●	●	Возможности производства стальной продукции с высокой добавленной стоимостью при низких издержках
Олово	●	●	●	●	Рост использования в электронике, возможность добычи в стране
Титан	●	●	●	●	Неосвоенные запасы, рост потребления в специализированных материалах
Вольфрам	○	●	●	●	Значительные неосвоенные запасы, ограниченные возможности для развития
Цинк	●	●	●	●	Экспортируемый в Китай цинковый концентрат можно использовать на внутреннем рынке, высокая маржа отрасли

Примечание: Источник: Wood Mackenzie

Таким образом, проведенный анализ показывает, что горно-металлургический комплекс Казахстана имеет высокую привлекательность для инвесторов. Развитые отрасли с дальнейшим геологическим потенциалом расширения и перспективами роста спроса на продукцию (медь и хром) выделяются с точки зрения их инвестиционного потенциала. Менее развитые металлургические отрасли (производство никеля, олова и кобальта) требуют дополнительных инвестиций на основе прогнозных исследований рынков сбыта. Сырье для производства стали и алюминия имеет хороший потенциал для дальнейшего развития на основе существующих перерабатывающих отраслей, и производство всех ТПИ и продукции будет по-прежнему получать выгоду от низких затрат на электроэнергию и совершенствования транспортной инфраструктуры.

Как было отмечено в начале статьи, кадровое обеспечение программ индустриализации является важным фактором их успешной реализации. В соответствующих разделах программ предусмотрено прогнозирование потребности в профессиональных кадрах всех категорий, обеспечение уровня их подготовки в соответствии с ростом сложности внедряемых технологий. Кроме того, выпускники ВУЗов (инженеры-горняки и металлурги) должны в полной мере соответствовать требованиям «цифровой» эпохи, владеть соответствующими подходами и программными продуктами мирового уровня.

Горно-металлургический комплекс Казахстана остается приоритетной отраслью в долгосрочной перспективе, и подготовка профессиональных кадров для данной отрасли также будет являться конкурентным преимуществом технических вузов страны, в т.ч. и Рудненского индустриального института.

Список литературы

1. Государственная программа индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015 – 2019 годы, утвержденная Указом Президента Республики Казахстан от 01.08.2014 [электронный ресурс]. URL: <https://www.enbek.kz/ru/node/96>.

2. Цены в промышленности в Республике Казахстан / Статистический сборник / Нур-Султан, 2019г.

3. Цены оптовой и внешней торговли в Республике Казахстан / Статистический сборник / Нур-Султан, 2019г.

4. Информация о результатах анализа состояния и развития отрасли цветной металлургии государств – членов Евразийского экономического союза [электронный ресурс]. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/SiteAssets/

УДК: 333, 334

КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД В ОРГАНИЗАЦИИ ОСОБЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОН РОССИИ И КАЗАХСТАНА

CLUSTER APPROACH TO ORGANIZATION OF SPECIAL ECONOMIC ZONES IN RUSSIA AND KAZAKHSTAN

Божко Л.Л.¹, Тургель И.Д.², Зиновьева Е.Г.³

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Российская Федерация, turgel@k96.ru; ²Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан, bogkoll@rii.kz;

³Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Российская Федерация

¹Turgel, I. D., ²Bozhko, L. L., ³Zinovieva, E. G

¹Ural Federal University, Russian Federation; ²Rudny Industrial Institute, Kazakhstan; ³Nosov Magnitogorsk state technical university, Russian Federation

Аннотация: В статье ставится цель изучить теоретические и эмпирические основы сочетания такого экономического инструмента, как свободные экономические зоны (СЭЗ) с промышленными кластерами. Научная новизна исследования состоит в теоретическом обосновании особых экономических зон (ОЭЗ) с кластерной формой организации в качестве модернизированной модели развития экономики России и Казахстана.

Практическая значимость проведенного исследования состоит в том, что основные выводы и рекомендации, содержащиеся в работе, могут быть использованы в процессе формирования особых экономических зон с кластерной формой в целях повышения конкурентоспособности России и Казахстана, привлечение новых технологий и инвестиций, а также направлены на решение социально-экономических проблем региона.

Ключевые слова: государственное регулирование экономики, особые экономические зоны, кластерный подход в организации СЭЗ, промышленный кластер, Казахстан, Россия.

Abstract: The article aims to study the theoretical and empirical foundations of combining free economic zones with industrial clusters. The theoretical foundation is provided by the concept of a cumulative and circular process and the theory of “new economic geography”. The empirical part deals with the creation of cluster-type economic zones in Russia and Kazakhstan. The symbiosis of special economic zones (SEZs) and clusters is expected to enhance export potential and act as a powerful catalyst for national innovative development. Establishment of clusters within the framework of the existing SEZs can bring to these zones highly efficient projects for manufacturing export-oriented products.

Methodologically, the research relies on systemic and structural-functional approaches, the logical method and the method of formalization as well as on the comparative and grouping methods applied to analyze SEZs. The study also provides a general overview of the SEZs and clusters operating in Russia and Kazakhstan and indicates their main types and characteristics. The practical significance of this research is that its findings can be used to devise recommendations for improving economic performance of both countries, attracting new technologies and investments and addressing social and economic problems of the regions.

Key words: economic regulation, special economic zones, cluster approach, industrial cluster, Kazakhstan, Russia

Российская Федерация и Республика Казахстан объединены общностью исторических путей развития, предпосылок формирования экономики, культурными традициями, географическими границами. Близость исходных характеристик национальных социально-экономических и политических систем в настоящее время определяют общность ключевых задач государственной политики России и Казахстана. И одним из безусловных приоритетов здесь являются диверсификация экономики, стимулирование инноваций и привлечение инвестиций. Так в Послании Президента Российской Федерации к Федеральному собранию в 2018 году отмечается, что для дальнейшего изменения структуры национальной экономики, наращивания её конкурентоспособности необходимо на принципиально ином уровне задействовать источники роста. Такими источниками должны стать рост производительности труда, увеличение инвестиций и развитие не сырьевого экспорта [1]. В Послании Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева к

народу Казахстана особо подчеркивается, что четвертая промышленная революция требует глубоких технологических, экономических и социальных изменений, внедрения новых инструментов управления [2].

В этих условиях для России и Казахстана особое значение приобретает всемерная поддержка регионального развития и кластерных инициатив. Такая система поддержки включает совокупность различных законодательных, административно-управленческих и финансово-экономических мер. При этом ключевым институциональным звеном, интегрирующим данные меры, могут стать зоны с особыми условиями хозяйственной деятельности. Образование особых зон дает возможность с одной стороны, увеличить открытость экономики, гарантировать экономическую безопасность, стимулировать экономический рост на региональном уровне. С другой стороны, это дает новые импульсы для территориальных хозяйственных систем, активизирует потенциал развития территориальных кластеров, позволят инициировать новые масштабные проекты, используя позитивные эффекты масштаба.

С учетом вышесказанного, авторы проводят сравнение опыта создания и функционирования зон с особыми условиями хозяйственной деятельности в России и Казахстане, выявляют специфику и общие черты используемых организационно-хозяйственных механизмов.

В данной работе было проведено сопоставление зон с особыми условиями хозяйственной деятельности на основе кластерного подхода, а также сделаны рекомендации по корректировке приоритетов СЭЗ в интересах формирования наукоемкой экономики и ориентации на формирование высокотехнологичных производств и услуг.

Методология. Основной массив работ, посвященных изучению мирового опыта СЭЗ и возможностям его использования в России и в Казахстане, появился после 1990 г.[1-10].

Проблема модернизации СЭЗ с позиции кластерного подхода обуславливает необходимость разработки соответствующего инструментального аппарата обоснования целесообразности перехода СЭЗ на кластерную форму. Кластерная теория активно развивается с 90-х гг. XX в., ее основоположником считается лауреат Нобелевской премии М. Портер, который выделил такие главные признаки кластера, как территориальная специализация, конкуренция и кооперация[11].

А. Маршалл заложил основы теории географической кластеризации фирм [12]. Согласно Маршаллу, географическая близость фирм, которую он описал как «промышленный район», создает внешние эффекты, названные им «экономией от агломерации (или локализации)», возникают за счет объединения рынка труда, взаимодействия знаний, специализации, и связаны с экономическими преимуществами для фирм-членов в виде доступа к специализированным человеческим ресурсам и навыкам, более низким затратам, передаче знаний и повышения производительности. Портер подчеркивает роль этих преимуществ в повышении производительности и конкурентоспособности фирм, регионов и стран в своей теории промышленных

кластеров. В его концепции кластера важнейший акцент делается на «конкурентоспособность» (фирм, отраслей, регионов и стран) в глобальной экономике. Открытость фирм и отраслей для иностранной конкуренции рассматривается в качестве движущей силы формирования и развития кластера. Таким образом, все вышеизложенное позволяет заключить, что СЭЗ имеют четкие общие черты с кластерами Портера.

Теоретические основы кластерного подхода в организации СЭЗ отражены в трудах D. Peter [13], M. Amiti, B.S. Javorcik [14], J.A. Mathews [15], P.R. Krugman [16] (таблица 1).

Неоортодоксальный подход (heterodox approach) Игнорирует роль агломерационной экономики, предполагая, что СЭЗ сама по себе обеспечивают платформу для привлечения ориентированных на экспорт прямых иностранных инвестиций (ПИИ), предлагая благоприятный инвестиционный климат и нет никакой необходимости сочетания ее с кластерами.

СЭЗ являются, по сути, географически сконцентрированными, имеющими государственную поддержку агломерациями конкурентоспособных на международном уровне предприятий с рядом преимуществ, среди которых эффективная инфраструктура, благоприятная бизнес-среда, немногочисленные нормативные ограничения, а также минимум бюрократии. Роль СЭЗ в формировании экономики от агломерации и ее преимуществ игнорируется в существующей литературе в значительной степени из-за предположения, что СЭЗ являются торговыми анклавами с небольшими внутренними связями, где используется дешевая рабочая сила для осуществления некачественного производства. Но мировой опыт показывает, что зоны развиваются и их характеристики меняются с течением времени. Они становятся больше, и сейчас зоны лучше интегрированы в экономику, производят более технологичную и капиталоемкую продукцию. В связи с этим существует необходимость перейти к новой теоретической парадигме, основанной на кластеризации и агломерационной экономике, чтобы охватить потенциальные выгоды СЭЗ. Это расширит наше понимание их преимуществ и лежащих в их основе механизмов. Таким образом, в экономической науке существуют веские доводы для создания СЭЗ в рамках кластерного подхода [17].

Кластерный подход – это, прежде всего, новая управленческая технология, позволяющая повысить конкурентоспособность как отдельного региона или отрасли, так и государства в целом. Применение кластерного подхода является закономерным этапом в развитии экономики, а его повсеместное распространение можно рассматривать в качестве главной черты всех высокоразвитых экономик.

Таблица 1 - Теоретические основы кластерного подхода в организации СЭЗ

Название подхода (концепции, теории)	Характеристика
Неоортодоксальный подход (heterodox approach) (Amiti M.,	Игнорирует роль агломерационной экономики, предполагая, что СЭЗ сама по себе обеспечивают платформу для привлечения ориентированных на экспорт прямых иностранных инвестиций

Javorcik B.S.)	(ПИИ), предлагая благоприятный инвестиционный климат и нет никакой необходимости сочетания ее с кластерами
Концепция кумулятивного и кругового процесса (Mathews J.A.)	Конкурентоспособные на международном уровне кластеры в принимающих странах действуют как фактор привлечения ПИИ, которые запускают процесс «круговой и кумулятивной причинности» или цепной реакции. Кластеры начинают расширяться, стремясь расположиться вблизи СЭЗ, которые также служат полюсами роста, и за счет своего активного развития могут оказывать прямое или косвенное воздействие на другие регионы
Теория «новой экономической географии» (Peter D., Krugman P.R.)	Концентрация производства в одном регионе может привести к еще большей концентрации производства в этом регионе за счет международной торговли. Таким образом, можно предположить, что СЭЗ, представляющие собой агломерации ориентированных на торговлю высоко конкурентных фирм, имеют лучшие перспективы привлечения инвестиций в остальную часть принимающей страны, чем внутри-ориентированные кластеры. Таким образом, они могут выступать в качестве «осуществляемого правительством большого толчка» или полюсов роста. Торговые выгоды выше, когда на товары распространяется агломерационная экономия, поскольку концентрация мирового производства в одном месте обеспечивает большие выгоды

Как показывает мировая практика, СЭЗ могут быть частью кластера. В свою очередь, взаимодействующие кластеры могут быть частями особых экономических зон. Схожий процесс слияния может служить началом образования нового вида зон – кластерных. Китай использует кластерный подход при создании зон (открытые города, «Китайская титановая долина»), направленных на развитие обрабатывающей промышленности. Объединяя территориальные кластеры в зоны и, наоборот, разделяя СЭЗ на кластерные образования, ОАЭ добиваются положительного эффекта, а именно: расположив 15 СЭЗ на базе морских портов и аэропортов, ОАЭ обеспечили рост экспорта и импорта товаров и услуг, увеличение ПИИ, что доказывает интенсификацию международных экономических отношений [18-27].

На сегодняшний день кластеры признаны одними из важнейших инструментов содействия инновационному, промышленному развитию, конкурентоспособности и эффективности экономики любой страны.

Выявить и оценить возможности развития кластеризации в особых экономических зонах предполагается по следующей схеме:

- определяется потенциал развития кластеризации страны путем выявления компаний и фирм, производящих и поставляющих товары и услуги на экспорт, их размещение по территории страны, доля экспортируемой продукции в ее производстве в стране и регионах;

- рассматриваются крупные фирмы, производящие или способные наладить производство конкурентоспособной продукции. Посредством анализа цепочки добавления стоимости устанавливаются все фирмы, поставляющие полуфабрикаты, услуги, обеспечивающие сервис и т.п. этим фирмам. В

процессе исследования выявляются как горизонтальные, так и вертикальные цепочки, связывающие различные фирмы;

- выявляются организации, оказывающие для фирмы потенциального кластера информационные и образовательные услуги, финансовую и научную поддержку, заинтересованные во вхождении в состав кластера;

- основное внимание уделяется правительственным организациям, которые могут оказать положительное (стимулирующее) влияние на развитие кластера путем привлечения этих компаний в особые экономические зоны.

Сегодня Россия и Казахстан уделяет все большее внимание поиску новых инструментов развития экономики, которые позволили бы достичь конкурентного преимущества на внутреннем и мировом рынках, и одним из них является объединение особых экономических зон (ОЭЗ) и кластеров.

Создание и развитие кластеров осуществляется в соответствии с методическими рекомендациями по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации, разработанными Министерством экономического развития РФ 26 декабря 2008 г. № 20615-ак/д19.

В таблице 2 представлен механизм объединения кластеров и ОЭЗ в России.

Таблица 2 - Районы, имеющие кластеры и ОЭЗ в России

Район	ОЭЗ	Кластер
Калужская область	ППТ «Калуга» промышленно-производственная	Фармацевтика, биотехнологии, биомедицина
Республика Бурятия Алтайский край	ТРТ «Березовая катунь» туристско-рекреационного Спортивно – оздоровительные услуги	Биофармацевтический кластер
Томск	ТВТ «Томск» технико-внедренческая	Комплексная переработка угля и техногенных отходов
Территория Зеленоградского административного округа Москвы	ТВТ «Зеленоград» технико-внедренческая	микро- и нанoeлектронные изделия; электронные приборы и аппаратура; комплексные технические ИТ-системы на базе электронных приборов и аппаратов
Свердловская область	ППТ «Титановая долина» промышленно-производственная	производство изделий из титана; производство компонентов и оборудования для металлургии; машиностроение; авиастроение; медицинское оборудование и материалы; нефтегазовое оборудование
Республика Татарстан	ППТ «Алабуга» промышленно-производственная	автомобилестроение; автокомпоненты; приборостроение; нефтехимия; композитные и строительные материалы;

		строительные материалы; товары массового потребления
Санкт-Петербург	ТВТ «Санкт-Петербург» технико-внедренческая	IT-технологии и телекоммуникации; фармацевтика и медицинские технологии; приборостроение; энергоэффективность
Примечание: ППТ – промышленно-производственный тип; ТРТ – туристско-рекреационный тип; ТВТ – технико-внедренческий тип		

Одной из самых успешных промышленно-производственных ОЭЗ является ППТ «Алабуга» на территории Республики Татарстан. Основным фактором эффективности по признанию экспертов является заинтересованность региональных чиновников.

Особого внимания заслуживает промышленно-производственная ОЭЗ ППТ «Титановая долина» на территории Свердловской области. Ее успех определен следующими факторами: титановое производство не имеет конкурентов на территории России, самые привлекательные условия налогообложения прибыли и таможенные льготы.

ОЭЗ ППТ «Калуга» на территории Калужской области имеет высокий уровень развития, это связано с грамотной системой управления и тем, что ее резиденты производят продукцию народного потребления, в том числе автомобили. Рассматривая туристско-рекреационные зоны, следует выделить ОЭЗ «Березоваякатунь», находящуюся на территории Алтайского края. Эффективность ее работы обусловлена природным ландшафтом, внедрением экспериментального туризма.

Создавая особую экономическую зону кластерного типа, следует учитывать, что:

а) кластерная ОЭЗ должна быть разделена на несколько кластерных образований, чтобы развивать регионы базирования зоны и соседствующих территорий;

б) распределять льготы внутри ОЭЗ необходимо по дифференцированному (индивидуальному) подходу, т.к. это позволит стимулировать различные направления деятельности в зависимости от их приоритетности [28].

В Казахстане идея кластерного развития была определена в качестве основного метода диверсификации экономики. Для Казахстана кластерный подход является достаточно новым инструментом. Однако его использование начинает занимать одно из главных мест в стратегиях инновационного развития страны. На государственном уровне формируются механизмы, позволяющие обеспечить стимулирование и поддержку развития кластеров. В целом надо отметить, что кластерная инициатива реализуется в соответствии с Посланием Главы государства народу Казахстана «К конкурентоспособному Казахстану, конкурентоспособной экономике, конкурентоспособной нации» от 19 марта 2004 года [6]. Основными целями казахстанской кластерной инициативы являются создание необходимых условий для максимального использования

конкурентных преимуществ страны в целях развития несырьевого сектора экономики на основе вовлечения частных бизнес-структур и повышение конкурентоспособности отечественных предприятий.

В марте 2005 г. Казахстан приступил к реализации проекта «Оценка конкурентоспособности действующих и потенциально перспективных секторов казахстанской экономики и выработка рекомендаций по их развитию». Этот проект получил статус казахстанской кластерной инициативы. АО «Центр маркетингово-аналитических исследований» совместно с консалтинговой компанией США «JE Austin» реализовало данный проект, конечной целью которого являлось формирование кластеров. В процессе проведения анализа был осуществлен отбор основных сегментов кластерной специализации.

На первом этапе отбора критериями выступали такие показатели, как доля в ВВП, рост ВВП и экспорта в сравнение с ростом аналогичных показателей страны, доля занятости и потенциальная привлекательность рынка. Сегментами отбора стали те отрасли, в которых Казахстан имел конкурентные преимущества, принадлежащие привлекательным рынкам, и развитие которых приведет к диверсификации в кратко- или среднесрочном периоде. Таким образом, были выявлены 24 подотрасли для второго этапа.

На втором этапе анализировались рынки (мировой, региональный, казахстанский) и оценивался потенциал отраслей и конкретных производств, были даны оценочные прогнозы спроса и предложения на ближайшие 5-10 лет. Кроме того, исследованию подверглись структуры создаваемых кластеров и их конкурентоспособность с учетом издержек. По итогам второго этапа было отобрано 11 кластеров, являющихся наиболее перспективными для Казахстана.

Последним этапом отбора стала оценка параметров возможности объединения в кластер: по лидерству, структуре, готовности к работе.

Итогом многоступенчатого отбора стали семь «пилотных» кластеров, внедряемых правительством Республики Казахстан в настоящее время с учетом возможностей реальной конкуренции на мировом рынке (таблица 3).

Таблица 3 - «Пилотные» кластеры в Республике Казахстан

Сектор	Кластер	Область
Базовый	металлургический	Карагадинская область Мангистауская область
	нефтехимический	Павлодарская область Атырауская область Жамбылская область
Рыночно-ориентированный	текстильно-промышленный	Южно-Казахстанская область
	производство строительных материалов	Алматинская область, г. Астана
	транспортная логистика	Алматинская область
Инновационный	туристический	Акмолинская область
	интеллектуально-инновационный	Алматинская область

В рамках реализации и ГП ФИИР и Стратегии «Казахстан – 2050» в Казахстане целесообразно создать кластеры в рамках уже существующих специальных экономических зон (таблица 4).

Таблица 4 – СЭЗ и кластеры в Казахстане и их специализация

Наименование	Специализация	Срок режима СЭЗ	Кластер
СЭЗ «Сарыарка»	металлургия, металлообработка	2011-2036 г.	металлургический
СЭЗ «Морпорт «Актау»	металлообработка, приборостроение	2002-2028 г.	металлургический
СЭЗ «Павлодар»	нефтехимия	2011-2036 г.	нефтехимический
СЭЗ «Национальный индустриальный нефтехимический технопарк»	нефтехимия	2007-2032 г.	нефтехимический
СЭЗ «Химический парк Тараз»	химия	2012-2037 г.	химический
СЭЗ «Онтустик»	текстиль	2005-2030 г.	текстильно-промышленный
СЭЗ «Астана – новый город»	строительство, промышленность	2001-2027 г.	производство строительных материалов
СЭЗ «Хоргос – Восточные ворота»	торговля, логистика	2011-2035 г.	транспортная логистика
СЭЗ «Бурабай»	туризм	2008-2017 г.	туристический
СЭЗ «Парк инновационных технологий»	IT-инновации, приборостроение	2003-2028 г.	интеллектуально-инновационный

Среди СЭЗ Казахстана, которые обладают высоким потенциалом в качестве базы формирования кластеров наукоемкого производства можно выделить следующие (таблица 5).

Таблица 5 - Потенциальные кластеры наукоемких производств на базе СЭЗ

Специализация кластера	Территория	Интегратор
Информационно-коммуникационные технологии, перспективные технологии (чистые и зеленые технологии, умная индустрия, умная среда, Е-коммерция и медиа)	СЭЗ «Парк инновационных технологий»	АО «Управляющая компания ПИТ», Национальное агентство технологического развития
Производство новых материалов, перспективных технологий (энергосберегающие, 3D принтинг, биотехнологии) и дизайна	АОО «Назарбаев Университет», СЭЗ «Астана новый город»	«Nazarbayev Research and Innovation System (NURIS)»
Альтернативная энергетика	СЭЗ «Астана новый город»	АО «СамрукЭнерго»
Металлургия	СЭЗ «Сарыарка»	АО «Тау-Кен Самрук»
Машиностроение	СЭЗ «Сарыарка», СЭЗ «Морпорт Актау»	АО «Казахстан инжиниринг»
Химия	СЭЗ «Тараз», СЭЗ	ТОО «Объединенная

Использование СЭЗ должно обеспечить благоприятные возможности для развития кластеров наукоемкого производства. Они должны запустить процесс кластерного развития, обеспечить полный цикл производства высокотехнологичной готовой продукции стратегически важных отраслей национальной экономики с высокой добавленной стоимостью. Только при совмещении науки с технологичным производством могут образоваться наукоемкие кластеры. В свою очередь формирование и развитие кластеров наукоемкого производства требует разработки «дорожных карт» (планы-графики реализации) для поэтапного осуществления работ по строительству кластера и запуску кластерных проектов.

Выводы. СЭЗ с кластерной формой организации представляет собой группу экономических объектов, объединённых приоритетными логистическими связями и представляющая, с точки зрения государства, самодостаточную автономную единицу, в которой реализован необходимый набор производственных, инфраструктурных и социальных функций.

Внедрение кластерного подхода способствует росту деловой активности субъектов предпринимательства, улучшению инвестиционного климата и деловой среды в регионе, развитию экономических, социальных, информационных и интеграционных систем, что дает толчок для дальнейшего более интенсивного развития предпринимательства, привлечения инвестиций и экономического роста.

В Казахстане определены следующие отрасли, в которых создаются «пилотные» кластеры: металлургия (Центральный Казахстан), нефтегазовое машиностроение (Западный Казахстан), текстильный (Южный Казахстан), пищевая промышленность (сельскохозяйственные области), производство строительных материалов (Алматинская область), туризм (Алматы), транспортная логистика (транспортный коридор между Китаем и Европой). В то же время многие казахские ученые считают, что в стране имеются потенциальные возможности создания ряда кластеров и в других секторах экономики – нефтяной и газовой промышленности, биотехнологиях, фармацевтике, химической промышленности, машиностроении, информационных технологиях.

В целях повышения конкурентоспособности региона и отечественной продукции, реализации Концепции 2020 возможно предложить следующие варианты создания ОЭЗ или кластеров для последующей их интеграции:

- объединение ОЭЗ ППТ «Лотос» Астраханской области и нового кластера по строительству современных морских сооружений (суда и платформы, конструкции подводной инфраструктуры), специального оборудования для освоения месторождений нефти и газа на арктическом шельфе, включая подводные роботизированные комплексы и специальное оборудование;

- кластер инновационных технологий ЗАТО г. Железногорск Красноярского края и новая ОЭЗ в области космических и ядерных технологий. Это позволит повысить надежность и качество выпускаемых космических аппаратов системы «ГЛОНАСС», разработать новые виды топлива для энергоблока, создать новые способы хранилища облученного ядерного топлива и инструменты его переработки;

- кластер «Технополис «Новый звездный» и созданная ОЭЗ в области ракетного и авиационного двигателестроения. Это позволит закрепить лидирующие позиции России на рынке авиатехники.

В перспективе реализация подобного «симбиоза» уже созданных и активно создаваемых ОЭЗ с формируемыми кластерами позволит обеспечить активный рост инновационного сектора экономики и экспорта товаров и услуг, произведенных в нем; будет стимулировать увеличение количества малых и средних предприятий; обеспечить рост прямых отечественных и иностранных инвестиций; повысит уровень производительности труда за счет специализации и аутсорсинга непрофильных видов деятельности, уровень занятости – за счет привлечения и формирования новых субъектов экономической деятельности в родственных и поддерживающих отраслях. Применение кластерного подхода активизирует социально-экономическое развитие регионов базирования кластеров, приведет к повышению конкурентоспособности территории в целом.

Предлагая варианты интеграции ОЭЗ и кластера, следует учитывать тот факт, что современная экономическая ситуация не позволяет осуществлять неэффективное инвестирование. Должны поощряться проекты, направленные на изобретение и внедрение новых видов товаров и услуг, позволяющих создать временную «монополию на производство» на мировом рынке.

На сегодняшний день точками роста могут стать две группы отраслей:

а) конкурентные на внутреннем рынке, имеющие определенные экспортные возможности (автомобилестроение, машиностроение, специальное судостроение);

б) конкурентные на мировых рынках – очаги формирования постиндустриальных укладов (авиакосмический комплекс, атомная энергетика и производство изотопов, приборостроение, разработка программного обеспечения)

Предложенный механизм интеграции ОЭЗ и кластера должны стать очагом развития наукоемких производств, что позволит наладить выпуск конкурентоспособной на мировых рынках продукции, в первую очередь в стратегически важных для России и Казахстана отраслях.

Список литературы

1. Емец, М.И., Пургин, А.С. Сравнительный анализ инструментов региональной политики РФ: особые экономические зоны, зоны территориального развития и территории опережающего социально-экономического развития. Экономика, государство, общество;2015;4:28.

2. Жаркова, Н.Н. Интеграция кластера и особой экономической зоны как инструмент реализации Концепции 2020. Экономика, предпринимательство и прав; 2017; 7(2): 95-102.
3. Карта кластеров России. Российская кластерная обсерватория Институт статистических исследований и экономики знаний. [Электронный ресурс]. URL: <http://map.cluster.hse.ru/about/>
4. Корнейко, О.В., Пестерева А.В. Кластерный подход в организации свободных экономических зон. АНИ: экономика и управление; 2017; 6(1): 80-83.
5. Неучева, М.Ю. Функционирование особых экономических зон в различных социально-экономических системах. Проблемы современной экономики; 2011;2 (38):248-251.
6. Послание Президента страны Н.А. Назарбаева, лидера нации, народу Казахстана «К конкурентоспособному Казахстану, конкурентоспособной экономике, конкурентоспособной нации» 19 марта 2004 г.
7. Россия. Особые экономические зоны. ОАО «Особые экономические зоны». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.eng.russez.ru/>.
8. Тургель, И.Д., Божко Л.Г., Линьши С. Государственная поддержка развития моногородов России и Казахстана. Финансы: Теория и Практика; 2016;2 (92).
9. Тулупова, С.А., Рауандина Г.К., Лустов Н.С. Создание специальной экономической зоны «Хоргос-восточные ворота» как основной фактор реализации транзитного потенциала республики Казахстан. Проблемы экономики; 2015;2 (66):51-52.
10. Amity, M., Javorcik, B.S. Trade costs and location of foreign firms in China // Journal of Development Economics. 2008. No 85(1-2), pp. 129-149.
11. Bozhko, L., Assessment of Approaches to Industrialization Issues in the Republic of Kazakhstan and the People's Republic of China, International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT), Energy Procedia; 2017; 113: 482-487.
12. Bozhko, L., Development scenarios for the interregional economic interaction in the context of economy clustering in the Republic of Kazakhstan, International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT), Energy Procedia; 2018; 147: 397-401.
13. Naizabekov, A., Bozhko, L., Future development of cluster initiatives in the Republic of Kazakhstan, International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT), Energy Procedia; 2018; 147: 654-659.
14. Krugman, P.R. Increasing returns and economic geography // Journal of Political Economy. 1991. No 9(3), pp. 483-499.
15. Farole, T., Akinci, G. Special Economic Zones. Progress, Emerging Challenges, and Future Directions. Washington, DC: World Bank, 2011.
16. Farole, T., Akinci, G. (Eds.). Special Economic Zones. Progress, Emerging Challenges, and Future Directions. World Bank, Washington, DC, 2011.

17. Khabdullin, Asset, Khabdullina, Zauresh, Khabdullin, Arman, Khabdullina, Guldana, Lauka, D., Blumberga, D, Analysis of Industrial Electricity Consumption Flexibility. Assessment of Saving Potential in Latvia and Kazakhstan International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT) Energy Procedia, 2016;113:450-453.
18. Marshall, A. Principles of Economics, eighth ed. Macmillan, London, 1890/1920/1972.
19. Mathews, J.A. Strategizing in industrial clusters: Collective efficiency, increasing returns and higher-order capabilities, Holger Crafoord Memorial Lecture, University of Lund. September 7, 2010.
20. Moberg, L. The political economy of special economic zones. Journal of Institutional Economics, vol. 11, no. 1, 2015. P. 167-190.
21. Mathews, J.A. Strategizing in industrial clusters: Collective efficiency, increasing returns and higher-order capabilities, Holger Crafoord Memorial Lecture, University of Lund. September 7, 2010.
22. Murray, M. What are special economic zones // The university of Iowa center for International finance and development. February 9; 2010.
23. Neveling, P. Free Trade Zones, Export Processing Zones, Special Economic Zones and Global Imperial Formations 200 BCE to 2015 CE // The Palgrave Encyclopedia of Imperialism and Anti-imperialism. – Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2015. – pp. 1007-16.
24. Peter, D. et al. Agglomeration, backward and forward linkages: Evidence from South Korean investment in China // Canadian Journal of Economics. 2010. No 43(2), pp. 520- 546.
25. Porter, M.E. Clusters and the new economics of competition // Harvard Business Review. 1998. No 76(6), pp. 77- 90.
26. Tiefenbrun, Susan U.S. Foreign Trade Zones, Tax-Free Trade Zones of the World, and Their Impact on the U.S. Economy// Hofstra International Law & Business Journal, Vol. 13, 2013.
27. Turgel, I., A. Panzabekova, Z. Satpayeva. «Comparative analysis of approaches to designing of regulatory impact assessment institute in Russia, Kazakhstan, and Kyrgyzstan.» Қазақстан Республикасы; 2018:153.
28. Turgel, I., Bozhko, L., Leskova, L., State Support of Monotowns in Russia and Kazakhstan: Experience and Problems, International Scientific Conference on Environmental and Climate Technologies (CONNECT), Energy Procedia, 2016; 95: 559-563.
29. Rubini L., Di Tommaso M. R., Barbieri E. Special Economic Zones and Cluster Dynamics: China // International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. – Vol. 3. – 2015. – PP. 207-212.
30. Zeng, D. Z., How Do Special Economic Zones and Industrial Clusters Drive China's Rapid Development? // Journal of International Commerce and Policy (JICEP). – 2012.
31. Xu, Chenggang, The Fundamental Institutions of China's Reforms and Development // Journal of Economic Literature. 1151.

32. World Bank. Clusters for Competitiveness: A Practical Guide and Policy Implications for Developing Cluster Initiatives. International Trade Department, PREM Network, Report, World Bank, Washington, DC, 2009.

УДК 330.142.211.4

**РЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ – ПЕРВЫЙ ЭТАП ЧЕТВЕРТОЙ
ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ**

**REINDUSTRIALIZATION – THE FIRST STAGE OF THE FOURTH
INDUSTRIAL REVOLUTION**

Малашенко В. П.

*Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, (филиал)
НИТУ «МИСиС», Старый Оскол, Россия
E-mail: mvp1947@mail.ru*

Malashenko V. P.

*StaryOskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST
«MISIS» StaryOskol, Russia*

Аннотация: В статье рассмотрены проблемы восстановления промышленности России в контексте идеологии четвертой промышленной революции, представлен исторический аспект формирования стратегии реиндустриализации России. Выделена основная задача первого этапа реиндустриализации - восстановление машиностроительной отрасли, которая должна стать базой для расширенного воспроизводства основных фондов российских предприятий, обоснован переход к системе амортизации обеспечивающей восстановление основных фондов.

Ключевые слова: четвёртая промышленная революция, индустриальная экономика, производительность труда, реиндустриализация, основные фонды, амортизация, расширенное воспроизводство, коэффициент износа, инвестиции в основной капитал.

Abstract: the article deals with the problems of restoration of Russian industry in the context of the ideology of the fourth industrial revolution, presents the historical aspect of the formation of the strategy of re-industrialization of Russia. The main task of the first stage of reindustrialization-the restoration of the engineering industry, which should become the basis for the expanded reproduction of fixed assets of Russian enterprises, justified the transition to a system of depreciation to ensure the restoration of fixed assets.

Key words: fourth industrial revolution, industrial economy, labor productivity, reindustrialization, fixed assets, depreciation, extended reproduction, depreciation coefficient, investments in fixed capital.

Четвёртая промышленная революция в контексте идеологии Гэлбрейта. Говоря о четвёртой промышленной революции, нельзя не вспомнить знаменитую работу Джона Кеннета Гэлбрейта «Новое индустриальное общество», 50-летие которой учёный мир отметил в 2017 году. Эта работа стала вехой в мировой социально-экономической литературе и получила широкое распространение во многих странах мира, в том числе и СССР. Более того, её изучение входило в обязательную программу экономических факультетов советских университетов. В работе Гэлбрейт блистательно предсказал, - «мы живём и будем жить в индустриальной экономике, в системе где определяющую роль играет материальное производство и постоянный прогресс технологий на основе объективных законов развития» [1]. При этом, как показало время, любое игнорирование этих законов ведёт к деиндустриализации и вызывает деградацию экономики и общества.

В чем же причина возросшей в последние годы популярности работы Гэлбрейта «Новое индустриальное общество»?

Ответ на этот вопрос в идеологии нового индустриального общества Гэлбрейта, которая с годами не только не утратила свою актуальность, но и на фоне глубочайших проблем «постиндустриальной экономики» показала свою жизнеспособность. Следует понимать, к основным характеристикам индустриальной экономики относится не только экономическая сфера, включающая независимость от природно-климатических факторов, преобладание индустриального производства, наличие мощных промышленных технологий, господство частной собственности и рыночной экономики, но и политическая, включающая правовое государство и сильные институты гражданского общества, обеспечивающие защиту прав и свобод граждан.

Основанием возврата к идеям Гэлбрейта стала содержательная разработка им важнейших проблем индустриальной экономики. Индустриальная экономика немыслима без социальной сферы, которая обеспечивает высокую мобильность и формирующая новую структуру общества на основе перехода от сословий к социальным группам.

Существенно дополняет индустриальную экономику духовная сфера, когда человек осознаёт себя как личность и ему открывается возможность самореализации.

На популярность работы, не в последнюю очередь, повлияло и то, что «Новое индустриальное общество» как, впрочем, практически все работы Гэлбрейта написана простым, доступным языком, понятным не только экономистам, но и широкой образованной публике.

Для «постиндустриальной экономики» характерен рост доли высококачественных инновационных услуг и снижение этой доли в промышленном производстве, при том, что эффективная инновационная промышленность насыщая потребности экономических агентов, потребителей

и населения, наращивая инновационные изменения постепенно снижает темпы своего роста и способствует росту безработицы.

Развитие «постиндустриальной экономики» совпало с развитием Всемирной торговой организации (ВТО), которая способствовала огромному оттоку капитала в развивающиеся страны из стран «постиндустриальной экономики». Развивающиеся страны получили доступ к самым современным технологиям, на основе которых создавались новые производства, развивалась наука. Всё это привело к небывалому росту производства бытовых товаров и мощному потоку этих товаров на мировые рынки. Предприятия развитых стран не выдерживали конкуренции с качественными и более дешёвыми товарами развивающихся стран. В результате в развитых странах закрывались производства и росла безработица.

ВТО превратилось в мощный трубопровод, соединяющий экономики разных стран, по которым в одну сторону перемещаются товары, а в другую деньги, а если экономики этих стран представить в виде бассейнов, уровень наполнения которых соответствует уровню жизни населения этих стран, то можно увидеть, как медленно, но стабильно, по закону сообщающихся сосудов, идёт выравнивание этих уровней, но к сожалению, в основном за счёт снижения уровня жизни населения развитых стран.

Не обошли проблемы «постиндустриальной экономики» и российскую экономику. Пятнадцатилетие нефтяного и газового изобилия, позволившее игнорировать законы индустриализации привело страну, несмотря на огромные природные ресурсы и накопленные золотовалютные резервы, к снижению темпов роста ВВП, заработных плат и уровня жизни населения, снижению темпов роста производительности труда и катастрофическому росту износа основных фондов.

Примерно так выглядит эра «постиндустриальной экономики» в начале ХХI века.

Новая волна интереса к работе Гэлбрейта в начале ХХI века не случаен. Гэлбрейт оказался одним из немногих западных экономистов, кто наряду с рыночной экономикой и свободной конкуренцией, обосновал необходимость развитие плановой системы для регулирования отношений как внутри корпораций, так и государственного регулирования, существенно повысив плановое воздействие корпораций на рынок. Гэлбрейт блестяще обосновал, - в результате развития крупного корпоративного, индустриального производства закономерно возникает система планирования.

Преимуществом корпораций Гэлбрейт считал возможность концентрации капитала обеспечивающая «применение всё более сложной и совершенной техники в сфере материального производства. Машины заменили примитивный ручной труд, и, по мере того как они всё шире используются для управления другими машинами, они начинают выполнять более простые функции человеческого мозга» [1]. Эти процессы потребовали не только крупных инвестиций, но и привлечение более квалифицированных специалистов и существенному реформированию производственных отношений.

Возрастание ценности персонала выводит отношения между работодателем и персоналом на более высокий уровень, при этом термин «управление персоналом» всё чаще заменяется термином «управление человеческими ресурсами» (УЧР), определяемый как «стратегический и логически последовательный подход к управлению наиболее ценным активом предприятия: работающими там людьми, которые коллективно и индивидуально вносят вклад в решение задач предприятия» [4].

Основная задача УЧР - объединение усилий руководителей по всей иерархии управления и работников на основе сближения их интересов. По мере качественного роста индустриализации и снижения безработицы, стали проявляться структурные изменения и в профессиональном составе рабочей силы. Увеличилась численность работников с высшим образованием, повысилась вовлеченность работников в дела корпораций. Корпорации стали шире привлекать работников к деятельности по управлению, повышать мотивацию персонала, применяя коллективные формы оплаты труда, сближающие интересы работников и работодателей.

Рост корпоративного капитала привёл к изменению экономической роли государства «государство берёт на себя задачу регулирования совокупного дохода, расходуемого на приобретение товаров и услуг, в масштабе всей экономики. Оно стремится обеспечить достаточно высокий уровень покупательной способности, позволяющей реализовать всю продукцию, которую может произвести существующая в данный момент рабочая сила» [3].

Реиндустриализация – движение к индустриальной экономике. Термин «Реиндустриализация» понимается как «переход от раннеиндустриальной и индустриальной базы производства к его новым технико-технологическим основаниям, перевод производства на более прогрессивный путь развития (высокие технологии) с привлечением достижений информатики, биотехнологий, нанотехнологий, новейших материалов и использованием новых источников энергии» [3]. Существенно дополняют этот термин рассуждения профессора Бодрунова С.Д. в монографии «Формирование стратегии реиндустриализации России»: «Реиндустриализация в специфических условиях России должна пониматься как разработка и практическое воплощение сугубо внутренних взаимосвязанных индустриальных проектов, создающих потребительные стоимости как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Итогом реиндустриализации должен явиться, во-первых, устойчивый экономический рост, базирующийся на конкурентных рынках товаров и капитала; во-вторых, социально устойчивый рост, базирующийся на социально ориентированном распределении доходов; в-третьих, экологически ориентированный рост, базирующийся на установлении равновесия между экономической активностью и окружающей средой» [3].

Но, на мой взгляд, прежде чем говорить об итогах реиндустриализации, необходимо создать условия вовлечения в процессы реиндустриализации многомиллионные коллективы трудящихся российских предприятий. А

сделать это можно как раз на основе создания условий социально устойчивого роста, базирующегося на социально ориентированном распределении доходов.

Нынешнее состояние экономики России не внушает оптимизма. Из года в год растут тарифы ЖКХ, цены на газ, бензин, электричество, продукты питания, увеличиваются налоги и разные сборы, более половины населения экономят на еде, стремительно уменьшается средний класс, - исчезают люди, которые должны двигать экономику, снижается потребительский спрос и темпы роста экономики. И в то же время правительство, не выполняя указы президента не несёт за это никакой ответственности.

Например, в мае 2012 году президент России, в целях дальнейшего совершенствования государственной социальной политики, издал указ в котором поручил Правительству Российской Федерации обеспечить увеличение к 2018 году размера средней реальной заработной платы в 1,4 - 1,5 раз. Но к сожалению, в 1,6 раз увеличилась лишь номинальная заработная плата, с 26629 до 42550 рублей. При этом, с учётом инфляции, которая суммарно за 2012-2018 годы составила 60,7%, реальная заработная плата не только не увеличилась, а фактически снизилась на 35 рублей. А если посчитать соотношение номинальной средней заработной плате за 2012 – 2018 годы в долларах США, мы видим снижение на 28% - с 886 до 637,7 долларов США.

В.В. Путин, в ходе «Прямой линии» с жителями страны в 2017 году, заявил: «У нас много задач: первая и самая главная — нужно обеспечить рост доходов граждан страны, избавиться от нищеты, от бараков и аварийного жилья, но сделать это можно исключительно развивая должными темпами нашу экономику».

История России знает немало примеров быстрого роста экономики - годы НЭПа, индустриализация 30-х, послевоенное восстановление. Но особенно впечатляют результаты правления одного из самых почитаемых премьер-министров царской России, Петра Аркадьевича Столыпина, реформы которого в начале XX века вывели экономику России в пятёрку развитых стран мира. Как решалась глобальная задача экономического возрождения российской экономики Пётр Аркадьевич выразил коротко: **«Наше экономическое возрождение мы строим на наличии покупательной способности у крепкого достаточного класса на низах».**

Кстати, крепкий достаточный класс царской России **на низах** в те времена состоял не только из среднего сословия, включая учителей, врачей, служащих, но и квалифицированных рабочих и работающих крестьян.

О производительности труда. Показатель производительности труда учитывает не только трудовые затраты, но и затраты капитала и всевозможные материальные затраты, что актуально для любых, ориентированных на прибыль, организаций. В долговременном периоде рост этого показателя означает лучшее использование финансовых, материальных, энергетических, технологических и трудовых ресурсов. Усиливает значимость этого показателя ещё и то, что страны с самой высокой производительностью закономерно становятся экономическими лидерами, а общественная производительность труда рассматривается как

своего рода интегральный показатель эффективности экономики страны в целом и косвенно характеризует качество государственного управления экономическими процессами. Контроль за состоянием и динамикой общественной производительности труда является важнейшей функцией государственного управления и всегда находится под пристальным вниманием руководителей стран.

Проявляет заинтересованность в росте производительности труда и президент России. В.В. Путин ежегодно, а в некоторые годы не один раз призывает Правительство обеспечить рост производительности труда. Так, выступая на расширенном заседании Государственного совета «О стратегии развития России до 2020 года» 8 февраля 2008 года В.В. Путин выразил озабоченность неэффективностью сегодняшней российской экономики, отставанием по производительности труда и привёл сравнение, что «те же затраты труда, что и в наиболее развитых странах, приносят в России в несколько раз меньшую отдачу».

В 2011 году Президент поставил задачу в ближайшие 10 лет повысить производительность труда в два раза, а в ключевых отраслях экономики в 3-4 раза.

Выступая на инвестиционном форуме «ВТБ Капитал» «Россия зовет!» в октябре 2013 года Владимир Владимирович Путин снова отметил: «Главным вызовом для экономики России является повышение темпов роста производительности труда, поскольку нынешние темпы означают консервацию сырьевой структуры экономики». Но, опять не получилось.

1 марта 2018 года президент призвал Правительство обеспечить рост производительности труда темпами не ниже 5% в год, чтобы к концу следующего десятилетия выйти на уровень ведущих экономик мира.

Знаменательным стало принятие в 2018 году 12 национальных проектов, в числе которых есть и проект «Производительность труда и поддержка занятости». Но, следует признать, не используя принципов, изложенных в трудах Гэлбрейта и его последователей, добиться хороших результатов в реализации намеченных проектов. Последняя инициатива президента изложенная в 12-ти национальных проектах вполне можно было объединить в единый проект под названием «Четвёртая промышленная революция», первым этапом которой могла бы стать – реиндустриализация.

Новая система амортизации - один из ключевых инструментов реиндустриализации. Показательно, степень износа основных фондов уровня 48,1% - увеличение составило 35,87%. При этом стоимость основных фондов на конец 2017 года [5] составила всего 197,373 трлн. руб. или смешные 3,0 трлн. дол. США (1 доллар = 65,8 руб.). На мой взгляд, такой уровень стоимости основных фондов характеризует не только низкий уровень инвестиций в воспроизводство основных фондов за эти годы, но и их явную недооценку, что существенно снижает объём налога на имущество и размер амортизационных начислений.

По данным Росстата [6], с 2010 по 2017 год стоимость основных фондов увеличилось на 104,188 трлн. руб. (111,8%), коэффициент обновления основных фондов составил 39,47%, коэффициент выбытия 6,57%, а степень износа основных фондов за этот период увеличился на 1,0%, с 47,1% до 48,1%.

Данные о состоянии основных фондов и их качестве представлены в таблице 1.

Сумма начисленной за последние 5 лет амортизации составила 37,091 трлн. руб., а инвестиции из собственных средств предприятий (таблица 14,5 Россия в цифрах 2018) всего 26,582 трлн. руб. Как видим только за последние 5 лет более 10 трлн. рублей амортизационных отчислений не были израсходованы на воспроизводство основных фондов.

Данные о состоянии основных фондов и их качестве представлены в таблице 2.

В 1994 году, в связи с высоким уровнем инфляции, по постановлению Правительство РФ приняла постановление о проведении переоценки основных фондов предприятий, которая до 1998 года были обязательной для всех организаций на территории РФ. Но, 24 июня 1998 г. согласно постановлению Правительства № 667 начиная с 1998 года переоценка основных фондов была признана необязательной и предприятия получили право проводить переоценку лишь в случае, если балансовая стоимость объектов основных фондов превышала текущие рыночные цены. «Пороговое» значение было превышено уже в 2011 году, но решение о переоценке принято не было [7].

Таблица 1 - Данные о состоянии основных фондов и их качестве

Показатели состояния основных фондов	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Стоимость основных фондов, млрд. руб.	93185	101938	121269	133522	147430	160725	183404	197373
Увеличение стоимости основных фондов, млрд. руб.	10882	8753	19331	12253	13908	13295	22679	13969
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб.	9152,1	11035,7	12586,1	13450,2	13902,6	13897,2	14748,9	15966,8
Стоимость выбывших основных фондов, млрд. руб.	739,5	809,0	842,9	928,2	1170,1	1591,3	1467,2	1579,0
Разница (4-3-5) млрд. руб.	-2469,4	1473,7	-7587,8	269,0	-1175,5	-989,1	-9397,3	4188,0
Коэффициент выбытия основных фондов, %	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	1,0	0,8	0,8
Коэффициент обновления основных фондов, %	3,7	3,9	4,8	4,6	4,3	3,9	4,4	4,4
Степень износа основных фондов, %	47,1	51,3	47,7	48,2	49,4	47,7	48,1	48,1
Рост + (снижение-) степени износа основных фондов, %	+3,9	+8,9	-7,1	+1,0	+2,48	-3,45	+0,4	0

Таблица 2 - Данные о состоянии основных фондов и их качестве

Показатели состояния основных фондов	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Сумма за 2013-2017 годы
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб. (таблица 14.3)	-	13450,2	13902,6	13897,2	14748,9	15966,8	71965,7
Сумма начисленной амортизации, млрд. руб.	57845,1	64357,6	72830,4	76665,8	88217,3	94936,4	37091,3
Инвестиции в основные фонды из собственных средств, млрд. руб.	-	4549,9	4742,3	5271,1	5750,7	6268,2	26582,2

Начиная, с 1991 года в России снижается спрос на оборудование, машины и механизмы, что привело к существенному снижению объёмов производства и численности персонала машиностроительной отрасли. Только с 2000 по 2017 годы численность работников машиностроительной отрасли снизилось с 2 081 000 до 682 000 человек. Снижение спроса на продукцию машиностроительной отрасли существенным образом отразилось на рост плановых и неплановых (аварийных) ремонтов и численности ремонтного персонала предприятий.

Исследования динамики степени износа основного технологического оборудования ряда предприятий горно-металлургического комплекса Белгородской области, анализ статистических данных состояния основных фондов российских предприятий, дали возможность обосновать основные причины критического положения с износом основных фондов на российских предприятиях:

- отсутствие системности простого и расширенного воспроизводства основных фондов;

- Постановление № 667 от 24 июня 1998г, и ряд статей Налогового кодекса остановившая переоценку основных фондов, существенно исказило расчёты показателя общей степени износа основных фондов на российских предприятиях в сторону его уменьшения;

- применяемая в России система амортизации, регламентирующая 25 главой Налогового Кодекса РФ, обеспечивая возврат ранее затраченных на воспроизводство основных фондов средств, лишь частично направляется на простое воспроизводство.

Для своевременной замены морально и физически изношенных основных фондов необходимо:

- перейти от системы амортизации, обеспечивающей возврат ранее затраченных на приобретение основных фондов средств, к системе, направленной на накопление средств. Система амортизации должна формировать на каждом предприятии «Специальный амортизационный фонд предприятия», средства которого должны использоваться исключительно на воспроизводство основных фондов;

- создать условия невыгодности использования физически и морально изношенных основных фондов;

- с целью более точного определения степени износа основных фондов предприятий, одновременно с переоценкой основных фондов, проводить переоценку суммы амортизационных начислений, используемых при расчёте степени износа;

- с целью повышения мотивации собственников предприятий в своевременном воспроизводстве основных фондов, результаты переоценки основных фондов и амортизационных начислений должны использоваться в целях налогового учета.

Предложенные изменения создадут возможность не только возврата ранее затраченных средств на приобретение основных фондов, но и накопление их для простого воспроизводства, обеспечат мотивационные предпосылки к

расширенному воспроизводству основных фондов. При этом у владельцев предприятий исчезнет иллюзия высокорентабельного производства, подтолкнет их к поиску путей и способов снижения издержек производства, замене старого изношенного и морально устаревшего оборудования на новое, высокотехнологичное, что обеспечит рост производительности труда.

Инвестиционная активность предприятий, несомненно, вызовет увеличение спроса на продукцию машиностроительной отрасли, начать процессы реиндустриализации и позволит российской экономике сделать существенный шаг от названия «сырьевой».

Список литературы

1. Джон Кеннет Гэлбрейт Новое индустриальное общество. Избранное. М: ООО «Издательство «Эксмо» 2008. 1198 с.

2. И.А. Благих, С.Д. Бодрунов, Л.Н. Даниленко, А.М. Кулегин, С.В. Лебедев, И.В. Лукоянов. Монография. Гэлбрейт: Возвращение. М: Изд-во Культурная революция, 2017. 424 с.

3. С.Д. Бодрунов, Монография Формирование стратегии реиндустриализации России. Институт нового индустриального развития (ИНИР). СПб., 2013.-680 с.

4. Майкл Армстронг. МВА. Практика управления человеческими ресурсами. 10-е издание. СПб: издательство «Питер». 2010. 846 с.

5. Краткий статистический сборник. Россия в цифрах 2018, Раздел 3. «Национальное богатство» стр. 63-65.

6. Российский статистический сборник. Россия в цифрах 2018, Раздел 14. «Основные фонды» стр. 299-308.

7. В.П. Малашенко Монография. Приватизация – раковая опухоль России. Старый Оскол: Издательство «РОСА», 2012.-340 с.

УДК: 65 654

ECONOMIES OF THE FUTURE EMPIRICAL ANALYSIS OF PROBLEMS AND OPPORTUNITIES OF THE CERAMIC INDUSTRIAL DISTRICT OF NOVE – BASSANO (ITALY)

Celetti David,

University of Padua, Padua (Italy)

e-mail: david.celetti@unipd.it

Abstract: The article presents the results of a research aiming to discuss growth potentials of small, and medium handicraft firms operating in stagnating sectors. The study uses a methodological approach that juxtaposes the theoretical analysis of latest scientific literature, statistics, and empirical studies focused on a sample of selected firms. The principal argument of the paper is that firms, and in

particular small, and medium handicraft ones, can find growth opportunities even in declining sectors, provided that they succeed in transforming traditional approaches through process, product, and marketing innovation. Secondly it argues that modern technologies, and in particular IT, open new possibilities even to small businesses, provided that they are open to innovation, and succeed in exploiting it. Finally it confirms the still relevant role of “made in Italy” as internationally valued brand, notwithstanding the transformation, and difficulties, following the globalization, and European monetary unification processes. Moreover the analysis shows how single firms managed overcoming structural weaknesses and built solid competitive position in the global market when they could get into innovative, high quality niches, whereas those confined within traditional approaches have been, and are, suffering acute crises.

Key words: Eurasia, Industrial Districts, Industrial Policy, Handicraft, Made in Italy, Economic History.

Introduction. The article investigates growth potentials for small and medium handicraft firms operating in stagnating, or declining sectors. The work is based on a wide overview of the most recent literature on industrial districts, on the examination of statistical data, and of empirical case studies. It juxtaposes traditional economic analysis of a sector that suffering an enduring crisis, to in depth reconstruction of business-stories of selected firms. This approach allows us to go deeper into factors determining trends and counter-trends, and to investigate the reasons of success stories within a declining market at global level. The paper actually demonstrates that small businesses can be successful even within unfavourable economic contexts provided that they succeed in “changing the traditional rules of the games” through radical innovation in processes, including marketing, and production. It also argues that such experiences, in the long run, lead to sector’s transformation through imitation processes by other firms, which, in turn, contribute in upgrading it towards higher level of competitiveness. Meanwhile it stresses that sticking to traditional managerial approaches in such context leads to failure.

Methodologically the work unites traditional quantitative analysis, with the interpretation of empirical qualitative data obtained from interviews to entrepreneurs, and firms’ association representatives. This allows juxtaposing to the clear picture of the sector’s evolution in-depth glimpses into real business processes. The paper presents the first analysis of a wider research on excellent export oriented Italian handicraft business operating in different sectors.

Ceramic sector has been selected because of its relevance within the regional and national economy; of its historical importance; of its recent critical trends in terms of turnover, number of operating firms, and of employees. The firm’s case studies, on the other hand, represent a clear example of small family-run artisanal businesses facing a complex environment.

The study’s conclusions are that enduring industrial crisis mirrors profound changes in the world economy. These processes constitute at once a threat for

traditional sectors exposed to concurrence, and shrinking domestic markets, as well as an opportunity for those firms succeeding in positioning itself in high quality niches. New technologies, on the other hand, offer the possibility to innovative small and medium business to develop strategies previously typical of bigger organizations.

Theoretical Review

The paper completes available scientific literature through an innovating interpretation of small and medium handicraft firms operating in declining sectors. Studies on the Nove-Bassano artistic ceramic cluster focused mainly on its century-long brilliant development, explaining in light of history causes, and factors having enabled the emergence of world-renowned clusters (Favero 2006). The explanatory model – as a matter of fact common to most Italian industrial districts – juxtaposed environmental, social, cultural, and, last but not least, political factors to highlight the dynamic that led to the emergence of a unique system of high quality, flexible, and competitive handicrafts.

The production of artistic ceramics in the area Bassano-Nove (Vicenza province, Veneto region, Italy) holds a century old tradition. Its origins date back to the Ancient Time with the first exploitation of the widely available clay and water to produce dishes, cups, and other items of everyday use. The development of ceramic production as commercial activity, however, started only during the Venetian period. In the 17th and 18th centuries firms as Mainardi, Salmazzo, Dalla Valle and Antonibon – the later still active in Nove under the denomination of “Barettonigia” Antonibon SAS di Barettoni Lodovico & C. – rose as internationally renowned producers of plates, trays, food covers, cups, mugs, pourers, pharmacy jars, as well as ornamental articles like candelabra, frames for mirrors and windows, decorated tiles, fonts.

Literature highlighted the role of handicrafts as upgraders of quality, raising basic production to artistic levels, and as incubators of new firms when employees created their own activity after having acquired the necessary competences, and skills (Fontana 1997).

The relevance of the socio-political establishment for maintaining long term growth of a manufacture deeply linked, above all in its artistic, high quality segments to upper classes, and government contracts, has been stressed in relation to the sector’s crisis that followed the collapse of the Venetian Republic, and to opposite trends showed by the late 19th century growth, lasting, though interrupted during the World Wars, until the early 1990s. (Lane 1954, Stringa 1987, Favero 2006, Guidolin 2013) The sustained expansion in the second half of the 20th century, was also explained by the leading role of certain markets – first of all the North American one, then the British, and Japanese –, and by the active action of “big buyers” who, based in Milan, Florence, and Rome, travelled through Italy searching for high quality, competitive handicraft productions (Guidolin 2013).

Skilled artisans, low salaries, and the preservation and reinterpretation of old traditions have also been interpreted as unique competitive advantages. Orders poured into the cluster by foreign buyers alimented a steady growth of the firms’ turnover namely because the cluster was able to offer unique produces. This aspect

has been also linked to the relevant role of technical education. Ceramic schools appeared already in the early 19th century, as the case of the “Scuola di Disegno e Plastica Applicata alla Ceramica G. De Fabris”, becoming in the 20th century one of the most important and renowned ceramic school in Italy, and remained a fundamental point of reference until very recent days (Ericani 1990a).

The above mentioned virtuous trend was interrupted in the 1990s, when the whole sector fell in a deep crisis that is not yet overcome, losing more than 42 per cent of its firms, employees, and turnover. The reasons of the crisis are manifold. It is first of all to be stressed the negative effect of the European monetary unification on a sector hardly linked with the export market. The transition from a “soft” to a “hard” currency bitterly hurt the sector, increasing prices of its final products without compensation in terms of production costs. The current macro-economic policies, then, have also negatively influenced the district performance because of their depressing effect on the final demand. Shifting from macro-economic to micro-economic considerations, we have to stress the effect of the fierce price concurrence among district’s firms; the lack of direct contacts with the final clients; the bargaining power of “big buyers”, traditionally monopolising the market; the old fashioned approaches to production, design, and marketing; the poor technological, product and process innovation; as well as the limited share self-financing on overall investments, and over reliance on bank credits (Confartigianato Vicenza 2002-2010; Guidolin 2013).

Often grounded on the vast literature on Italian industrial clusters, available scientific literature give brilliant insights on sectors trends, strengths, and weaknesses (Storper, Scott 1989; Anastasia, Coro’ 1993; Anastasia, Coro’ 1996; Beccattini 2007; Storper 1989). The study of countertrends at firm level, though of relevant heuristic potentialities, still remains, however, marginal.

Sectorial Analysis

The Nove-Bassano artistic ceramic district is one of the 17 industrial clusters of the Veneto Region, as officially recognized by Regional, National, and European legislation. Along with the clusters of Sassuolo, Faenza, Civita Castellana, and Modena it constitutes the bulk of the Italian ceramic production (Confartigianato Vicenza 2002-2010). The districts production is vastly concentrated around the cities of Bassano and Nove, hosting most of the district’s firms. Shaped by a century long history in ceramic production, the area is still characterized by a very high “sectorial specialization index” (figure 01), which, in turn, demonstrate the cluster’s resilience capacity in front of negative economic trends. Notwithstanding the decade long crisis, in fact, entrepreneurs didn’t massively flee the sector, managing, though often at lower levels of production and turnover, to keep their business running. Most firms are of small, and medium dimensions, and can generally speaking be classified as “artisanal”, with regard to the fact that labor, and not technology, still represent the essential factor of production (Confartigianato Vicenza 2002-2010).

The dependent employment balance (recruitment – cessation of employment) has been negative for all the period considered (2000-2018), with very sharp diminution in 2001-02 (-55%), in 2008-09 (-75) and in 2015 (-50%). This, in turn,

had negative effects on manpower offer, as the sector lost attractiveness of perspective young artisans, and workers.

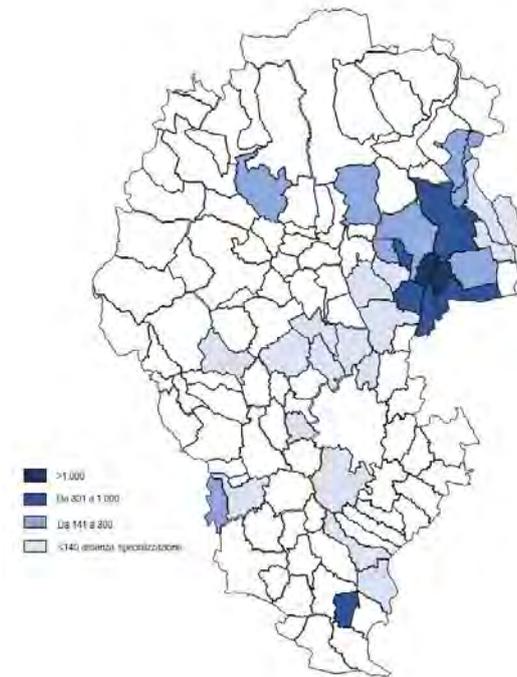


Figure 01 – Specialization Index. Province of Vicenza (Area of Bassano-Nove in dark blue)

Source: Elaborazione Ufficio Studi Confartigianato Vicenza su dati Unioncamere-Infocamere, 2017.

This is all the more striking that in the period 2003-2018 the sector lost 42 percent of existing firms (figure 02).



Figure 02 – Firms operating in the ceramic sector (red line Veneto region, dark line Vicenza province).

Source: Elaborazione Ufficio Studi Confartigianato Vicenza su dati Unioncamere-Infocamere, 2017.

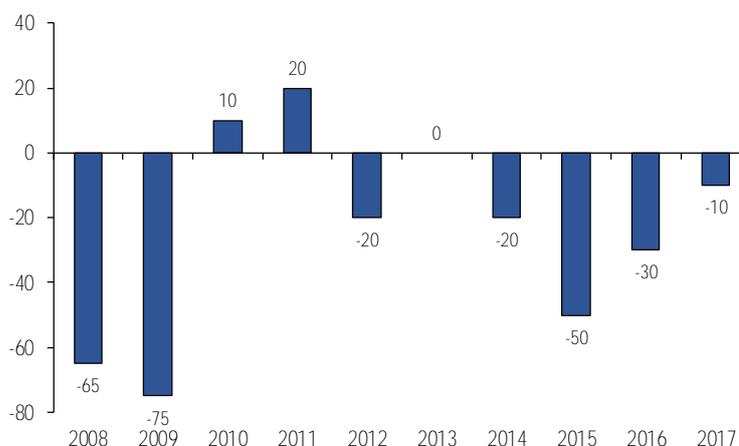


Figure 03 – Employment Balance (Artistic Ceramic Sector Nove-Bassano). Source: Confartigianato Vicenza, Elaborazione Ufficio Studi Confartigianato Vicenza su dati Unioncamere-Infocamere, 2017.

However in crisis the sector remains strongly export oriented, almost 90 percent of its production being sold outside Italy (figure 04). The first export markets are the traditional ones – Western Europe and the US. The Far East, and emerging countries as Russia, Ukraine and Kazakhstan play also a relevant role. Notwithstanding a temporary diminutions of exports to the Russian Federation in the years 2014-16 mainly due to political reasons (Barison 2018), East Europe and Central Asia are emerging as primary markets, reaching almost 30 per cent of the sectors exports in 2017 (Tich 2018).

Figure 04 - Exports from the Province of Vicenza of ceramic products (2016 and 2017)							
Paese		Export 2007	Export 2016	Export 2017	incid. %	var. % 2017	var. % 2017
					vs world	vs 2016	vs 2007
1	United States	9.558.684	6.074.506	6.303.049	15,5	3,8	-34,1
2	Germany	7.773.793	6.404.262	5.956.686	14,7	-7	-23,4
3	France	3.312.927	4.078.767	4.416.823	10,9	8,3	33,3
4	Austria	2.127.839	2.439.894	2.045.557	5	-16,2	-3,9
5	UK	2.112.098	1.695.995	1.715.132	4,2	1,1	-18,8
6	Russian Fed	1.906.127	1.085.518	1.704.138	4,2	57	-10,6
7	South Korea	157.264	1.081.797	1.515.742	3,7	40,1	863,8
8	Spain	1.805.545	1.490.116	1.487.763	3,7	-0,2	-17,6
9	Poland	283.781	1.346.715	1.385.639	3,4	2,9	388,3
10	Netherlands	1.118.449	798.120	953.841	2,3	19,5	-14,7
11	Arab Emirates	496.770	729.514	875.554	2,2	20	76,2
12	China	440.602	755.047	774.811	1,9	2,6	75,9
13	Qatar	0	590.891	724.438	1,8	22,6	n.d.
14	Croatia	283.649	838.732	603.189	1,5	-28,1	112,7
15	Danmark	618.203	609.596	585.112	1,4	-4	-5,4
First 15 markets		31.995.731	30.019.470	31.047.474	76,4	3,4	-3
Other Markets		8.518.302	9.468.309	9.579.202	23,6	1,2	12,5
UE 28		21.865.231	22.699.676	22.202.117	54,6	-2,2	1,5
Extra UE 28		18.648.802	16.788.103	18.424.559	45,4	9,7	-1,2
World		40.514.033	39.487.779	40.626.676	100	2,9	0,3

Source: Ufficio Studi Confartigianato Vicenza and Author's elaborations

Figure 04 – Dynamics and Exports Shares of the Ceramic Sector of Nove Bassano (Vicenza Province) Variation 2017-2007 (blue columns) and export share (red numbers).

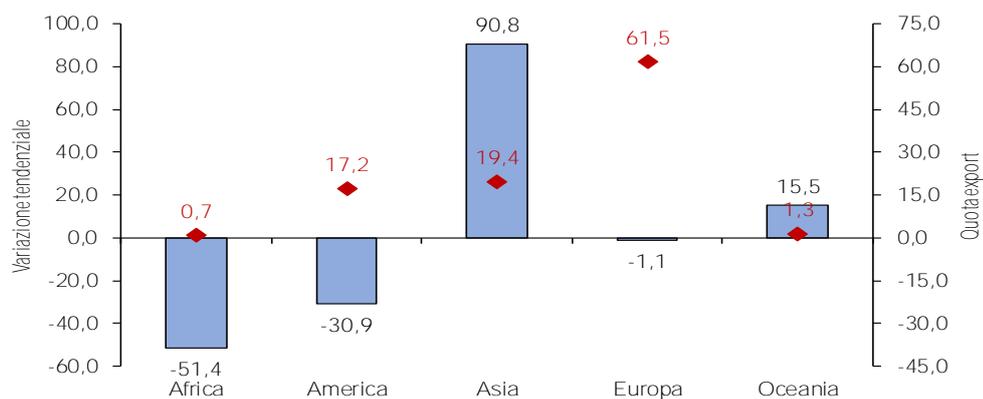


Figure 05 – Dynamics and Exports Shares of the Ceramic Sector of Nove Bassano (Vicenza Province)

Source: Confartigianato Vicenza, Elaborazione Ufficio Studi Confartigianato Vicenza su dati Unioncamere-Infocamere, 2017

In 2017 the United States still remained the first market, with 6.3 million euros and the 15,5 per cent exports, followed by Germany and France. The picture mirrors the traditional export configuration of the sector, as it emerged from the 1950s onwards. A closer analysis reveals however structural changes.

Comparison of figures 04 and 05 reveals in fact that America and Western Europe are losing positions, whereas Asia is nowadays the fastest growing market for ceramic products. Russia, in particular increased its share by 57 per cent in 2016-17 largely compensating the diminution of the years 2014-15. Equally interesting is the fast growth of China, that increased its share by 76 per cent in the decade 2007-17, playing the double role of concurrent, and buyer. Evidence shows that firms working with Asian, including Russian, clients have more chances of development than those sticking in the sector's traditional markets (Barison 2018).

Statistical data presents an overall picture of a sector living a long lasting crisis, and bearing high costs in terms of number of firms in activity, employees, and turnover. The reasons of such dismantling trends have been identified within three broad categories (figure 06).

First of all external transformation of reference export markets (the US and Western Europe) from the mid-1980s onwards negatively influenced the sector's trends. Traditional ceramics, in particular, lost their attractiveness as interior, and garden decoration, as consumers' tastes moved towards simple, sometimes minimalist styles. The European common currency also influenced negatively the sector's performance, eliminating the advantage granted by "competitive devaluation" of the former Italian currency (Chinn 2006). Finally Chinese concurrence in the medium and low market segments widely jeopardized exports, above all in the United States, as buyers, purchasing big quantities of ceramic objects for the large retailers massively turned to cheaper Chinese goods.

Along with such exogenous elements, inner weaknesses, as the district's fragmentation and concurrence, the one client – one market policy of many firms, traditionalism in design and production, and weak financial structure of many

handicrafts, implying over-reliance on debt also plaid a negative role. The lack of technological innovation, and the strong reliance on manual work, strongly reduced competitiveness, incorporating in the products costs, as namely hand-made decorations, that were no more valued by consumers.

Exogenous Factors	Endogenous Factors	From Strength to Weakness
<ul style="list-style-type: none"> • Change of taste and lifestyle in the US and WE • European Common Currency • Emerging Chinese concurrence 	<ul style="list-style-type: none"> • District's Fragmentation and inner concurrence • One Client/One market policy • Traditionalism in design, management and production • Weak financial structure 	<ul style="list-style-type: none"> • High quality-high price • Value of artisanal manual work

Figure 06 – Dynamics and Exports Shares of the Ceramic Sector of Nove Bassano (Vicenza Province)
Variation 2017-2007 (blue columns) and export share (red numbers).

Source: Confartigianato Vicenza, Elaborazione Ufficio Studi Confartigianato Vicenza su dati Unioncamere-Infocamere, 2017 and Author's Elaborations

The enduring crisis mirrors, therefore, profound changes in the world economy, and sector's inner structural limits, both elements trapping most firms within a vicious circle of decreasing turn over, market shares, financial resources, and medium term perspective.

Case Study

Business operating within this highly difficult sector developed alternative strategies to counteract crisis. Most of them continued to base their strategy on the traditional approach based on quality, and on the specificities of the Bassano-Nove production. Other developed alternative strategies that transformed weaknesses into strengths as demonstrates the example of Ceramiche Lorenzon.

Ceramiche Lorenzon is a small family run business operating essentially in niches of the Russian, and Central Asian markets. The firm was created in 1971 by Gianni Lorenzon and his sister Loretta, both ceramic artisans, and it is still run by their heir-children. The founders, already working in the sector, aimed to exploit the fast growing demand for decorative ceramic items above all of the American market. The firm started therefore serving namely that market with high quality, competitive products, that, however, showed little differentiation from competitors. Besides marketing strategy was quite conservative, relying mainly on local agents, and poorly supporting brand promotion.

Until the early 2000s we worked essentially for the American market, that bought more than 80 per cent of our productions. We had contacts with local agents,

so we did not have to bother about promotion. We produced quite a vast range of ceramic items for interior and exterior decoration. Business was going very well, and had fair returns. Then, suddenly, the market stopped. They stopped ordering. I still don't know exactly the reasons. As we had no contacts with the final clients it's very difficult to understand. There was the coincidence of the twin towers attacks. There was the emerging Chinese production in medium quality ceramics. In any case from one year to the other sells dropped. It was a shock and we understood that we had to react changing dramatically production and marketing processes. (Lorenzon 2018)

In fact the firm's strategy radically changed. The transformation coincided with the generational succession, the children of the founders obtaining full management responsibility. It also mirrored the deep transformation in world economic and political contexts brought about by globalization. Reacting to the decline of the American market, tightly linked with the emerging Chinese concurrence, as well as with taste and cultural changes, the management looked for new opportunities, spotting in Eastern Europe, and Central Asia as emerging areas. The former Soviet republics, in particular, offered niches for high quality ceramics items. Cultural factors, the relatively large number of rich potential clients, and different approaches to interior decoration created the prerequisite for the firm successful presence in the area.

Rapid transformation was vital. We had the chance that all this coincided with a generational succession in our firm, our parents having given to us, the new generation, full responsibility. That eased very much things, liberating new energies and views. In particular we felt that the former Soviet republic offered a very perspective market. There were a set of very clear reasons for that. First of all there were quite numerous very rich potential clients. People who had earned fortunes in very short time, and were ready to spend money for decorating interiors, and villas, relying on designers and architects. That was, and is, true in Russia as in almost all former Soviet republics. Then they had a particular taste, that was quite far from the "minimalism" that was emerging in western countries at that time. Then they had houses and apartments that could host our products, requiring large spaces. The point was how to get into the market. The idea was to get closer to the client, to build contacts with designers, and architects. And also with the "final users". (Lorenzon 2018)

Starting from these premises, the firm developed an ambitious marketing strategy. It started participating in fairs, and special events, like, among others, the EuroLuce Fair in Milan, the Moscow Fair of 2018, or the Interior Mebel Fair in Kiev. This allowed not only to present new collections, but also to come to contacts with architects and designers. Show rooms, and a single brand stores, like that opened in 2018 in Teheran, was a second step forward. All these measures allowed to build tighter links with the clients, both professionals and final users, which, in turned, developed into an ever greater products' personalization reaching, in the last years, characters of "tailored production".

We used the financial resources accumulated in the past years, when we were working in the American market, to build up our presence in the CIS area. And,

though difficult, it paid off. Now we are quite present in the region, and sells are growing every year. We have so close contacts with designers and architects that we can create production almost tailored on the clients' needs. This is the other relevant transformation of our firm. We don't offer standard products, but tailored ones. We are artisans in the real sense of the word, though our firm uses very advanced technology. Tailoring the product means that we don't really sell ceramics items, but an idea of how to decorate interiors, and gardens. We sell a life style. The work that we are doing now is to publicize namely a life style, associating the brand Lorenzon with a certain idea of luxury. So clients do not buy just a chandelier. They buy a particular one that has features that will be recognized as unique. This is at once brand, marketing and production policy (Lorenzon 2018).

Collections were deeply adapted to the new markets, mirroring, for example, the taste big, luxurious and exotic animals like lions and tigers, or for extremely elaborated chandeliers, fountains and mirrors of the Central Asian world. This goal was reached innovating production, and exploiting up to date techniques within traditional, handicraft processes. Nowadays the firm's presence in Central Asian markets is consolidated, and the area absorb the bulk of firm's production, insuring medium term, continuous development of sales and turn-over.

Conclusion

The sector's analysis and the proposed case study demonstrate that success can be reached even within a declining sector and by medium and small handicraft firms, provided that they succeed in innovating marketing and production strategies to concentrate in market niches, where the propose quality plays a more relevant role than price, tastes are consistent with the firm's offer, and close contacts with clients allows to "tailor" products in a way that no competitor can make, selling, more than just a product, a service, a relationship, and a life-style.

References

1. Alvera' 1981, A.AlveràBortolotto, Storia della ceramica a Venezia dagli albori alla fine della Repubblica, Firenze, Sansoni.
2. Anastasia 1993, B. Anastasia, G.Corò, I distretti industriali nel Veneto, Portogruaro, Nuova Dimensione.
3. Anastasia 1996, B. Anastasia, G.Corò (1996), Evoluzione di un'economia regionale. Il Nord-est dopo il successo, Nuova Dimensione, Portogruaro
4. Baroni 1932, C. Baroni, "Ceramiche veneziane settecentesche: le ceramiche di Nove e di Bassano", Archivio Veneto, 62/11 (1932), 181-286.
5. Belussi 2003, F. Belussi, L. Pilotti G. Gottardi, E. Rullani, "Knowledge creation and codification in Italian Industrial Districts", Economics of Science, Technology and Innovation: the Future of Districts, 2003, 1999, 139-172.
6. Belussi 2007, F.Belussi, Distretti e cluster verso nuove forme di agglomerazione territoriale di imprese, in R. Fiocca (ed), Rileggere l'impresa. Relazioni, risorse e reti. Un nuovo modello di management, Milano, ETAS, 176-212.
7. Butera 2001, F. Butera, Il campanile e la rete, Milano, Il Sole 24 Ore Libri.

8. Bagella 1998, M. Bagella, L. Becchetti, S. Sacchi, "The Positive Link Between Geographical Agglomeration and Export Intensity: the Engine of Italian Endogenous Growth", *Economic Notes*, 27(1): pp. 1-34
9. Barison 2018, Stefano Barison, L'importanza del mercato russo per l'export italiano, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Scienze Economiche ed Aziendali "M. Fanno", Corso di Laurea in Economia, Relatore prof. Roberto Antonietti.
10. Becattini 1998, G. Becattini, Distretti industriali e Made in Italy. Le basi socioculturali del nostro sviluppo economico, Torino, Bollati Boringhieri
11. Becattini 2007, G. Becattini, Il Calabrone Italia, Bologna, Il Mulino.
12. Cella 2004, R. Cella, La ceramica nella Repubblica di Venezia, Tesi di Laurea, Università Ca' Foscari di Venezia, Facoltà di Economia, a.y. 2003- 2004.
13. Chinn 2006, M.D. Chinn, "A Primer on Real Effective Exchange Rates: Determinants, Overvaluation, Trade Flows, and Competitive Devaluation", *Open Economies Review*, 17, 1, 2006, 115-143.
14. Confartigianato Vicenza 2002, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2002: "Evoluzione del sistema e prospettive di sviluppo".
15. Confartigianato Vicenza 2003, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2003: "Competitività dell'impresa, tra specializzazione e innovazione".
16. Confartigianato Vicenza 2004, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2004. "Valori e valore dell'artigiano vicentino".
17. Confartigianato Vicenza 2005, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2005: "La gestione della conoscenza nelle imprese artigiane".
18. Confartigianato Vicenza 2006, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2006: "Le trasformazioni in atto nell'economia vicentina".
19. Confartigianato Vicenza 2007, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2007: "Vicenza a confronto con Veneto e Italia".
20. Confartigianato Vicenza 2008, Confartigianato Vicenza, 1, Indagine dell'Osservatorio permanente sull'internazionalizzazione delle imprese artigiane vicentine "START Statistiche Artigianato".
21. Confartigianato Vicenza 2009, Confartigianato Vicenza 2009, Rapporto Artigianato Vicentino 2009: "Efficienza, mercato e competenze per costruire la ripresa", corredato da appendice con dati provinciali e da 13 Quaderni di dati mandamentali "START Statistiche Artigianato".
22. Confartigianato Vicenza 2010, Confartigianato Vicenza, Rapporto Artigianato Vicentino 2010: "Mercato e mercati. Perché aprirsi fa bene all'impresa", corredato da appendice con dati provinciali e da 13 Quaderni di dati mandamentali "START Statistiche Artigianato".
23. Drake 1868, W. R. Drake, Notes on Venetian Ceramics London: privately printed.
24. Ericani 1990a, G. Ericani, P. Marini (eds.), La ceramica nel Veneto: la terraferma dal XIII al XVIII secolo, Milano, Mondadori.

25. Ericani 1990b, G. Ericani, P. Marini, N. Stringa, La ceramica degli Antonibon, Milano, Electa.
26. Fontana 1997, G. L. Fontana, Distretti specializzati e grandi imprese nella formazione del sistema industriale vicentino, in G.L. Fontana (ed), Le vie dell'industrializzazione europea: sistemi a confronto, Bologna, Il Mulino, 495-537.
27. Freestone 1997, I. Freestone, D. Gaimster (eds.), Pottery in the making: world ceramic traditions, London, British Museum.
28. Favero 2006, G. Favero, Old and New Ceramics: Manufacturers, Products and Markets in the Venetian Republic in the 17th and 18th Centuries, University Ca' Foscari of Venice, Dept. of Economics Research Paper Series No. 05/06. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=942732> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.942732>
29. Guilolin 2013, D. Guidolin, Il distretto della ceramica di Nova (Bassano del Grappa), Tesi di Laurea, Università di Venezia, 2013, relatore Giancarlo Coro'
30. Lane 1954, A. Lane, Italian Porcelain, London, Faber & Faber.
31. Lorenzon 2018, Interview to Andrea Lorenzon conducted by David Celetti, Nove, August 3rd 2018.
32. Nicolai 2012, D. Nicolai, "L'export della piccola impresa", in Microimpresa, Mercati e competitività, 29/2012, 11-14.
33. Paniccia 1999, I. Paniccia, Italian Industrial Districts, PhD Thesis, University of Reading, 1999
34. Storper 1989, M. Storper, A.J. Scott, The geographical foundations and social regulation of flexible production complexes, in J. Wolch, M. Dear (eds), The Power of Geography. How Territory Shapes social Life, Boston, Unwin Hyman.
35. Stringa 1987, N. Stringa, La famiglia Manardi e la ceramica a Bannano nel '600 e nel '700, Bassano, Verci Editrice.
36. Tich 2018, A. Tich, Il "made in Nove e Bassano" si riapre ai mercati, https://www.bassanonet.it/news/6329il_made_in_nove_e_bassano_si_riapre_ai_mercati.html

УДК 332.1

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ РОССИИ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ ПРАКТИКИ**

**DIGITALIZATION OF THE RUSSIAN REGIONS ECONOMY:
THEORETICAL APPROACHES AND PRACTICAL CHALLENGES**

Власова Н.Ю., Титовец А.Ю.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет», г.

Екатеринбург, Российская Федерация, nat-vlasova@yandex.ru;

alisa.titovets@mail.ru

Vlasova N. Yu., Titovets A. Yu.

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russian Federation

Аннотация: В статье рассмотрены теоретические основы процесса цифровизации в экономике российских регионов. Обозначены основные направления развития процесса цифровизации экономики. Систематизированы основные вызовы и проблемы, связанные с развитием этого процесса.

Ключевые слова: информатизация, цифровизация, региональная экономика, цифровая экономика, информационные технологии

Abstract: The article deals with the theoretical foundations of the digitalization process in the economy of Russian regions. The main directions of development of the process of economy digitalization are outlined. The main challenges and problems associated with the development of this process are systematized.

Key words: Informatization, digitalization, regional economy, digital economy, information technologies.

Основным текущим государственным вектором развития в РФ является процесс цифровизации, формирование цифровой экономики. Активное государственное и научное обсуждение данного вектора развития формирует новый образ будущего развития страны, основанного на решении проблемы цифрового неравенства, формирование электронного правительства, предоставление государственных и муниципальных услуг в электронном виде, модернизации цифровой инфраструктуры, развитие цифровых навыков и т.д. Для реализации данного вектора сформирована новая национальная программа развития цифровой экономики от 2017 г. и переименовано профильное министерство (Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации создано 15 мая 2018 года указом Президента Российской Федерации № 215 на базе Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации).

Деятельность по «цифровизации», которая должна была найти решение многим российским проблемам и разработать «рецепты» будущего устойчивого развития, в государственных направлениях развития резко пришла на смену деятельности по «информатизации». При этом данные понятия чаще всего используются как взаимозаменяемые понятия, так как являются результатами научно-технического прогресса и имеют общие черты. Не четкое разграничение данных понятий и стирание границ между ними может привести к проблемам при формировании и реализации государственной политики.

Термин «цифровизация» появился в связи с интенсивным развитием информационно-коммуникационных технологий и Интернета. Формирование новых революций – цифровых, будет обусловлено «вездесущим» и мобильным интернетом, миниатюрными устройствами, развитием искусственного интеллекта [1]. При этом сам термин «цифровизация» еще не устоялся, как конкретная научная категория.

В 2004 г. Э. Столерман и А. Форс предложили следующее определение: «цифровизация – это изменения, связанные с применением цифровых технологий во всех аспектах человеческого общества» [2]. Вартанова Е.Л.,

Максеенко М.И., Смирнов С.С. включают в понятие цифровизации не только перевод информации в цифровую форму, а комплексное решение инфраструктурного, управленческого, поведенческого, культурного характера [3].

А. Марей считает, что цифровизация – это изменение парадигмы общения и взаимодействия друг с другом и социумом [4].

С. Бреннен и Д. Крайс под цифровизацией понимают принятие или расширение использования цифровых или компьютерных технологий организацией, отраслью, страной и т. д. [5].

Представленный обзор определений термина «цифровизация» показывает насколько неоднозначно он трактуется, в нем отсутствует единая основа и траектория. Единственное, что определяют специалисты, что процесс цифровизации основывается на цифровых технологиях. Поэтому можно отметить, что при изучении цифровизации и цифровой экономики, всегда все описание и характеристика данных понятий строится на цифровых технологиях.

Сравнительный анализ представленных определений терминов «информатизация» и «цифровизация», показывает их неразрывную взаимосвязь и единое направление в развитии цивилизаций, так в работе Переса определено шесть технологических революций с 1770 по 2000 гг., где шестая революция «цифровизация» сменяет пятую революцию «информатизация» [6]. Кроме этого, в стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы констатируется, что повсеместное применение передовых информационных технологий способствует развитию цифровой экономики и образованию её экосистемы. Все это доказывает важность рассмотрения понятий «информатизация» и «цифровизация», как взаимосвязанных, но не взаимозаменяемых процессов.

Определение цифровым технологиям в нормативных документах не дается, а в научной обсуждение используется определение информационных технологий. Все это свидетельствует о сохраняющемся непонимании сущности цифровых технологий и их кардинальном отличии от существующих информационных технологий. Поэтому сложно определять задачи цифрового развития, так как не понятно, на чем строится данный процесс. Это еще одно объяснение, почему сейчас необходимо исследовать и регулировать процесс информатизации, а не цифровизации.

Кроме этого, проведен анализ существующих технологий и произведена попытка из разделения на информационные и цифровые, с учетом подхода к пониманию информационных технологий и тенденций распространения технологий, что позволяет определить следующую классификацию:

1. Информационные технологии – основанные на применение базовых программных и компьютерных технологиях: большие данные, технологии беспроводной связи, системы распределенного реестра, производственные и информационные технологии, интернет и т.д.

2. Цифровые технологии – основанные на применение технологий других наук в общественных и экономических процессах: нейротехнологии, искусственный интеллект, квантовые технологии, компоненты робототехники и сенсорики, технологии виртуальной и дополненной реальностей и т.д.

Так же рассматривая стратегию цифровой экономики, можно определить, что цифровое будущее должно строиться на цифровых технологиях, как это было определено у многих российских и зарубежных исследователей, но при этом в самом документе говорится только о «сквозных» технологиях. Это показывает, что в принципе не понятно, на чем строить цифровую экономику и проводить цифровизацию, так как на текущий момент не существует цифровых технологий, а имеющийся базис технологий является основой процесса информатизация.

Кроме этого, рассматривая теории длинных волн и технологических укладов, важно отметить, что следующий этап строится на цифровых технологиях, решениях и потребностях, но при этом необходимо уточнить, что смена укладов и базовых технологий экономических революций предполагалась в районе 2030 г., но текущий уровень развития смещает данную контрольную точку, в связи с неготовностью экономики и общества к данным трансформациям. Поэтому, на текущий момент РФ необходимо, максимально сконцентрировать на процессе информатизации, а точнее на насыщении системы отечественными информационными продуктами и создании информационной платформы для разработки умных технологий.

Также важно определить, что на текущий момент отсутствуют показатели оценки развития цифровой экономики и определения уровня цифровизации, точнее показатели, которые используются для данного анализа ранее использовались при оценке уровня информатизации и развития информационного общества или являются чисто информационными показателями, так как строятся исследования информационных технологий.

Например, в национальной программе по развитию цифровой экономики выделяются следующие показатели:

1. Доля домохозяйств, имеющих широкополосный доступ к сети интернет. По программе определено, что на текущий момент это 72,6 %, и только к 2024 г. мы сможем достичь показателя 97%. Соответственно, если отталкиваться от принципов цифровизации, то развитие данного процесса возможно, только при полном подключение всех участников на единой платформе (пространстве). Поэтому сейчас реализует одна из ключевых задач информатизации: обеспечение доступа к Интернету (информационной технологии) всех хозяйствующих субъектов, при этом в части регионов страны данный процент варьируется в районе 50%

2. Доля социально значимых объектов инфраструктуры, имеющих возможность подключения к широкополосному доступу к сети интернет. По программе заложено, что к 2024 данный показатель достигнет отметки 100%, при существующих сегодня 30,3%. Социальные объекты в первую очередь отражают включенность и использование гражданами базовых потребностей с

помощью технологий. Поэтому, соответственно пока цифра не достигнет отметки 100%, нет возможности строить цифровую инфраструктуру. Кроме этого это всероссийский показатель, на региональном уровне, достижение данного показателя ставится еще более сложной задачей, особенно с точки зрения финансовых затрат, как на реализацию данного мероприятия, так и со стороны самих граждан.

3. Наличие опорных центров обработки данных в федеральных округах. На текущий момент планируется функционирование 3 центров в 2019 г., и к 2024 г. их будет 8 центров в 9 федеральных округах РФ. Центры, которые являются начальным этапом для формирования единой информационной инфраструктуры.

В России информатизация экономических процессов находится в активной фазе, так как на основании активного внедрения информационных технологий, формируются инструменты активизации разработки отечественных информационных технологий и разрабатываются государственные программы по развитию и внедрению отдельных элементов «умных» технологий.

Но при этом, необходимо учитывать, что существует серьезная проблема внедрения информационных технологий, так как данный процесс сегодня построен в основном на зарубежных технологиях и разработках, что снижает не просто эффективность мероприятий, но и исключает процесс цифровизации в будущем. Этот факт также отмечает академик РАН В.Б. Бетелин, так как невозможно реализовать процесс цифровизации и сформировать цифровую экономику «на основе заемных технологий и комплектующих» [7]. Данная зависимость от технологий не позволяет сформировать необходимую информационную платформу для развития и разработки «умных» технологий.

Кроме этого, с учетом специфики России, на территории страны происходит «лоскутная» информатизация: многие территории не готовы к процессам информатизации; во многих регионах процессы информатизации не привязаны к целям социально-экономического развития; информационные системы, обеспечивают решение узкоспециализированных задач; отсутствует возможность эффективного использования всех электронных услуг.

Поэтому рассматривая процесс информатизации необходимо понимать сложность данного процесса, и обосновано выделять региональные аспекты. Рассматривая региональный уровень информатизации необходимо сконцентрироваться на вопросах распространения и доступности ИТ, точки ИТ-роста и равномерности процесса информатизации по территории.

Особого внимания заслуживает проблема доступности ИТ в разных регионах. Доступность ИТ определяет: может ли население или хозяйствующий субъект получить электронную услугу, за какой период и за какую сумму. То есть отвечает на вопрос: будет ли он пользоваться новой технологией или выберет традиционный вариант.

То есть, рассматривая процесс информатизации необходимо исследовать доступность ИТ в регионе, основными показателями исследования являются:

1. Скорость - средняя скорость мобильного и фиксированного интернета, единица измерения Мбит/с.

2. Стоимость услуги - средняя стоимость 1 Гб интернета мобильного оператора, через мобильный телефон и модем (роутер), единица измерения руб./ Гб

У исследователей нет единого понимания как меняется регион под воздействием процессов информатизации, как меняется взаимосвязь между территориями, какой результат может получить территория от реализации тех или иных мероприятий.

Часть исследователей доказывают, что процессы информатизации сильнее активизируют слабые территории, снижается разрыв между территориями, усиливаются экономические, социальные и культурные связи и т.д. Другие исследователи отмечают, что ИТ концентрируются в крупнейших городах, а точнее в экономически перспективных агломерациях, и быстрое устаревание, и смена технологий, не позволяет им распространяться на периферию. Это усиливает зависимость и разрывы в развитие городов и регионов. Поэтому прежде, чем внедрять принципы цифровизации, необходимо детально раскрыть и решить все проблемы процесса информатизации.

Таким образом, до настоящего времени остается мало изученным реакция экономических процессов на процессы информатизации, что является важным и необходимым действием для завершения развития процесса информатизации, формирования информационной структуры и перехода к процессу цифровизации. С теоретической точки зрения, еще не проработан единый подход к пониманию и не произведена оценка реакции экономических систем на информатизацию на уровне региона, не оценены эффект и вклад в ВРП. Современные темпы изменения экономической и иной ситуации настолько велики, что необходимо перестраивать подходы к анализу и управлению на всех уровнях параллельно.

Список литературы

1. Лаптев В.В. Методология визуализации. —М. : Мир, 2011.—304 с.
2. Stolterman E., Fors A.C., “Information Technology and the Good Life” in Information Systems Research: Relevant Theory and Informed Practice, B.Kaplan et al.(eds), London, UK: Kluwer Academic Publishers,2004.
3. Вартанова Е. Л. Индустрия российских медиа: цифровое будущее: академическая монография / Е. Л. Вартанова, А. В. Вырковский, М. И. Максеенко, С. С. Смирнов. — М. : МедиаМир, 2017. — 160 с.
4. Марей А. Цифровизация как изменение парадигмы [Электронный ресурс].—Режим доступа:<https://www.bcg.com/ru-ru/about/bcg-review/digitalization.aspx> (дата обращения: 16.02.2019).
5. Brennenand S., Kreiss D., (2014). Digitalization and Digitization [Online]. Available: <http://culturedigitally.org/2014/09/digitalization-and-digitization> (accessed 15.01.2019).

6. Perez (2010): Technological Revolutions and Techno-Economic Paradigms, in: Cambridge Journal of Economics 34, 1, p. 185–202

7. Бетелин В.Б. Цифровая экономика: навязанные приоритеты и реальные вызовы// Государственный аудит.2017. № 3/4. С. 23.

УДК 378.1

**КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ
КОНСОЛИДАЦИИ**

**THE QUALITY OF EDUCATION AS THE BASIS FOR INNOVATIVE
DEVELOPMENT IN THE CONDITIONS OF THE INTERSTATE
CONSOLIDATION**

Клименко П.Ф., Клименко И.С.

*Институт сервиса, туризма и дизайна (филиал) Северокавказского
федерального университета, г. Пятигорск, Россия;*

Klimenko P.F., Klimenko I.S.

*Institute of Service, Tourism and Design (branch) of the North Caucasus Federal
University, Pyatigorsk, Russia*

Аннотация: Статья посвящена оценке влияния высшего профессионального образования на процессы инновационного развития в условиях современных вызовов. Оценивается региональный и межгосударственный аспект проблемы, акцентируется внимание на необходимости вертикальной интеграции власти, бизнеса и науки в системе трансграничного взаимодействия и инновационного развития государств содружества.

Ключевые слова: инновационное развитие, миссия высшего образования, теория управления качеством образования, вертикальная интеграция, консолидация, региональный аспект.

Annotation: The article is devoted to assessing the impact of higher education on the processes of innovative development in modern challenges. The regional and interstate aspect of the problem is evaluated, the focus is on the need for vertical integration of power, business and science in the system of cross-border interaction and innovative development of the Commonwealth.

Key words: innovative development, mission of higher education, quality management theory, vertical integration, consolidation, regional aspect.

Современная система высшего профессионального образования - это один из индикаторов уровня развития не только отдельного государства, но и межгосударственного взаимодействия, отражающий состояние экономики, техники и технологий в системе межгосударственной консолидации.

Необходимость перехода к новой модели образования, обеспечивающей инновационное развитие и духовное возрождение общества, требует обновления философии и методологии образования, совершенствования контентной части, применения эффективных методов управления образованием, ориентированных на работу в условиях трансграничного взаимодействия стран Таможенного союза.

Целью настоящей статьи является познакомить научно-педагогическую общественность с некоторыми идеями формирования образовательной практики, встроенной в общую концепцию развития научно-образовательного и информационного пространства государств участников Таможенного союза.

Многоплановый характер системы подготовки кадров, существующий в странах СНГ требует тщательного анализа с точки зрения решения системных задач, обеспечивающих инновационное развитие общества и духовное возрождение нации. Позиционируя ВУЗ, как систему формирования интеллектуальной элиты общества, авторам кажется целесообразным включать в систему управления подготовкой кадров контуры, обеспечивающие систему обратной связи «выпускник ВУЗа – ВУЗ», «ВУЗ – работодатель», а так же контроль качества высшего профессионального образования и оценку условий, в которых проходит процесс подготовки специалистов.

Концепции управления качеством формировались под влиянием необходимости повышения качества товаров/услуг при обязательном повышении производительности труда. Очевидная противоречивость этих факторов требует признать, что проекция концепций управления качеством бизнес-процессов на систему образования не конструктивна, следовательно, не приходится ждать адекватных результатов. Специфика системы образования, как источника трудовых ресурсов, реализованная в профессиональной модели организации требует особого внимания к критериям оценки качества процесса образования и результата [1].

Авторами разработана и апробирована система интегральных критериев оценки качества процесса подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием и конечного результата. Дифференцированный подход к определению термина «потребитель образовательной услуги» позволяет выделить два класса объектов: собственно обучаемый и работодатель. Для обучаемого целесообразно, по мнению авторов, использовать следующие критерии оценки качества:

- готовность к обучению и самообразованию с целью приобретения/совершенствования профессиональных компетенций;
- способность осуществлять профессиональную деятельность.

Работодатель, как потребитель конечного результата образовательного процесса оценивает способность выпускника осуществлять профессиональную

деятельность в соответствии с запросами работодателя и способность к обучению и самообразованию с целью повышения профессионального уровня.

Общество, как потребитель услуг, оказываемых системой образования, качество конечного продукта определяет затратами на подготовку специалиста; соответствием уровня подготовки специалиста нормам и стандартам, действующим в обществе.

Очевидно, что введение таких интегральных критериев оценки качества требует детальной проработки каждого критерия.

Межгосударственная консолидация и сотрудничество ВУЗов стран таможенного союза предполагает, что подготовка профессионалов для решения задач разных видов в регионах сохранит индивидуальность в подходах к организации образовательного пространства, но результаты будут оцениваться по единой системе критериев [2].

Северный Кавказ, в том числе Кавказские Минеральные воды (КМВ) – регион, привлекательность которого очевидна как для международного, так и отечественного потребителя рекреационно-туристических продуктов и услуг. Именно поэтому интеграция усилий власти, бизнеса и системы образования, предпринимаемых для инновационного развитие этого уникального региона непосредственно влияет на систему подготовки кадров для сферы туристического бизнеса. Тот факт, что экстенсивное развитие КМВ требует новых ресурсов, и перестройки механизмов их использования, подтверждает целесообразность включения в организационно-экономический механизм развития КМВ методы анализа состава и структуры образовательного пространства, что позволит получить достоверную картину, отражающую перспективы инновационного развития. В контексте этих новых региональных вызовов интересным представляется синергетический эффект от взаимодействия двух составляющих: государство и высшая школа.

Современная миссия высшего профессионального образования состоит в обеспечении инновационного развития региона и государства, удовлетворении интересов открытого гражданского общества, государства и личности. Научно-педагогическая общественность Кавказских Минеральных Вод (КМВ) ориентированная на собственные и зарубежные традиции подготовки кадров высокой квалификации, является неотъемлемой составной частью системы образования страны. Эффективность системы подготовки кадров высокой квалификации становится актуальным, системообразующим фактором, обеспечивающим проблемно-ориентированное управление и устойчивое развитие региона в секторе инновационного развития государств. Многолетний опыт работы авторов в системе высшего профессионального образования и проводимые исследования позволяют утверждать, что необходима специальная теории управления качеством образования, в основе которой лежит система понятий и категорий, отражающих специфику предметной области и региональные особенности инновационной политики [3].

Дуальный характер системы подготовки кадров с высшим профессиональным образованием очевиден: насыщение рынка труда

квалифицированными специалистами сопровождается процессом самоопределения выпускника ВУЗа на рынке труда, позволяющем оценивать его соответствия требованиям общества в части профессиональных компетенций, моральной, нравственной культуры, духовного и нравственного здоровья. Современная высшая школа в условиях межгосударственной консолидации научной деятельности и информационно-образовательного пространства стран, входящих в Таможенный союз должна справляться с внутренними и внешними вызовами, к которым относим динамический характер требований работодателя и изменение приоритетов /предпочтений в системе рыночных отношений. Эти вызовы должны мотивировать ВУЗы к постоянному мониторингу требований стейк-холдеров процесса, корректировке образовательных программ с целью формирования компетенций, актуальных на данный момент времени.

Такая постановка задачи требует формирования инновационных подходов к управлению системой высшего профессионального образования на всех этапах жизненного цикла образовательного процесса. Повышенные требования к системе выбора профессии и формирования профессиональных компетенций, ориентация на личность обучаемого, развитие навыков проектной деятельности и синергетических механизмов совершенствования профессиональных и социокоммуникативных компетенций у обучаемых - вот далеко не полный перечень индикаторов, по которым целесообразно, по мнению авторов, оценивать результаты работы высшей школы в современных условиях.

Очевидно, что для решения перечисленных задач требуется не только специальная технология оценки требований рынка и адаптации вузовских программ к этим требованиям, но и сообщество профессионалов, которое может оценить степень значимости проблемы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов той или иной предметной области.

Управление образованием с целью повышения его роли в инновационном развитии межгосударственной консолидации целесообразно осуществлять по классической схеме с учетом уровня иерархии: от региональных систем управления инновационным развитием до межгосударственного уровня.

Иерархия управления – это модель управления, которая позволяет оценить эффективность управления: так, на уровне региона важную роль в инновационном развитии играют природные ресурсы, как материальная компонента, имеющая фиксированный характер, на национальном уровне эта компонента требует анализа эффективности использования и планов по использованию, восстановлению и т.п.

Вторым примером иерархической модели может служить идея формирования опережающих потребностей в кадровой политике региона. Формирование кадровой политики и управление процессом обеспечения регионального рынка труда конкурентоспособными специалистами требует интеграции действий органов власти, бизнеса, образовательных учреждений разного уровня. Такой подход позволяет

- выявить наиболее востребованные профили и направления подготовки специалистов;
- оценить конкурентоспособность образовательных учреждений региона и эффективность оказания услуг;
- формировать комплексные планы подготовки кадров для инновационного развития региона и удовлетворения потребностей рынка труда;
- оценить эффективность методов государственного регулирования инновационного развития уникального региона.

Для перехода от модели, составленной на уровне концепции к модели, пригодной для решения конкретных задач необходимо разрабатывать систему преобразования неформализованных факторов, влияющих на показатели качества услуг высшего профессионального образования в систему количественных, измеряемых показателей. Эффективны различные способы преобразования модели: от прямого измерения количественных показателей до эвристических методов (анкетирование, опросы и т.п.).

Комплексное использование палитры инструментальных средств предоставит лицам, принимающим решение в системе оценки эффективности высшего профессионального образования создать уникальные алгоритмы и сформировать механизмы, обеспечивающие реализацию стратегий инновационного развития региона с учетом внешних вызовов [4]. В современных условиях высшее образование определяет конкурентоспособность ВУЗа на образовательном пространстве страны и конкурентоспособность государства в системе геополитических ценностей. Проводимые в стране реформы образования проходят в условиях все возрастающих требований к качеству специалистов с высшим профессиональным образованием со стороны работодателей и общества в целом.

Практика показывает, что, что в настоящее время подготовка специалистов для региона требует подходов, которые обеспечат определенные преимущества по сравнению с традиционными методами подготовки кадров.

Более того, такие компетенции работника, как мобильность, цифровая грамотность, информационная компетентность – определяют потенциал трудового ресурса и его соответствие требованиям рынка труда. Адаптация системы высшего профессионального образования к потребностям рынка, мониторинг требований реальной экономики позволит снизить остроту ряда социальных проблем, в том числе проблему трудоустройства молодежи, которая в современном российском обществе является одной из наименее защищенных социальных групп населения.

Резюме. Вклад ВУЗов в развитие инновационной системы содружества государств требует запустить механизмы горизонтальной и вертикальной интеграции власти, бизнес-структур и системы подготовки кадров на межгосударственном уровне. Роль властных структур в контексте вертикальной интеграции можно определить как систему общественного контроля качества образования, обеспечивающего потребности общества в

высококвалифицированных специалистах. Сегодня, когда позиционирование образования, как услуги определяет оценку качества образования в формате двух категорий «спрос-предложение» возникают определенные противоречия в интерпретации роли и места ВУЗов в обществе. Обновленная миссия ВУЗов как системообразующий фактор инновационного развития призвана определить комплекс первоочередных задач, стоящих перед системой высшего профессионального образования, в том числе формирование системы трансграничного взаимодействия ВУЗов.

Список литературы

1. Вишневецкая Н.Г., Клименко И.С. Роль информационных технологий в активизации инновационной политики ВУЗа// Научный журнал «Современная наука и инновации», «Северокавказский федеральный университет», №4 (20), 2017г. – С.289-295.

2. Клименко П.Ф., Клименко И.С. Разработка и внедрение инновационных методов формирования профессиональных компетенций/ Материалы IV межд конф. «Актуальные вопросы вертикальной интеграции».- Воронеж, 2015. С. 115-120

3. Клименко И.С. Инновационный потенциал решения отдельных проблем высшего профессионального образования/ Актуальные проблемы современного образования: опыт и инновации: материалы всероссийской научно-практической конференции с дистанционным и международным участием.– Ульяновск: ЗЕБРА, 2018.-С.305-311

4. Вартумян А.А., Клименко И.С. Формальные модели, как инструментальное средство в политологических исследованиях// Научный журнал «Современная наука и инновации», «Северокавказский федеральный университет», №2 (26), 2019г. – С.41-55

УДК 330

DIGITALIZATION OF HIGHER EDUCATION: THE EVOLUTION OF ACTORS' CHARACTERISTICS

Molokova E.L.

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Elmo.sm@mail.ru

Abstract: The article is devoted to the assessment of tendencies and problems of digitalization of higher education in the conditions of intensive transformation of institutional environment.

Key words: digitalization, higher education, transformation of institutional environment, digital economy.

Modern educational environment of Russian higher education is characterized by instability and high dynamics of formation of new institutional conditions. One of the newest and objective tendencies of development of both national economy and higher education is digitalization.

Digital evolution occurs under the conditions of transformation of the institutional environment of higher education, which together with this process determines the following trends.

Firstly, higher education retrospectively acquires spatial characteristics and measurement. In recent years, there has been an increase in attention to the education system as a spatial category in science. At the same time, digitalization expands the boundaries of higher education in the absence of geographical measurement and territorial limitations.

Second, the transformation of education into a continuous process [1, p. 9] has led to the demand for technologies that exclude the category of time from the required resources of the process.

Third, the placement of educational programs on digital platforms [4] determines the absence of requirements for the proximity of non-information resources (buildings, classrooms, infrastructure, etc.) in the educational process.

Fourth, under the conditions of changes in educational technologies, digital infrastructure (networks, mobile communications, etc.) is becoming more and more popular.

Fifth, intensive changes in the educational environment in the context of the transition to a competency-based approach and the evolution towards digitalization of space requires special, new skills and motivation from higher education actors.

Sixth, commercialization and globalization of higher education exacerbates competition, necessitating a creative approach, the development of digital competencies, and the adoption of new technologies capable of increasing the competitiveness of educational institutions.

Under the current conditions, higher education institutions, as the main driver of digitalization, are required to intensify their work and pay special attention to the latest characteristics of modern higher education institutions capable of ensuring the transition of higher education to the digital stage of development.

In the conditions of digitalization, the modern higher education system has a new customer with different characteristics.

In particular, today the interests of modern entrants and students (households) are transforming from the desire to get a set of knowledge to the desire to learn the technologies of knowledge acquisition. Students' motives are also undergoing a transformation from a good assessment to a practice-oriented knowledge. In the new student, there is an increase in readiness for change [3, p. 33]. Thus, the higher education system is under conditions of changing the quality of human capital caused by the impact of the digitalization process.

This requires the development of new pedagogical technologies, including a new format of training and, most difficult of all, education.

In turn, the digital environment, which has intensified competition between higher education institutions, requires universities to develop innovative products, technologies and scientific approaches. In the context of this, there is a need to update (if not change) the competencies of teachers. At present, it is obvious that there is a lack of skills to create an interactive electronic environment, taking into account the latest requirements of digitalization.

Another, unfortunately, negative trend in the conditions of digitalization is the change in the quality of interaction between faculty and higher education institutions. In the conditions of intensifying competition between teachers, the duration of the contract is decreasing, and the criteria for the effectiveness of teachers' work are becoming more complicated. In such conditions, there is a global trend of transition from an employment contract to a civil law contract, which reduces the guarantee of employment for teachers [2, p. 23]. This trend, on the one hand, makes us develop digital competences, including those in demand in the modern educational process, on the other hand, reduces the motivation and provokes apathy of teachers. Human capital is being washed out into a sphere with less intensive changes and stable preferences.

The employer, in the conditions of the digital economy, also changes the requirements for employees (future graduates). Systematic and continuous changes require the employee to be able to find information, make decisions quickly and have digital competences. New forms of employment and non-standard work functions are being formed. This requires changes in the competence approach and the creation of a request from employers for new skills and abilities.

The interaction between the state and higher education organizations requires an early review. In the conditions of accelerating the information support of the educational process and the demand for the latest technologies and competencies, it is necessary to provide advanced funding to ensure the competitiveness of universities in a globalizing space. The state is still the main customer of higher education, forming an order for the production of personnel. The digital economy requires the state to change stereotypes in the sphere of evaluating the effectiveness of educational organizations, to update (if not completely change) the rules from the Federal Law «On Education in the Russian Federation» to the Federal State Educational Standards. Thus, the current economic upsurge, including that of higher education, in the sphere of digitalization has been squeezed into the grip of the old model of state management of economic systems.

Thus, digitalization updated the formation of a new model of interaction of the main actors of higher education.

Improvement of strategic planning in higher education seems promising. The assessment of strategic documents demonstrates the lack of a strategic vision for the development of higher education in the context of digitalization. It should be noted that the processes under study are reflected in a number of documents, in particular, the Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2018 No. 204 «On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024», among others, sets the goal of developing the

digital educational environment. Instruction from the President of the Russian Federation dated January 15, 2017 N Pr-75 notes the need to accelerate the introduction of digital technologies in the economy and social sphere. The federal project «Digital Educational Environment» included in the National Education Project is proposed to create access to educational resources at different levels of education for all who wish to do so on the basis of the «single window» principle. The federal project «Young professionals (Improving the competitiveness of professional education)» provides for the achievement by 2024 by each educational organization of higher education, providing training for basic sectors of the economy and the social sphere, the achievement of 7 indicators, which ensure that students receive professional competencies that meet the current requirements of the labor market, including in the field of digital economy. The federal project «Personnel for the Digital Economy» and the Digital Economy also contain directions for the development of education in the context of digitalization, for example, ensuring the modernization of educational content in accordance with the requirements of the digital economy.

In turn, the Federal Project «Digital Technologies» is aimed at creating digital platforms, including educational ones.

The above strategic documents, in general, demonstrate the understanding of the developers of the meaning and necessity of digitalization of the educational space. However, there are a number of problems in the system of strategic planning that make it difficult to implement the «digital revolution» in the higher education system.

Firstly, there is no (not formed) efficient, clear and institutionalized mechanism for coordination of the main actors of the higher education system in the field of digitalization of the educational space.

Secondly, it is necessary to point out the low quality and lack of coordination of all strategic documents in the field of research.

Third, the vast majority of documents and events in them are devoted to school and secondary special education. The level of higher education, which can become a pioneer in the formation of educational space, is undeservedly neglected by developers.

The most significant problem is the lack of a strategic vision of the state for the digital future of higher education. This problem is implemented in the absence of specific goals, objectives and directions for the development of not only digitalization, but also higher education in general. Strategic documents do not consider higher education as a management system, but rather as an infrastructure for the development of other spheres of the national economy.

Thus, the key problems of the processes of digitalization of higher education are: insufficient public funding, lack of strategic vision of the vector of development, insufficient qualification of faculty, moral aging of the university infrastructure.

List of literature

1. Gavrina E.G. Digital Nomad as a new model of human behavior in economics / Lomonosov Readings-2019. Section of Economic Sciences. Economic Relations in the Context of Digital Transformation: Collection of Theses of Speeches. - M.: Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 2019. - – 1046 p.

2. Ishina I.V. The role of the digital environment in the development of socio-economic relations in higher education / Digital Nomadic as a new model of human behavior in economics / Lomonosov Readings-2019. Section of Economic Sciences. Economic Relations in the Context of Digital Transformation: Collection of Theses of Speeches. - M.: Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 2019. - – 1046 p.

Martynov O.S. Digitalization Challenges for Economic Science / Digital Nomad as a new model of human behavior in economics / Lomonosov Readings-2019. Economic Sciences Section. Economic Relations in the Context of Digital Transformation: Collection of Theses of Speeches. - M.: Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 2019. - – 1046 p.

4. E.V. Ustyuzhanina, S.S. Evsyukov. G. Digitalization of Educational Environment: Opportunities and Threats // Plekhanov REA Bulletin. 2018. №1 (97). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-obrazovatelnoy-sredy-vozmozhnosti-i-ugrozy>

УДК 338.24(470.54)

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕРРИТОРИИ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА**

**ISSLEDOWANIYE MARKETINGOVYKH KHARAKTERISTIK
TERRITORII KAK OSNOVA USTOYCHIVOGO RAZVITIYA REGIONA**

Куликова Е.С.; Дурандина О.А.

*Уральский государственный экономический университет, Россия,
e.s.kulikova@mail.ru; durandinao@mail.ru*

Kulikova E.S.; Durandina O.A.

Ural state economic university (Russia)

Аннотация: Статья посвящена исследованию маркетинговых характеристик территории в современных условиях. Маркетинговый потенциал определяет конкурентоспособность и эффективность функционирования в современных условиях любой локальной территории, что обеспечивается имиджем территории и ее популярностью среди субъектов: резидентов и нерезидентов территории.

Ключевые слова: конкурентоспособность территории, маркетинговый потенциал территории, социально-экономическая характеристика, маркетинговые цели, экономические показатели, маркетинговое развитие региона.

Abstract: The article is devoted to assessing the sustainability of the marketing potential of the territory in modern conditions. Marketing potential determines the competitiveness and efficiency of functioning in modern conditions any local area, provided that the image of the territory and its popularity among the subjects: residents and non-residents of the territory.

Key words: the competitiveness of the territory, the marketing potential of the territory, socio-economic characteristics, marketing objectives, economic indicators, marketing development of the region.

Современное состояние и развитие любой территории является ключевым направлением качества жизни субъектов территории. Данная проблема исследуется с различных позиций, и многие исследователи приходят к выводу, что в основе качества жизни лежит маркетинговый потенциал территории. Итогом функционирования маркетингового потенциала выступает, по мнению авторов, рост уровня благосостояния, который определяет качество жизни проживающего на территории населения.

Актуальность темы исследования обусловлена следующими обстоятельствами:

– во-первых, развитие региона является многомерным и многоаспектный процессом, рассматриваемым с точки зрения совокупности различных маркетинговых целей, основой которого является улучшение качества жизни населения;

– во-вторых, маркетинговое развитие региона порождает необходимость решения ключевых вопросов: увеличения доходов, улучшение качества образования, питания и здравоохранения, снижение уровня нищеты, оздоровление окружающей среды, равенство возможностей, расширение личной свободы, обогащение культурной жизни и т.п.;

– в-третьих, в основе развития маркетингового потенциала региона лежат определенные условия, сформировавшиеся на данной территории, представленные, прежде всего в виде ресурсов. А стратегическое планирование социально-экономического развития строится исходя из реальных возможностей этих ресурсов, которые являются основой развития экономики в будущем, т.е. исходя из ресурсного потенциала. Именно в этом аспекте, мы предполагаем, можно говорить и о степени эффективности использования маркетингового потенциала территории.

Под устойчивостью маркетингового потенциала территории понимается способность поддерживать уровень благосостояния без резких спадов. Соответственно социально-экономическая система территории, которая обеспечивает стабильно высокий уровень благосостояния граждан, может считаться источником высокого потенциала развития территории. При этом должны учитываться перспективы, будущее состояние системы, т.е. возникает необходимость оценить не только достигнутый уровень, а способность системы к изменениям. Эта задача может быть решена только при комплексном анализе

факторов экономического роста каждой конкретной территории. Рассмотрим в качестве объекта исследования Свердловскую область.

К конкурентным преимуществам Свердловской области, оказывающим благоприятное влияние на развитие региона относятся [1]:

1. высокий уровень развития обрабатывающей промышленности и высокий уровень концентрации организаций оборонно-промышленного комплекса;

2. административный центр Свердловской области является макрорегиональным центром предоставления бизнес-услуг;

3. высокий уровень показателей, характеризующий макроэкономические условия осуществления инвестиционной деятельности;

4. высокий уровень развития научно-образовательного сектора;

5. высокий уровень инновационного развития отдельных отраслей экономики [2];

6. наличие доступных природных, производственных, энергетических, человеческих ресурсов;

7. выгодное для транспортно-логистического комплекса географическое положение Свердловской области [3].

Итак, на основании анализа слабых и сильных сторон социально-экономического развития Свердловской области можно сделать следующие выводы: сильные стороны региона заключаются в выгодном географическом положении, развитом промышленном комплексе, благоприятном инвестиционном климате; слабые стороны региона проявляются в наличии экологических проблем в области, низкой мобильности трудовых ресурсов, низкие показатели результативности инновационной деятельности в регионе, недостаточные темпы развития транспортной инфраструктуры, высокой степени износа основных фондов региона.

Основные показатели социально-экономического положения Свердловской области в 2015–2018 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 1 - Анализ сильных и слабых сторон социально-экономического развития Свердловской области [1]

Сильные стороны	Слабые стороны
<ul style="list-style-type: none"> • Выгодное географическое положение на границе Европы и Азии на пересечении трансконтинентальных потоков обеспечивает близость емких рынков сбыта • Свердловская область один из крупнейших в России и в мире регионов по величине разведанных и прогнозируемых запасов минерально-сырьевых ресурсов • Развитый промышленный комплекс (большой объем отгруженных товаров собственного производства, производит 40 % промышленной продукции в стране) • Наличие активной работы по развитию минерально-сырьевой базы 	<ul style="list-style-type: none"> • Свердловская область находится в зоне континентального климата с холодной и продолжительной зимой • Наличие экологических проблем (большой объем загрязнения воздуха, водоемов) • Низкие показатели результативности инновационной деятельности в регионе • Недостаточные темпы развития транспортной инфраструктуры • Существенная удаленность от стратегических портов, границ стран-потенциальных импортеров продукции, сравнительно высокая стоимость вывоза

<ul style="list-style-type: none"> • Ценность недр Свердловской области составляет 9,5 % от общей стоимости недр РФ в целом и около 30 % от общей стоимости недр Уральского региона • Свердловская область демонстрирует стабильный долговременный рост практически всех отраслей экономики, при этом темпы роста являются более высокими, чем в целом по Российской Федерации • Экономически развитый регион (6-е место по ВРП в стране, 10-е место по инвестициям среди других субъектов РФ) • Расположение региона в центре крупного рынка спроса на продукцию промышленного и инвестиционного назначения (Урало-Западносибирского региона) • Благоприятный инвестиционный климат региона • Доступ к основным ж/д, автомобильным, авиационным и логистическим узлам • Направленность государственного и научно-образовательного сектора (УрФУ, УрО РАН) на оказание поддержки инновационному бизнесу в реализации различных проектов 	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточно развит промышленный аутсорсинг крупных компаний региона • Низкая мобильность трудовых ресурсов (внутренняя миграция) • Недостаточно развита система венчурного инвестирования и бизнес-ангелов с целью привлечения долгосрочных инвестиций в высокорисковые проекты (разработки) • Отсутствие стратегии инновационного развития Свердловской области с четко прописанными дорожными картами, этапами достижения поставленных целей и прописанной ответственностью • Средние позиции Свердловской области в конкуренции за федеральные ресурсы институтов развития • Высокая степень износа основных фондов области
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> • Объективные факторы развития науки, техники и технологий • Социально-экономическая политика федерального центра • Межрегиональная кооперация и конкуренция • Модернизация транспортной системы России 	<ul style="list-style-type: none"> • Зависимость от колебаний конъюнктуры мировых рынков металлов • Демографическое и индустриальное давление Китая • Неоиндустриальное давление Запада • Возможные отрицательные последствия решений, принимаемых на федеральном уровне

Таблица 2 - Основные показатели социально-экономического положения Свердловской области в 2015–2018гг (составлено авторами по [9])

Наименование показателя	Значение показателя				Абсолютное отклонение	Темп прироста, %
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.		
Численность населения, тыс. чел.	4307,6	4315,8	4320,7	4327,5	19,9	0,5
в том числе: в возрасте моложе трудоспособного	690,6	708,7	731,5	756,5	65,9	9,5
мужчины	353,7	362,9	374,4	387,3	33,6	9,5
женщины	336,9	345,7	357,1	369,3	32,4	9,6

в трудоспособном возрасте	2618,9	2592,9	2559,0	2518,9	-100	-3,8
мужчины	1346,7	1336,2	1321,4	1303,1	-43,6	-3,2
женщины	1272,2	1256,7	1237,5	1256,9	-15,3	-1,2
старше трудоспособного возраста	987,7	1005,9	1025,4	1045,3	57,6	5,8
мужчины	267,1	274,6	282,9	290,7	23,6	8,8
женщины	720,6	731,4	742,5	754,6	34	4,7
Естественный прирост, тыс. чел.	-2,77	1,49	2,96	2,21	4,98	-179,8
Миграционный прирост, убыль (-) населения, тыс. чел.	13,14	6,74	1,88	4,58	-8,56	-65,1
Среднегодовая численность работников организаций, тыс. чел.	1575,4	1586,5	1581,2	1544,3	-31,1	-2,0
Среднегодовая общая численность безработных, тыс. человек	167,2	133,4	136,3	138,4	-28,8	-17,2
Численность безработных, зарегистрированных в органах гос. службы занятости, тыс. чел.	38,4	30,7	27,2	26,6	-11,8	-30,7
Численность пенсионеров, тыс. чел.	1269,9	1282,9	1295,7	1308,1	38,2	3,0
Среднедушевые денежные доходы населения в месяц, руб.	24892,6	27851,7	31013,0	32035,9	7143,3	28,7
Среднедушевые денежные расходы населения в месяц, руб.	24496,1	27637,4	30765,7	32183,4	7687,3	31,4
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб.	22179,2	25138,8	27608,2	29492,2	7313	33,0
Средний размер назначенных пенсий, руб.	8513,9	9343,6	10353,8	11255,9	2742	32,2
Валовой региональный продукт, млрд. рублей,	1046,6	1291,1	1484,9	1586,3	539,7	51,6
на душу населения, тыс. руб.	243,3	300,1	344,4	367,3	124	51,0
Ввод в действие общей площади жилых домов, тыс. кв.м	1822,2	1869,4	1755,3	2424,0	601,8	33,0
Оборот розничной торговли, млрд. руб.	40,0	43,8	48,8	53,2	13,2	33,0
Платные услуги населению, млрд. руб.	199,7	215,0	253,3	281,1	81,4	40,8
Доходы консолидированного бюджета, млрд. руб.	184,1	203,6	206,3	210,7	26,6	14,4

Расходы консолидированного бюджета, млрд. руб.	189,9	204,4	232,6	232,6	42,7	22,5
Инвестиции в основной капитал, млрд. руб.	333,5	351,6	352,9	370,4	36,9	11,1

В соответствии с данными табл. 2 видно, что численность населения Свердловской области за последние четыре года выросла на 19,9 тыс. чел. или на 0,5 %. В частности, отмечается рост населения моложе трудоспособного возраста на 65,9 тыс. чел. или на 9,5 %; рост населения старше трудоспособного возраста на 57,6 тыс. чел. или на 5,8 %. Численность населения в трудоспособном возрасте за анализируемый период снизилась на 100,0 тыс. чел или на 3,8 %.

Численность работников организаций в регионе снизилась на 31,1 тыс. чел. или на 2,0 %. Хотя наглядно видно, что число безработных граждан в области снизилось на 28,8 тыс. чел. или на 17,2 %, кроме того, снизилось количество безработных, зарегистрированных в службе занятости населения на 11,8 тыс. чел. или на 30,7 % за анализируемый период. Численность пенсионеров в области выросла на 38,2 тыс. человек или на 3,0 %. Отмечается увеличение валового регионального продукта Свердловской области на 539,7 млрд. руб. или на 51,6 % за анализируемый период. Величина ВРП на душу населения за анализируемый период в Свердловской области выросла на 124,0 тыс. руб. или на 51,0 %.

Так, ВРП Свердловской области в 2018 году составил 1 586,3 млрд. руб., а ВРП на душу населения – 367,3 тыс. руб., индекс физического объема ВРП – 106,8 %.

Замедление роста ВРП Свердловской области обусловлено снижением производства валовой добавленной стоимости в производстве и распределении энергии, газа и воды (на 1,7 %), торговле (на 2,6 %), гостиницах и ресторанах (на 0,8 %), государственном управлении и обеспечении военной безопасности (на 0,2 %) [4].

Кроме того, в 2018 году отмечается замедление темпа роста производства валовой добавленной стоимости добычи полезных ископаемых (на 0,8 %), финансовой деятельности (на 8,7 %), здравоохранения и предоставления социальных услуг (на 2,1 %).

Основную долю в структуре ВРП занимает обрабатывающее производство – 27,1 %, оптовая и розничная торговля – 21,6 %, прочие виды деятельности – 14,3 %, операции с недвижимым имуществом – 10,4 %, транспорт и связь – 12,0 %.

Величина инвестиций в основной капитал Свердловской области за анализируемый период существенно увеличились с 333,5 млрд. руб. до 370,4 млрд. руб. Удельный вес инвестиций в основной капитал региона за счет бюджетных средств снизился с 16,5 % до 13,9 % за исследуемый период, аналогичная ситуация наблюдается и по инвестициям из федерального бюджета.

Существенно изменилась ситуация относительно величины среднедушевых денежных доходов населения в месяц, их величина за последние четыре года выросла с 24 892,6 руб. до 32 035,9 руб., т.е. на 7 143,3 руб. или на 28,7 %. В тоже время отмечается рост среднедушевых денежных расходов населения области с 24 496,1 руб. до 32 183,4 руб. или на 7 687,3 руб. (на 31,4 %).

Среднемесячная номинальная заработная плата в Свердловской области в 2018 г. составила 29 492,2 руб., что на 7313,0 руб. или 33,0 % больше, чем в 2015 году [5].

Таким образом, занимая особое геополитическое положение, Свердловская область имеет не только уникальные природные ресурсы, но и обладает необходимыми предпосылками, которые могут стать основой его развития и инвестиционной привлекательности.

Численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума за анализируемый период снизилась на 94,1 тыс. чел или на 20,8 %. Так же отмечается снижение доли данной группы населения в общей численности населения области с 10,5 % до 8,3 % за анализируемый период.

Реально располагаемые доходы населения снизились на 6,0 %. Среднемесячная номинальная заработная плата в Свердловской области выросла на 7 313,0 тыс. руб. или на 33,0 %. Отмечается рост средней величины пенсии на 2 742,0 руб. или на 32,2 %.

Численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума за анализируемый период снизилась на 94,1 тыс. чел или на 20,8 %. Так же отмечается снижение доли данной группы населения в общей численности населения области с 10,5 % до 8,3 % за анализируемый период.

Таблица 3 - Распределение населения Свердловской области по величине среднедушевых денежных доходов (в месяц) за 2015–2018 гг., % (составлено авторами по [9])

Численность населения со среднедушевыми денежными доходами, руб. в месяц	Значение показателя				Отклонение
	2015 г	2016 г	2017 г	2018 г	
до 2 000,0	0,3	0,2	0,1	0,1	-0,2
от 2 000,1 до 4 000,0	2,5	2,0	1,5	1,1	-1,4
от 4 000,1 до 6 000,0	5,3	4,3	3,5	2,9	-2,4
от 6 000,1 до 8 000,0	6,9	5,9	5,0	4,4	-2,5
от 8 000,1 до 10 000,0	7,5	6,6	5,8	5,3	-2,2
от 10 000,1 до 15 000,0	17,9	16,5	15,2	14,6	-3,3
от 15 000,1 до 25 000,0	25,2	25,0	24,6	24,7	-0,5
свыше 25 000,0	34,4	39,5	44,3	46,9	12,5

Итак, согласно данным табл. 3, в Свердловской области за анализируемый период преобладает доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц свыше 25 000 руб., которая составила 46,9 %. На втором месте доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц от 15 000,01 до 25 000 руб., их доля в 2018 году составила 24,7 %. На третьем месте доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц от 10 000,01 до 15 000 руб. – 14,6 %.

По данным таблицы видно, что произошло снижение доли населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц от 10 000,01 до 15 000 руб. на 3,3 % за анализируемый период. Аналогичная ситуация наблюдается и по другим группам населения.

За анализируемый период в Свердловской области снизилась численность населения с денежными доходами ниже величины прожиточного минимума с 452,1 тыс. чел. до 358,0 тыс. чел. или на 20,8 %. Наибольшая доля безработного населения находится в возрасте от 20 до 24 лет – 20,0 %, из них: мужчин – 20,4 % и женщин – 19,5 %. На втором месте находится возрастная группа от 25 до 29 лет – 16,4 % безработных, из них мужчин – 15,9 % и женщин – 17,0 %. На третьем месте возрастная группа населения области от 30 до 34 лет – 11,9 % безработных, из них: мужчин – 10,6 % и женщин – 13,5 %.

Наибольшая численность безработного населения приходится на возрастную группу от 20 до 24 лет, к которой относятся студенты вузов и образовательных учреждений среднего профессионального образования, в том числе в данной возрастной группе 20,4 % мужского населения и 19,5 % – женского.

Таким образом, в результате анализа экономического состояния Свердловской области за анализируемый период можно сделать следующие выводы:

1) численность населения Свердловской области за последние четыре года выросла на 19,9 тыс. чел. или на 0,5 %, что обусловлено увеличением населения моложе трудоспособного возраста на 9,5 % и населения старше трудоспособного возраста на 5,8 % [9].

Численность населения в трудоспособном возрасте за анализируемый период снизилась на 100,0 тыс. чел или на 3,8 %. Кроме того, наблюдается снижение безработных граждан 17,2 %, а также рост численности пенсионеров на 3,0 %;

2) отмечается увеличение валового регионального продукта Свердловской области на 539,7 млрд. руб. или на 51,6 %. Величина ВРП на душу населения выросла на 124,0 тыс. руб. или на 51,0 %;

3) среднедушевые доходы населения области в месяц выросли на 7143,3 руб. или на 28,7 % и составили в 2018 году 31 013,0 руб. в месяц на человека. Среднемесячная номинальная заработная плата в Свердловской области выросла на 7 313,0 тыс. руб. или на 33,0 % и составила в 2018 году – 29 492,2 руб. Средний размер пенсии увеличился на 2 742,0 руб. или на 32,2 % и составил 11 255,9 руб. в месяц на человека [6];

4) в Свердловской области преобладает доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц свыше 25 000 руб. Так, доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц свыше 25 000 руб. в 2018 году составила 46,9 %, что на 12,5 % больше, чем в 2015 году. На втором месте доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц от 15 000,01 до 25 000 руб., их доля в 2018 году составила 24,7 %. На третьем месте доля населения со среднедушевыми денежными доходами в месяц от 10 000 до 15 000 руб. – 14,6 % ;

5) численность занятых в экономике за анализируемый период в Свердловской области выросла на 30,3 тыс. человек или 1,4 %, что обусловлено притоком рабочей силы из других регионов, особенно наблюдается приток рабочей силы из Курганской области, Казахстана, Киргизии и других соседних регионов Свердловской области [7]. В структуре экономически активного населения области преобладает доля населения занятого в экономике. Отмечается рост доли населения занятого в экономике с 91,6 % до 93,9 %, что привело к снижению доли безработных с 8,4 % до 6,1 %. Среди экономически активного населения численность мужчин, занятых в экономике, выросла на 36,7 тыс. человек или на 3,5 %, а численность женщин снизилась на 25,5 тыс. человек или на 2,2 %. Это может быть обусловлено временной нетрудоспособностью женщин в результате отпуска по уходу за ребенком;

6) уровень безработицы в Свердловской области за анализируемый период снизился на 2,3 %, что является положительным моментом на рынке труда исследуемого региона. Основная доля безработных граждан в Свердловской области имеет среднее (полное) образование – 30,1 % [8].

Данный факт может служить основой для благоприятного функционирования территории и роста благосостояния граждан в рамках развития маркетингового потенциала территории согласно текущим и перспективным потребностям муниципального образования. Однако все сопутствующие явление в рамках анализируемых процессов необходимо тщательно контролировать, продумывая основные механизмы и методы для обеспечения устойчивости маркетингового потенциала.

Список литературы

1. О стратегии социально-экономического развития Свердловской области на 2016–2030 гг.: Закон Свердловской области от 21 декабря 2015 г. № 151-ОЗ [электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 12.09.2017)

2. Анимца Е. Г. Стратегическое планирование развития территории: сущность, основные принципы, проблемы // Известия УрГЭУ. 2015. № 12. С. 87–95.

3. Бабичев И. В. Местное самоуправление в современной России: становление и развитие. Историко-правовые аспекты: Монография / И. В. Бабичев, Б. В. Смирнов. М.: Норма: ИНФРА-М, 2014. 528 с.

4. Бочков М. А. Социально-экономический потенциал региона: сущность и структура // Экономика и современный менеджмент: теория и практика: сб. ст. по матер. XXIII междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2013. 250 с.

5. Дертишникова Е. Н. Комплексная оценка социально-экономического развития региона // Проблемы развития территории. 2013. № 1. С. 25–35.

6. Каменских Н. А. Региональное управление и территориальное планирование: стратегическое партнерство в системе регионального развития: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2017. 127 с.

7. Комилов С. Оценка инновационного потенциала социально-экономического развития региона // Проблемы современной экономики. 2013. № 3. С. 369–373.

8. Смирнов В. В. Методика оценки эффективности социально-экономического развития региона // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Общественные науки. 2015. № 2. С. 25–34.

9. Свердловская область в 2015–2018 гг. [электронный ресурс]: статистический сборник. URL: <http://sverdl.gks.ru/> (дата обращения 12.09.2018)

УДК 330.342.3

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ, УГРОЗЫ ИЛИ ВЫЗОВЫ?

DIGITAL TRANSFORMATION: OPPORTUNITIES, THREATS OR CHALLENGES?

Елусеев А.В., Елусеева И.В.

*Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), Челябинск, Российская Федерация,
eliseevav@susu.ru; chuminaiv@susu.ru*

Eliseev A.V., Eliseeva I.V.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russian Federation

Аннотация: Сегодня большинству экономистов очевидно, что современная мировая экономика трансформируется и переходит на принципиально новый уровень развития. Однако, не смотря на такое единство, нет четкого понимания, что это за новый уровень, чем будет характеризоваться эта новая экономика и, самое главное, что она нам принесет и как в ней жить как отдельному человеку, так целым государствам и всему миру. Поиску ответов на эти вопросы посвящена данная работа

Ключевые слова: экономика знаний, цифровая экономика, постиндустриальная экономика, экономика цифровых знаний, цифровая

трансформация, трансформация экономических систем, экономическое развитие

Abstract: It is obvious for most of economists today that contemporary world economy is under transformation and is approaching a new level of development. Despite of this unity, there is no exact understanding what this level is, what this new economy will look like, and most important what it will bring us and how people, states, and the whole world will live in it. To search for answers to these questions is the main goal of this paper.

Key words: knowledge economy, digital economy, postindustrial economy, digital knowledge economy, digital transformation, economic systems transformation, economic development

Сегодня мы живем в эпоху трансформации мировой экономики. При чем, трансформация эта имеет невиданный ранее масштаб. Всего за какие-то 30 лет мировой ВВП вырос на 48 % [1], производительность труда за период с 1970 по 2015 г. взлетела в 2,5 раза [2], значительно повысилось и качество жизни, измеряемое, например, индексом человеческого развития (рост мирового показателя с 0,597 в 1990 г. до 0,711 – в 2015) [3]. Все это сопровождалось изменениями способа производства, стремительным развитием техники и технологии и ее проникновением не только в производственный процесс, но и в нашу повседневную жизнь. Такие процессы требуют глубокого осмысления и ответа на несколько ключевых вопросов – что это за трансформация, где мы находимся и к чему это может привести. Хотя большинство экономистов и признают очевидный переход экономики на новый уровень развития, единства в ответе на поставленные вопросы не наблюдается. Кроме того, ответы эти зачастую диаметрально противоположны. В данной работе мы попытаемся осмыслить происходящие процессы и наметить некоторые возможные подходы к ответу на эти вопросы.

Первый и ключевой вопрос, на который следует ответить при анализе наблюдаемых в данный момент трансформаций, заключается в том, что за трансформацию мы наблюдаем, и где мы находимся в данный момент. Типичным ответом *mainstream economics* является то, что мы перешли к так называемой постиндустриальной экономике. Данная концепция была предложена в 1970-х гг. Дэниелом Беллом [4], Элвином Тоффлером [5] и Питером Друкером. Согласно данной концепции главным критерием при анализе трансформационных процессов является доминирующий сектор экономики. По этому критерию можно выделить три стадии развития экономики – аграрную, индустриальную и постиндустриальную. Эти стадии последовательно сменяли друг друга. Преимущественно аграрная экономика с доминированием сельского хозяйства существовала примерно до 1750 г., индустриальная с доминированием промышленности – с 1750 до 1970 г., а затем им на смену пришла постиндустриальная экономика, характеризующаяся доминированием сферы услуг. При этом экономика переходит на новую

стадию развития, когда новые технологии в доминирующем секторе позволяют переместить занятость из этого сектора в другой, вследствие чего новый сектор начинает расти быстрее и с течением времени становится доминирующим.

Выше уже упоминались те невиданные изменения в производительности труда, и, как следствие, уровне и качестве жизни, которые происходят на наших глазах. Все эти процессы требуют, в первую очередь, ответа на вопрос об их причинах. На наш взгляд, доминирующая сегодня концепция постиндустриальной экономики никак не может помочь в этом. Тому есть, по меньшей мере, две причины. Во-первых, концепция постиндустриальной экономики лишена какого-либо теоретического базиса и, во-вторых, она не имеет никакого отношения к реальности.

В качестве критерия постиндустриальной экономики указывается то, что в такой экономике доминирует сфера услуг. В этой связи возникает ряд вопросов. Первый вопрос «И что?» Доминирование сервисного сектора не означает какого-либо фундаментального изменения экономической деятельности. Сравним, например, две экономики. Одна производит воздушные суда, а другая – авионику для них, первая – индустриальная, вторая - сервисная. Они могут не иметь никаких фундаментальных отличий, работать с одинаковой производительностью, иметь один уровень жизни, функционировать на основе одних экономических законов. Кроме того, возможной причиной доминирования третичного сектора может быть и деиндустриализация, что мы все прекрасно видели в России в 1990-е годы.

«Почему?» Теоретики постиндустриальной экономики утверждают, что происходит изменение технологии, повышающее производительность в промышленности, что позволяет переместить занятость в сферу услуг. Однако, основной вопрос, почему это происходит, остается без ответа. Быть может все как раз наоборот, промышленность перемещается из развитых стран в развивающиеся, количество рабочих мест в промышленности сокращается, и вся армия промышленных безработных направляется в поисках средств к существованию в сферу услуг.

«Хорошо это или плохо?» Согласно теории постиндустриальной экономики, это единственный прогрессивный путь развития. Однако, опять взглянем на Россию. Около 60 % населения занято в сфере услуг, однако 74 % российского экспорта – минеральные ресурсы.

Следующий вопрос – сам критерий. Скажем, в США строительство относится к сфере услуг, хотя на самом деле является производством. Тоже самое можно отнести к услугам аудита, бухучета, финансовым услугам, консалтингу и т. п. Все они не являются конечными услугами, а являются услугами бизнесу, который производит конечные товары, включая продукцию промышленности. Кроме того, сегодня наблюдается уход большинства услуг в онлайн или в мобильные приложения. Процесс, который не может быть объяснен постиндустриальной теорией.

И, наконец, само понятие «постиндустриальная экономика» не имеет никакого позитивного значения. Оно отражает только точку отправления, но не

конечную точку пути. Используя подобную логику, можно было бы назвать индустриальную экономику постаграрной. Причина этого в том, что теория не пытается найти ответ на вопросы о том, куда мы идем и к чему переходим.

Второе направление нашей критики концепции постиндустриальной экономики связано с тем, что данная теория полностью оторвана от реальности. В этой связи можно процитировать известного теоретика макроэкономики Дэвида Ромера, который в своем учебнике продвинутой макроэкономики, говоря о применимости моделирования в экономическом анализе очень точно подметил: «Цель модели не в том, чтобы быть реалистичной. В конце концов, у нас уже есть полностью реалистичная модель – сам окружающий мир. Проблема с этой «моделью» в том, что она слишком сложна для понимания. Цель модели – дать понимание конкретных характеристик окружающего мира. Если упрощающие предположения приводят к тому, что модель дает неправильные ответы на вопросы, для ответа на которые она предназначена, то такой недостаток реализма является проблемой. Однако, если упрощающие предположения не приводят к тому, что модель дает неправильные ответы на вопросы, для ответа на которые она предназначена, то недостаток реализма не имеет значения. Концентрируя внимание только на интересующем нас эффекте, упрощение делает модель проще для понимания» [6, р. 11–12]. Концепция постиндустриальной экономики – как раз тот случай, когда мы получаем неправильные ответы на те вопросы, для ответа на которые она предназначена.

В реальности мы наблюдаем отсутствие какого-либо перехода к производству услуг. На протяжении всей истории все три сектора сосуществовали. В аграрном обществе всегда были производство, например, орудий труда, и услуги, такие как образование, здравоохранение, развлечения. Так, известная фраза «Хлеба и зрелищ» появилась около II в. нашей эры, когда шла отчаянная битва за выживание с природой и ни о какой постиндустриальной экономике не могло быть и речи. То же относится и к индустриальной стадии. Точно также и на постиндустриальной стадии всегда будут существовать производство и сельское хозяйство, хотя бы потому, что мы никогда не перестанем есть или покупать материальные вещи такие, как смартфоны или автомобили. А значит кто-то должен это все производить.

Если посмотреть на мировую структуру занятости, можно на самом деле заметить рост занятости в сервисном секторе. Так, за прошедший век она возросла с 20,2 до 48,6 %, но при этом произошел и рост занятости в промышленности с 13,5 до 18,1 % [7, с. 26]. В то же время доля сельскохозяйственных земель в общей территории планеты за последние 50 лет выросла с 4,3 до 7,8 %. Кроме того, еще одной интересной тенденцией является снижение доли сельскохозяйственных земель в развитых странах при росте в развивающихся [8]. Почему это происходит? Ответ вполне очевиден – мы хотим есть.

Что мы на самом деле наблюдаем, начиная с XVIII в., – это не рост какого-либо одного сектора в мировом масштабе, а географическое перемещение секторов в мировой экономике. Сначала, после промышленной

революции, сельское хозяйство переместилось из Англии в Северную Америку, Австралию, Индию и Китай. Затем, после гражданской войны в США, – из Северной Америки в Южную. После чего наступило время перемещения промышленности. После Второй мировой войны промышленность переместилась из Северной Америки в Западную Европу и Японию, затем – в Восточную Европу и Азию, и, наконец после распада советской системы – из Западной Европы и Азии в Восточную.

Тогда возникает другой вопрос. Если это не постиндустриальная экономика, то что же это? Мы действительно наблюдаем изменения экономики. На наш взгляд, происходящие изменения можно, используя марксову терминологию, назвать изменениями способа производства. При этом, методология анализа трансформации должна основываться на двух ключевых моментах – методологии выделения стадий, и здесь можно предложить критерий ключевого фактора производства, и том, чего не хватает большинству теорий, – механизме перехода от одной стадии к другой, которым является ограниченность ключевого ресурса.

Используя критерий ключевого ресурса, можно выделить следующие стадии трансформации мировой экономической системы. Первая стадия – экономика природы, в которой ключевым ресурсом была природа и все то, чем она может нас обеспечить. Десятки тысяч лет назад мы изобрели сельское хозяйство, и в этот момент наступила стадия экономики земли. Примерно 250 лет назад началась промышленная революция, и человечество перешло к экономике капитала. Около 50 лет назад развитие компьютеров и телекоммуникаций породило экономику знаний. Вполне вероятно, что через 50 лет мы окажемся в новой экономике, которая скорее всего будет экономикой искусственного интеллекта. Здесь можно возразить, а как же труд? Труд, как собственно и знания, являются ключевыми факторами производства на всех стадиях развития человечества. Тогда возникает другой вопрос. В чем же принципиальное отличие использования знаний в производственном процессе на данном этапе? Дело в том, что сегодня знания стали цифровыми, что значительно снизило стоимость, как их производства (в меньшей степени), так и тиражирования (практически свелась к нулю), что ведет к существенным последствиям, как для экономической науки, так и для нашей жизни. Поэтому правильнее было бы назвать нынешнюю стадию экономикой цифровых знаний.

Еще одна важная тенденция – уменьшение продолжительности стадий. Так, стадия экономики природы заняла около 200 000 лет, экономики земли – 10 000, экономика капитала – 250 лет. То есть каждая следующая стадия становится все короче, поэтому, возможно, в будущем мы будем иметь постоянно изменяющуюся экономику, когда каждый следующий день не будет похож на предыдущий.

Обратимся теперь к механизму перехода от одной стадии к другой. Может показаться, что все переходы были вызваны случайными технологическими изменениями. Конечно, вопрос случайности и предопределенности в истории человечества относится к разряду философских,

однако кажется более вероятным, что все переходы были predeterminedены и произошли благодаря ограниченности ключевого ресурса.

В процессе развития при некоторой ресурсной модели человечество подходит к точке бифуркации, в которой ключевой ресурс становится настолько ограничен, что есть только два варианта дальнейшего развития – либо голод, либо переключение на использование другого ресурса. По счастливой случайности, каждый раз мы были достаточно умны, чтобы выбрать правильный путь развития. Важно, что со знаниями может получиться по-другому. Дело в том, что основная характеристика знаний как ресурса в том, что при использовании в производстве знания не потребляются и не становятся более ограниченными, напротив, создаются новые знания. В связи с этим, причиной следующего перехода будет не ограниченность знаний, а ограниченность наших мыслительных возможностей по обработке огромного массива знаний. Именно поэтому мы предполагаем, что следующей стадией вероятно будет экономика искусственного интеллекта.

К чему же ведет нас сегодняшняя трансформация? Существуют диаметрально противоположные точки зрения на этот счет. Одни исследователи видят в новом этапе развития преимущественно угрозы для человечества, начиная от апокалиптических сценариев из фильма «Терминатор», заканчивая тотальной безработицей. Другие же впадают в противоположную крайность – в иллюзию оптимизма и возможностей, строя идеалистические картины будущего, похожего на эпизоды из сериала «Стар Трек». На наш же взгляд, экономика цифровых знаний ставит перед нами ряд вызовов, а обратим мы их в возможности, или угрозы, зависит от нашей возможности понять происходящие процессы. Далее мы укажем на ряд из таких вызовов, которые требуют безотлагательного реагирования.

Вызов 1. Географическое перемещение производства, ставшее возможным благодаря, во-первых, развитию быстрых способов транспортировки товаров между различными частями земного шара, а во-вторых, что более важно, развитию мгновенных способов коммуникации. В результате наш мир стал подобен пирамиде, а, еще точнее, пищевой цепи, в которой высшие организмы не могут жить без низших и живут за счет этих низших организмов. Внизу этой пирамиды страны, насыщенные трудом и минеральными ресурсами, вверху – капиталом- и знанием насыщенные страны. Все это ведет к неравенству между странами и регионами мира, которое в конце концов может привести нас к катастрофе.

Вызов 2. Великая битва капитала и труда (знаний). Несмотря на то, что мы говорим о знаниях как ключевом ресурсе современной экономики, капитал не спешит уступать свои позиции. 50 лет назад было возможно начать высокотехнологичный стартап, позволявший его владельцу только благодаря своим знаниям и умениям за короткое время заработать многомиллиардное состояние за счет вывода на рынок новой высокотехнологичной продукции. Наиболее яркими примерами таких стартапов являются корпорации «Майкрософт» и «Эппл». Крупный бизнес был не готов к появлению подобных

конкурентов, что собственно и позволило им появиться. Однако с течением времени капитал приспособился к такой ситуации и постепенно устранил конкуренцию со стороны отдельных индивидов, способных продвинуть на рынок новые технологии. Об этом говорит, в частности, то, что за исключением, так называемой индустрии «доткомов», в настоящее время вряд ли можно назвать хотя бы пять прорывных индивидуальных проектов в области высоких технологий. Так, П. Перетто отмечает, что если в 1901 г. в США 82 % всех патентов были даны частным лицам, то к 1971 г. эта доля упала до 21 %, а в настоящее время коммерческие исследования и разработки почти полностью осуществляются коммерческими лабораториями крупных корпораций [9, р. 54]. Кроме того, капитал сегодня фактически контролирует владельцев знаний, предлагая им высокие безрисковые зарплаты.

Вызов 3. Постоянное и растущее неравенство. Ситуация сегодня складывается таким образом, что неравенство наступает на человечество по всем фронтам. Если традиционными формами неравенства были упомянутое неравенство между странами и регионами мира, неравенство между владельцами капитала и труда, то сегодня цифровая трансформация добавила к ним еще и неравенство внутри труда, вызванное высокими доходами владельцев знаний, и неравенство внутри капитала, вызванное формированием так называемой экономики победителей (*the-winner-takes-all economy*). В результате неравенство практически во всех странах достигло невероятных масштабов, что может привести к значительным социальным проблемам и социальной напряженности по всему миру.

Вызов 4. Провал капиталистической модели. Она попросту больше не работает. Об этом свидетельствуют, например, высокая закредитованность населения, а, с еще большей очевидностью, периодичность кризисов. Например, если со времен Великой Депрессии до Энергетического кризиса 70-х годов прошло 40 лет, то до финансового кризиса в Юго-Восточной Азии 1997 г. всего 27, а до Великой Рецессии 2007 г. – уже десять. Мы постепенно привыкаем жить в одном перманентном кризисе. Проблема в том, что наша экономика существенным образом изменилась, в то время как наша экономическая модель застыла на уровне 80-х годов прошлого столетия. Поэтому она нуждается в серьезных изменениях. Вопрос в том – каких. Последний раз такие изменения, связанные с адаптацией к трансформационному спаду, вызванному окончательным переходом к преимущественно промышленному производству, происходили ценой двух мировых войн. Не самый лучший метод, на самом деле.

Вызов 5. Мир без работы? Мир, который может наступить в следствии автоматизации и развития технологий искусственного интеллекта. В этой связи следует процитировать двух известных футуристов. Джереми Рифкин утверждает, что «мы вступаем в новый период истории – период, в котором машины все больше заменяют людей в процессах производства и перемещения товаров и предоставления услуг. Мир практически без работы быстро приближается» [10, р. 106]. Еще более точно сформулировал похожий тезис

Кевин Келли, который отмечает, что «AI вполне может расшифровываться как «внеземной интеллект» ... У нас нет уверенности, что мы войдем в контакт с внеземными существами из одной из миллиарда планет на небосводе, подобных Земле, в течение следующих двухсот лет, но у нас есть практически стопроцентная уверенность, что к тому времени мы разработаем внеземной интеллект. Когда мы встретимся с этими синтетическими пришельцами, мы столкнемся с теми же выгодами и вызовами, которые мы могли бы ожидать от внеземного контакта. Они заставят нас переоценить наши роли, наши верования, наши цели, нашу самоидентичность. Зачем нужны люди? Я думаю нашим первым ответом будет – люди нужны для изобретения новых разумов, которые не может произвести биология. Наша задача сделать машины, которые думают по-другому – создать внеземной разум. Назовем их искусственными пришельцами» [11].

Эта дискуссия «Человек против машин» (Man Vs Machine Debate) отнюдь не нова в экономической науке и началась еще со времен промышленной революции. Как правило, высказываются два противоположных мнения. С одной стороны, мнение, которое мы назовем «будущее голода», основывается на трех предпосылках:

- 1) автоматизация все возрастает;
- 2) машины полностью заменяют людей;
- 3) возможности человека уменьшаются.

С другой стороны, гипотеза «будущего процветания», согласно которой

- 1) автоматизация все возрастает;
- 2) машины полностью дополняют людей;
- 3) возможности человека увеличиваются.

Как всегда, реальность несколько более многогранна. Поэтому мы назовем наше будущее «будущим вызовов», в котором

- 1) автоматизация все возрастает;
- 2) машины частично заменяют людей;
- 3) возможности человека уменьшаются там, где работу может выполнять компьютер, но как минимум не уменьшаются там, где компьютеры бесполезны.

Вызов 6. Насколько хороши наши теоретические инструменты? В mainstream economics фирма рассматривается как черный ящик, трансформирующий ресурсы в выпуск. При этом наиболее интересный вопрос, что происходит внутри этого ящика остается без ответа. Но это основной вопрос, т.к. внутри этого черного ящика технологии и люди, которые и обеспечивают наше развитие и наш прогресс. Что мы на самом деле должны анализировать – это отношения внутри фирмы между владельцами различных ресурсов, как раз то, о чем говорил К. Маркс с его производственными отношениями. Более того, при переходе к экономике цифровых знаний экономическая теория становится наукой без предмета. Ведь уже на первой лекции все мы учим студентов, что предметом нашей науки является распределение ограниченных ресурсов между неограниченными

потребностями. Что же происходит в цифровой экономике? Ресурсы перестают быть ограниченными, а товары перестают иметь цену. Так, знания в цифровую эпоху вряд ли можно назвать ограниченным ресурсом, проблемой становятся наши ментальные способности по обработке этих знаний. Кроме того, знания сами по себе теряют в цифровой эпохе свою ценность, они общедоступны. С другой стороны, цену теряют и товары. Взгляните в свой смартфон и посмотрите, сколько приложений в нем установлены бесплатно. Не будет преувеличением сказать, что с большой долей вероятностей ваш ответ будет «все». Тем не менее, эти приложения имеют для вас ценность или, выражаясь знакомым языком экономической теории, полезность. Все эти явления современная экономическая наука объяснить не в силах. И здесь снова можно вспомнить старого доброго Карла Маркса с его потребительной и меновой стоимостями.

Вызов 7. Насколько хороши наши инструменты экономической политики? Следующий вызов касается экономической политики и сформулировать его можно точно также, как и предыдущий. Следует сказать, что они совсем не хороши. Все, что мы пытаемся сделать – это отвечать на сиюминутные вызовы, применяя инструменты, которые больше не работают. Мы психологически не готовы признать, что мир вокруг нас изменился. Вместо того, чтобы исследовать этот мир на предмет понимания глубинной сущности его функционирования и искать новые инструменты, пригодные для этого изменившегося мира, мы стремимся обеспечить сиюминутную стабильность. Например, в России с экранов телевизора и от власть предержащих мы постоянно слышим о стабильности как о главном нашем достижении и главном ориентире на будущее. Это в корне неправильный подход, стабильность несовместима с развитием, т.к. последнее предполагает изменения, при которых по определению не может быть никакой стабильности. В этой связи следует привести абсолютно точно высказывание Филиппа Ауерсвальда: «Нецеленаправленно, но неизбежно поиск стабильности в конце концов ведет к катастрофе. Вместо того, чтобы происходить понемногу, разрушения приходят все и сразу» [12].

Что же все это значит для нас – ученых? Новый мир быстро наступает, и приспособление к этому новому миру с искусственным интеллектом – это всего лишь начало. Что на самом деле от нас потребуется – это переосмысление роли человечества в новом мире. И что же требуется от нас? Для ответа на этот вопрос позволим себе перефразировать классика «Ученые всех наук, объединяйтесь!». Для переосмысления нашего места в мире необходимы междисциплинарные исследования во всех отраслях науки. Инженеры должны предвидеть тренды технологического развития. Из физики мы должны взять моделирование происходящих процессов, но не те абстрактные модели мифических миров, которыми наводнена экономическая теория, а модели, которые будут помогать объяснить экономические реалии. Математики преуспели в прогнозировании. Биология полезна своей теорией эволюции. Философы будут должны ответить на миллионы вопросов о роли и месте

искусственного интеллекта в новом мире. Политология должна заняться поисками ответа на вопрос о том, как должно управляться новое общество. Психологи должны искать ответ на вопрос, как счастливо жить в новом мире. Юристы займутся поиском справедливых законов для нового общества. Социологи должны анализировать изменения общества. Историки принесут пользу своими историческими аналогиями, ведь человечество уже не раз проходило через трансформационные изменения. Педагогика должна ответить на вопрос, как следует учить новое поколение, которое кардинально отличается от нас. Здесь тоже видны все те же проблемы, когда мы пытаемся применить устаревшие методики обучения индустриальной эпохи в новых условиях. И, наконец, политическая экономия, представляющая собой симбиоз философии, социологии и экономики, активно использующая междисциплинарный подход, а никак не экономическая теория с ее анализом абстрактных моделей, должна объединить все это в стройную теорию новой экономической реальности. Только объединившись, мы сможем преодолеть все наши сегодняшние трудности, как теоретического, так и практического характера. Поэтому еще раз повторимся «Ученые всех наук, объединяйтесь!».

Список литературы

1. World Development Indicators [Электронный ресурс]. URL: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&type=metadata&series=N.V.AGR.TOTL.ZS> (дата обращения 10.09.2019).
2. Organization for Economic Cooperation and Development [Электронный ресурс]. URL: http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PDB_LV (дата обращения 10.09.2019).
3. Human Development Reports [Электронный ресурс] / United Nations Human Development Programme. URL: <http://hdr.undp.org/en/composite/trends> (дата обращения 14.09.2019).
4. Bell, D. Notes on Post-Industrial Society [Текст] / D. Bell // The Public Interest. – 1967. – Vol. 7. – P. 102–118.
5. Тоффлер, Э. Третья волна [Текст] / Э. Тоффлер. – М.: ООО «Фирма «Издательство АСТ», 2004. – 781 с.
6. Romer, D. Advanced Macroeconomics [Текст] / D. Romer. – Princeton: MacGraw-Hill, 1996. – 540 p.
7. Якунин, В.И. Постиндустриализм: опыт критического анализа [Текст] / В.И. Якунин // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2012. – № 2 (20). – С. 18–30.
8. Agricultural Land (% of Land Area) [Электронный ресурс] / World Bank Group. URL: https://data.worldbank.org/indicator/ag.lnd.agri.zs?end=1961&name_desc=false&start=1961&view=bar (дата обращения 23.09.2019).

9. Peretto, P.F. Technological Change, Market Rivalry, and Evolution of the Capitalist Engine of Growth [Текст] / P.F. Peretto // Journal of Economic Growth. – 1998. Vol. 3. – P. 53–80.
10. Riffkin, J. The End of Work: The Decline of the Global Labor Force and the Dawn of the Post-Market Era [Текст] / J. Riffkin. – New York: G.P. Putnam's Sons, 1995.
11. Kelly, K. Call Them Artificial Aliens [Электронный ресурс]. URL: <https://www.edge.org/response-detail/26097> (дата обращения 23.09.2019).
12. Auerswald, P.E. The Code Economy: A Forty Thousand Years History [Текст] / P.E. Auerswald. – New York, NY: Oxford University Press, 2017.

UDC 338.24

INTERACTION BETWEEN GOVERNMENT, BUSINESS AND SCIENCE AS A WAY OF INNOVATIVE DEVELOPMENT: RUSSIAN EXPERIENCE

Lyashenko E.A.

*Ural State University of Economic, Yekaterinburg, Russia
univergm@yandex.ru*

Abstract: In the article the research of practical experience of development of interactions between authorities, subjects of business and the research and educational organizations in space of the region is carried out. As formalized in the strategic planning documents of the Russian Federation, the development of mechanisms of interaction between various stakeholders will contribute, along with other factors, the formation of an innovative economy and, accordingly, increase the competitiveness of the country in the global market.

Key words: Interaction, collaboration, government, business, science, education, region, innovative development.

In the documents of the strategic planning of the Russian Federation, the formation of interactions between authorities, business, science and education sectors is considered as a strategic guideline for long-term socio-economic development. Thus, according to the Concept-2020, it is necessary to develop public-private partnership, support the initiatives of business entities in the social sphere, stimulate vertical and horizontal social mobility, expand the participation of business in the preparation of decisions in the field of economic regulation together with the authorities, etc. In accordance with the state program of the Russian Federation «Economic development and innovative economy», the competitiveness of the country should be ensured through the introduction of breakthrough innovations, including by improving the interaction between authorities, business entities, science and education.

As G. Itskowitz and L. Leydesdorff point out [1], innovative development of any economic system, including a country, region, or other localized territory, is possible through collaboration of the state, business, and science. This mechanism is called the triple helix model, which is actively used, for example, in Sweden and Finland, annually included in the TOP 5 countries in the Global innovation index. Also, the triple helix model as a practical technology for creating regional innovation systems has been included in the state strategic development programs of many developed countries (Norway, Japan, etc.).

Traditional theories consider innovation processes through the interaction of two sectors: state-business, state-science, business-science. Some of the forward and backward relationships between these sectors are ignored. In the triple helix model, all three elements balance each other, thus allowing the entire system to move to an alternative trajectory of development. It is not the elements themselves that are important here, but the interactions between them and the degree of their dynamism.

Continuous interaction of the state, business and science is a source of synergetic innovation effect, which manifests itself as an increase in the efficiency of activities as a result of connection, integration, merger of individual parts into a single system due to the so-called systemic effect (emergence). At the same time, only permanent coordination of actions between sectors in the collaboration mode allows to obtain innovative synergy [2,3].

Currently, the concept of the» triple helix « extends the paradigm of the four-link spiral, which includes the institutions of civil society, which is the ultimate consumer of innovation and has a significant impact on the creation of knowledge and technology [4].

Consider the domestic experience of the development of cooperation between government, business, science, education and civil society.

In the Republic of Tatarstan, annually in recent years included in the TOP 5 innovative regions of Russia [5], since 2015, implemented comprehensive projects to improve productivity in manufacturing industries with state support (funding, information) with the involvement of research organizations. This practice is expected to provide by 2020 an increase in the number of high-performance jobs at the enterprises of the Republic and, accordingly, increase productivity.

In order to establish Tatarstan as a global competitive sustainable region and a driver of the Volga-Kama growth pole, a unified system of strategic planning has been formed since 2016. The result is the Strategy 2030 developed in a multilateral dialogue of regional and local authorities, representatives of business, civil society, research and educational organizations, simultaneously with which municipal strategies, sectoral, inter-municipal and interdepartmental projects and programs were developed and synchronized.

On the territory of the Republic of Tatarstan in 2018 implements the Concept of Fammedpac as the project office for the address to attract and accommodate residents of the pharmaceutical industry. Regional authorities to form an appropriate package of measures to support investors determine land; universities of Tatarstan carry out training for pharmaceutical industry; research organizations within the 2018

Uniform research platform, conducting studies of drugs and medical devices. The creation of the project office, as well as the development of production is financed by a private investor. It is expected that by 2022 high-tech industries will be created in the Republic, which will increase the level of competitiveness of Tatarstan.

Also in Tatarstan on the territory of the special economic zone «Alabuga» there is a corporate University in which educational programs are attended by both real employees of enterprises-residents of the zone, and potential.

In the Tomsk region, which also occupies a high position in the rating of innovative regions of Russia, since 2015 an Innovative territorial center «ENO Tomsk» is being created within the boundaries of the Tomsk agglomeration. In its space, 12 Federal ministries, 6 Tomsk universities, 5 state corporations and more than 400 small and medium-sized innovative businesses and manufacturing enterprises cooperate. By 2020 the project is expected to achieve the following results:

- GRP growth;
- competitive industry;
- creation of a network of integrated urban areas, the so-called «points of growth», uniting the sectors of research and development, education, industry;
- formation of effective mechanisms for the development of civil society;
- developed sector of social entrepreneurship;
- a high level of innovation that increases the comfort of the city for life and work, etc.

In the Tomsk region since 2017, project alliances have been created within the innovation cluster «Smart Technologies Tomsk», which is formed on the basis of the scientific and educational center. Project alliances are aimed at implementing cooperation projects for high-margin market segments, as well as attracting business entities to commercialize innovations. Within the framework of this practice, the created innovative projects are supported.

Kaluga region has significant experience in the development of human capital on the part of government and business.

There, from 2012 to the end of 2019, social payments from the regional budget are provided to employees of industrial and scientific organizations, as well as companies operating as part of industrial parks, technoparks, special economic zone, to reimburse part of the down payment on mortgage loans. In addition, the employer repays part of the interest on the loan.

Also, since 2010 and to the present time in the Kaluga region introduced elements of dual training in the training of middle managers. It consists in the joint development with business entities of the automotive industry educational and methodological support and further training and educational institution and enterprise.

In the Ulyanovsk region in 2016 formed a new generation School «school in Technocampus». The purpose of this event is to create an educational environment integrated into the innovation and entrepreneurial infrastructure of Technopark structures, which contributes to the solution of key problems of the region in the field of scientific and technological development.

Many regions of the Russian Federation are implementing projects to create and develop various kinds of Technopark structures and clusters. For example, in the Novosibirsk region to build Technopark of Novosibirsk Akademgorodok and medical industrial Park in the Kaluga region formed a territorial innovation cluster «Pharmaceutics, biotechnologies and Biomedicine»; in the Samara region – Technopark in sphere of high technologies «Zhiguli valley»; in Ulyanovsk Nanocenter ULNANOTECH.

According to the study of Russian practices of advanced innovative regions, Technopark and cluster structures (industrial parks, technoparks, innovation clusters, territorial centers) are mainly a form of interaction between authorities, business, science and education, and civil society. According to the author, Technopark structures form a space for collaboration of the state, business, science and education. In addition, attention is paid to the creation of scientific and educational platforms where young people are trained with guaranteed employment in specific innovative companies. The authorities of the subject of the Russian Federation and local self-government are implementing projects aimed at increasing public and business confidence in them.

However, despite the active development of mechanisms of interaction between government, business, science, education, in the regions there are significant problems in this area, namely:

1) Organizational: the complexity of cooperation with authorities, entrepreneurs, universities, society; the lack of a single clear mechanism of communication between the actors of innovation; long decision-making time; the complexity of the implementation of network intermunicipal projects aimed at achieving socially significant results; imperfection of the regulatory framework; ineffective team interaction; lack of personal responsibility; non-compliance with legislation; the engine of innovation is the state, not the private sector (as in foreign countries);

2) Financial and economic: insufficient level of financing from the authorities and development institutions, as well as business; low income; lack of demand from the business sector and the population;

3) in the field of personnel management: low competence and motivation of personnel, lack of qualified employees, resistance to new technologies, inertia;

4) Information: lack or lack of information (knowledge and practical experience).

The solution of these problems requires an integrated approach at the level of public administration and local self-government with the involvement of stakeholders from business, science and education. In particular, it is necessary to improve legislation, establish personal responsibility, form an interest in the interaction of business entities, science and education, improve the quality of human potential and much more.

Bibliographic list

1. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The Triple Helix – University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development // EASST Review. 1995. Vol. 14. № 1. P. 14–19.
2. Leydesdorff L. Configurational Information as Potentially Negative Entropy: The Triple Helix Model // Entropy. 2008. Vol. 10, № 4. P. 391–410.
3. Smorodinskaya N. V. Triple helix as a new matrix of economic systems / / Innovations. 2011г. Т. 150, No. 4. P. 66-78. Carayannis E., Grigoroudis E. (2016) Quadruple Innovation Helix and Smart Specialization: Knowledge Production and National Competitiveness. Foresight and STI Governance, vol. 10, no 1, pp. 31–42. DOI: 10.17323/1995-459x.2016.1.31.42
4. Association of innovative regions of Russia. – Mode of access: <http://i-regions.org>.

УДК: 332.1

СТРАТЕГИЯ ПОДДЕРЖКИ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ В СИСТЕМЕ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

STRATEGIES TO SUPPORT CHILDREN AND YOUTH AS FACTOR OF REGIONAL COMPETITIVENESS INCREASING

Логиновских А.Ю.

*Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург,
Россия*

loginovskikhanna@gmail.com

Loginovskih A. Yu.

Ural state University of Economics, Yekaterinburg, Russia

loginovskikhanna@gmail.com

Аннотация: Рассматриваются существующие проблемы в сфере образования региона с точки зрения потребностей промышленных предприятий в высококвалифицированных кадрах. Подчёркивается, что для промышленного региона, ориентированного на инновационное развитие, важнейшим условием повышения конкурентоспособности является долгосрочная политика формирования человеческого капитала, неременным элементом которой выступает работа с одаренными детьми.

Ключевые слова: Конкурентоспособность территории, человеческий капитал, одаренные дети, профориентация, стратегия.

Abstract: Existing problems in the regional system of education from the point of view of the industrial sector needs in highly qualified personnel are considered. It is emphasized that for an industrial region focused on innovative development, the most important condition for increasing competitiveness is a long-term policy of human capital formation, an indispensable element of which is the work with gifted children.

Key words: regional competitiveness, human capital, gifted children, career guidance, strategy.

Вопросам роли человека в процессах экономического и общественного развития в целом уделено отдельное внимание в экономических исследованиях второй половины XX века и начале нового века. Одним из важнейших достижений в экономической науке явилось создание концепции человеческого капитала, основателями которой являются Нобелевские лауреаты, известные американские ученые Г. Беккер и Т. Шульц. Авторами исследования с точки зрения методологии человеческого капитала были Л. Туроу [8], Г. Беккер [7], Х. Боуэн [9].

Важный вклад в развитие человеческого капитала внесли современные ученые Р. Капелюшников [1], С. Дятлов [2].

Переход к инновационным технологиям предъявляет новые требования к уровню подготовки специалистов и качеству человеческого капитала, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на уровень конкурентоспособности регионов и городов [3].

Динамизм, масштабность и устойчивость накопления и эффективного рационального потребления человеческого капитала превратились для любой страны в решающий фактор обеспечения экономического роста, повышения конкурентоспособности [4,5].

Одна из составляющих развития экономического потенциала региона и человеческого капитала – вклад в образование, развитие дополнительного образования и работа с одаренными детьми [6].

Свердловская область относится к регионам – «локомотивам роста», которые характеризуются весомым вкладом в прирост ВВП страны, высоким научно-техническим потенциалом, наличием стратегической инициативы, имеющей значение для всей страны, потенциалом для развития всего Уральского федерального округа.

Свердловская область – регион, в экономике которого наиболее развиты промышленные отрасли (черная и цветная металлургия, машиностроение, оборонно-промышленный комплекс).

Обеспеченность предприятий промышленного комплекса достаточным количеством высококвалифицированных инженерных кадров является залогом и неременным условием стабильного развития реального сектора экономики в регионе.

В промышленном секторе Свердловской области имеется дефицит квалифицированных инженерных кадров по ряду специальностей. По данным

Свердловского областного Союза промышленников и предпринимателей (далее – СОСПП), дефицит высоко квалифицированных специалистов повышает риски технологического отставания промышленных предприятий региона и снижения их конкурентоспособности (табл. 1).

Таблица 1 - Оценка влияния кадровых проблем на деятельность предприятий

№	Влияние кадровых проблем на деятельность предприятий	Доля, %
1	Проблема есть, но существенного влияния не оказывает	35,0
2	Проблема есть и в ближайшей перспективе негативное влияние возрастет	30,0
3	Проблема носит системный характер и негативно сказывается на работе предприятия	28,3
4	Затрудняюсь ответить	6,7
	Итого	100,0

Согласно опросу, проведённому Свердловским областным Союзом промышленников и предпринимателей, большинство опрошенных предприятий выступают за продвижение лучшего опыта предприятий и образовательных учреждений по практико-ориентированному образованию (36%), 22% предприятий Свердловской области высказались за стимулирование вложений промышленных предприятий в образовательные и профориентационные проекты (треть предприятий видит перспективы развития в создании и обязательном применении профессиональных стандартов) (табл. 2).

Таблица 2 - Наиболее актуальные и эффективные инструменты развития профессионального рынка труда

Рейтинг	Инструменты	Доля, %
1	продвижение лучшего опыта партнерства промышленных предприятий и образовательных учреждений по практико - ориентированному образованию	36,2
2	создание и обязательное применение профессиональных стандартов	29,5
3-4	участие предприятий в реализации проектов по профориентации школьников	21,9
3-4	стимулирование вложений промышленных предприятий в образовательные проекты	21,9
5	программы трудовой мобильности	20,0
6	участие в конкурсах профессионального мастерства (WorldSkills, «Славим человека труда!»)	19,0
7	участие промышленных предприятий в Президентской программе повышения квалификации инженерных кадров	18,1

Система образования в Свердловской области ориентирована на обеспечение условий получения качественного образования, отвечающего требованиям современной инновационной экономики, внедрение эффективных экономических механизмов в сфере образования, формирование социально адаптированной, конкурентоспособной личности, создание условий для ее самореализации. Все это отвечает задачам национального проекта «Образование».

Ежегодно в систему образования Свердловской области направляется не менее трети всех расходов областного бюджета.

В рамках государственной программы Свердловской области «Совершенствование социально-экономической политики на территории Свердловской области до 2024 года» разработана и реализуется подпрограмма «Комплексное развитие человеческого капитала».

Для решения кадровых вопросов, создания кадрового потенциала в Свердловской области разработана программа «Уральская инженерная школа», реализуемая в рамках Государственной программы Свердловской области «Развитие системы образования в Свердловской области до 2024 года».

Программа «Уральская инженерная школа» стала региональной платформой для реализации направлений национального проекта «Образование», паспорт которого включает проекты «Современная школа», «Успех каждого ребенка», «Молодые профессионалы», «Цифровая образовательная среда».

Программа «Уральская инженерная школа» - это комплекс мероприятий по повышению мотивации обучающихся к изучению предметов естественно-научного цикла и последующему выбору рабочих профессий технического профиля и инженерных специальностей, и повышению качества подготовки специалистов непосредственно в системе среднего профессионального и высшего образования.

Эти задачи реализуются в том числе за счет развития и повышения доступности дополнительного образования для детей, развития системы работы с одаренными детьми, реализации программ «Уральская инженерная школа», программ по подготовке высококвалифицированных специалистов и рабочих кадров с учетом современных стандартов и передовых технологий.

Благодаря программе «Уральская инженерная школа» в Свердловской области с 2014 года создается высокотехнологичная образовательная среда для изучения технических дисциплин. Современными программно-техническими образовательными комплексами оснащены кабинеты в школах Верхней Салды, Екатеринбурга, Верхней Пышмы, Первоуральска, Нижнего Тагила.

Одной из задач проекта «Современная школа» является обновление методик обучения, в том числе в предметной области «Технология».

На базе сельских школ в Свердловской области планируется создать 57 центров образования цифрового и гуманитарного профилей «Точка роста» по предметным областям «Технология», «Математика и информатика», «Физическая культура и основы безопасности жизнедеятельности». 36 муниципальных образований участвуют в программе обновления материально-технической базы для формирования у обучающихся современных технологических и гуманитарных навыков.

В соответствии с национальным проектом «Образование» доля детей в возрасте от 5 до 18 лет, охваченных дополнительным образованием должна возрасти с 71,5% в 2018 г до 80% в 2024 году.

Реализация проекта должна привести к следующим результатам:

1) В Свердловской области сформирована и функционирует эффективная система дополнительного образования детей, которая основана на:

- региональном модельном центре дополнительного образования детей, включающем в себя модули детского технопарка «Кванториум», центре по выявлению и поддержке одаренных детей и муниципальных (опорных) центрах дополнительного образования.

2) Создан и функционирует Фонд поддержки талантливых детей и молодежи «Уральский образовательный центр «Золотое сечение».

3) Сформированы и функционируют региональный и муниципальный компоненты федерального навигатора по дополнительным общеразвивающим программам.

В 2018 г пилотные детские технопарки «Кванториум» открыты на трех площадках в Екатеринбурге и Первоуральске. Создание детских технопарков будет способствовать развитию инженерных профессии в регионе, а значит и реального сектора экономики. В перспективе планируется открытие новых детских технопарков с таким расчетом, чтобы один «Кванториум» мог охватить до 50 тысяч школьников.

В соответствии с Указом Губернатора Свердловской области в 2017 г. создан Фонд поддержки талантливых детей и молодежи «Уральский образовательный центр «Золотое сечение». Прделана большая работа по организации и развитию системы выявления и сопровождения детей и молодежи, проявивших выдающиеся способности. Предполагается, что до 2024 года на образовательных сменах пройдут обучение более 14 тыс. детей и молодежи. Образовательный центр осуществляет деятельность по образовательным программам разного уровня в области искусств, спорта, науки, а также научно-художественных промыслов и ремесел с учетом региональной специфики. Обучение детей осуществляется по методу проектной деятельности, в которой участники проходят полный жизненный цикл проекта.

Наиболее важными шагами в этом направлении являются: разработка концепции областной программы, направленной на создание системы работы с талантливыми детьми и молодежью Свердловской области, развитие сотрудничества Фонда с предприятиями и организациями Свердловской области, в том числе, с предприятиями, входящими в крупные холдинги и корпорации: Росатом, Роскосмос, Алмаз-Антей, Ростех.

Таким образом, чтобы сохранять высокий уровень конкурентоспособности Свердловской области на фоне других российских регионов и делать ставку на развитие высоких технологий, необходимо уделять особое внимание инвестициям в человеческий капитал, развитию социальной инфраструктуры в части дополнительного образования детей, поддержке талантливых детей и молодежи.

Список литературы

1. Капелюшников, Р. И. Сколько стоит человеческий капитал России?: М. : Изд. Дом Высшей школы экономики, 2012. – 76 с.
2. Дятлов С.А. Основы теории человеческого капитала. СПб., 1994.
3. Анимица, Е. Г., Власова Н.Ю. Человеческий фактор в развитии крупнейших городов //Управленец. – 2010. – №. 7-8. –С.13-16.
4. Хафизова Г.С., Креативная экономика. – 2012. – №1. – С.73
5. Хромов Н.И. Генезис концепции человеческого капитала // Управленец. – 2015. – №3. – С.10-13.
6. Гусманов, Р.У., Стомба Е.В., Стомба А.В. Современная молодежь как стратегический ресурс развития сельских территорий региона (на примере Республики Башкортостан) // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – № 4 (48). – С. 296-303.2.
7. Becker, G. S. Human capital: theoretical and empirical analysis, with special reference to education. N.Y., 1964
8. Thurow L. Investment in Human Capital. Belmont, 1970.
9. Bowen H.R. Investment in Learning. San Francisco, 1978.

УДК 332.821

ЖИЛИЩНАЯ ПОЛИТИКА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

HOUSING POLICY IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN: PROBLEMS AND PROSPECTS

Аршкенова А. М.

ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, г.Екатеринбург, Россия

aika.krgd@mail.ru

Arshkenova A. M.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Аннотация: Решение жилищной проблемы многие годы остается одной из ключевых задач государственной политики Казахстана. Жилье в рыночной экономике является наиболее представительным индикатором роста, отражающим динамику развития различных секторов экономики, и уверенность населения в своем будущем, страны в целом.

Нестабильность в экономике и снижение покупательной способности приводят к тому, что все меньше казахстанцев могут позволить себе покупку квартиры, рассчитывая исключительно на собственные силы. Реализация

государственных жилищных программ дает возможность обеспечить большое количество семей из числа незащищённых слоев населения доступным жильем.

Ключевые слова: Жилищная политика, ипотечное кредитование, доступное жилье, «Нұрлы жер», «Бакытты отбасы», государственная жилищная программа

Resume: The solution of the housing problem for many years remains one of the key tasks of the state policy of Kazakhstan. Housing in a market economy is the most representative growth indicator, reflecting the development dynamics of various sectors of the economy, and the confidence of the population in their future, the country as a whole. Instability in the economy and a decrease in purchasing power lead to the fact that less and less Kazakhstanis can afford to buy an apartment, relying solely on their own strengths. Implementation of state housing programs makes it possible to provide a large number of vulnerable families with affordable housing.

Key words: housing policy, mortgage lending, affordable housing, “Nurly Zher”, “Bakytty Otbasy”, state housing program.

Без решения таких важнейших социально-экономических задач, как повышение доступности жилья для населения, увеличение доли собственников жилья, невозможна стабилизация общества. Чтобы решить эти задачи, необходимо сформировать рыночную систему жилищного финансирования, которая позволит удовлетворять платежеспособный спрос населения на жилье.

Еще нигде и никогда, ни в одной стране жилищная проблема не была решена без использования ипотеки. Во многих странах мира приобретение жилья в кредит является не только основной формой решения жилищной проблемы, но и сферой экономической деятельности, ключевую роль в которой играют банковские и другие кредитные структуры. При правильной организации ипотека - мощный антиинфляционный механизм, препятствующий росту цен на потребительском рынке; за счет развития этого сегмента экономики происходит расширение возможностей строительства, увеличение выпуска строительных материалов и активное развитие других смежных секторов экономики [2].

Решение жилищной проблемы многие годы остается одной из ключевых задач государственной политики Казахстана. Жилье в рыночной экономике является наиболее представительным индикатором роста, отражающим динамику развития различных секторов экономики, и уверенность населения в своем будущем, страны в целом.

Данная тема является особенно актуальной, так как основными направлениями долгосрочного финансирования жилищного строительства, принятыми в мире, являются системы ипотечного кредитования. Поэтому и для Казахстана формирование систем ипотечного кредитования является одним из приоритетных направлений жилищной политики.

В 2017 году в Казахстане стартовал первый этап реализации новой масштабной жилищной государственной программы «Нұрлы жер». Главные ее

задачи - обеспечение населения доступным жильем, стимулирование жилищного строительства и оживление рынка ипотечного кредитования. Программа предусматривает множество направлений, но самое популярное и востребованное среди них - кредитное жилье через систему жилстройсбережений, где первоначальный взнос от 30%, а ставка кредитования - 5% годовых [3].

С 2018 года в Казахстане начала реализовываться новая жилищная программа «7-20-25», разработанная в рамках реализации задач первой инициативы «Новые возможности приобретения жилья для каждой семьи», озвученной в Обращении действующего в то время Президента Республики Казахстан, Елбасы Нурсултана Абишевича Назарбаева к народу «Пять социальных инициатив Президента».

Нестабильность в экономике и снижение покупательной способности приводят к тому, что все меньше казахстанцев могут позволить себе покупку квартиры, рассчитывая исключительно на собственные силы.

Эта социальная программа предоставляет новые возможности улучшения жилищных условий для казахстанцев, рассчитанная исключительно на первичный рынок от застройщика, которого участник программы выбирает сам.

Программа «7-20-25» на данный момент является самой выгодной ипотечной программой с низкой процентной ставкой вознаграждения по займу – 7%, размер первоначального взноса определен в размере 20% от стоимости жилья (максимальная стоимость жилья - 25 млн тенге для Астаны, Алматы, Актау, Атырау, Шымкент и 15 млн тенге для других регионов), срок погашения займа увеличен до 25 лет. В таблице 1 показан примерный расчет стоимости квартиры по данной государственной программе.

Таблица 1 - Расчет стоимости квартиры по программе «7-20-25»

№	Показатель	Сумма
1	Стоимость квартиры	10 000 000 тг
2	Первоначальный взнос	2 000 000 тг
3	Срок займа	25 лет
4	Процентная ставка	7%
5	Ежемесячный платеж	57 000 тг
6	Комиссии	0 тг
Составлено на основе данных сайта kn.kz, URL https://www.kn.kz/article/8447/		

Однако желающие приобрести жильё по низкой процентной ставке столкнулись с дефицитом квартир, подпадающих под требования программы. По большей части застройщики строят улучшенные квартиры с большой площадью, стоимость которых превышает фиксированную сумму в 25 млн тенге. Также нехватка связана с тем, что жильё раскупается на этапе строительства на правах долевого участия.

«Главная проблема – это доходы населения, от которых зависит потребительский спрос на недвижимость. Если доходы малы, то программы не

помогут. В Алматы, Нур-Султане, Шымкенте, Актау и Атырау сейчас ощущается дефицит нового жилья. Все квартиры IV категории или эконом-класса, как подпадающие под стоимость до 25 млн тенге, уже реализованы» – заявил президент Казахской федерации недвижимости Ермек Мусрепов [4].

По сути, в крупных городах, таких как Алматы и Нур-Султан, квартир по этой программе практически не осталось. А если и есть, то в отдалённых районах на окраинах города. В регионах тоже проблемы с квартирами, отвечающими условиям программы кредитования «7-20-25».

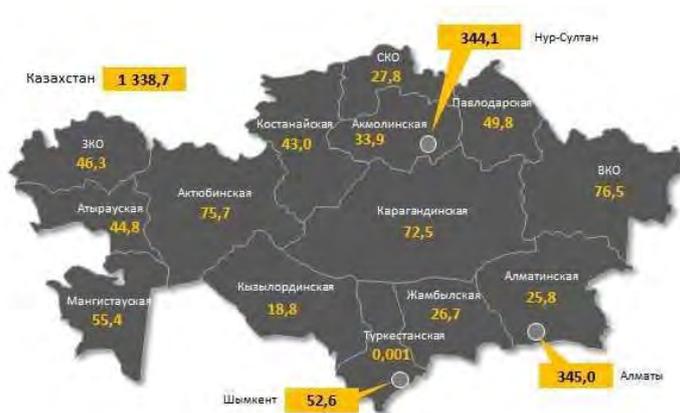


Рисунок 1 - Ипотечные кредиты в разрезе регионов Республики Казахстан (по состоянию на февраль 2019г.)

Наибольший объём выданных займов по программе кредитования «7-20-25» сконцентрирован в следующих городах и регионах:

- Алматы – 345 млрд тенге (плюс 15,3%);
- Нур-Султан – 344,1 млрд тенге (плюс 30,8%);
- Восточно-Казахстанская область – 76,5 млрд тенге (плюс 16,7%).

На эти регионы приходится 57,2% (765,6 млрд тенге) всех выданных ипотечных займов. Также наибольший прирост объёма займов за год наблюдается в Алматинской области - 47,8% (25,8 млрд тенге).

Стоимость первичного жилья растёт из-за роста цен на стройматериалы. По данным компании «VI Group», цена квадратного метра нового жилья эконом-класса тоже ежегодно растёт:

- в 2017 году – 256 тысяч тенге;
- в 2018 году – 269 тысяч тенге;
- в 2019 году – 280 тысяч тенге.

Цена новой квартиры на 70% состоит из себестоимости строительных материалов. Цены на капиталоемкие материалы постоянно повышаются. Особенно это заметно весной, когда начинается строительный сезон. В январе 2019 года цена на арматуру (занимает наибольшую долю в строительстве жилых домов) повысилась на 16% и составила 190 000 тенге за тонну. Основные же производители арматуры находятся в России, что также отражается на цене продукта, привезённого в Казахстан.

На цену строительных материалов также сильно влияют курсы доллара и рубля, железнодорожные тарифы и цены на ГСМ. Эти проблемы можно решить только усилением конкуренции на отечественном рынке стройматериалов, когда каждый завод, каждый дилер будет бороться за клиента, предоставляя качественный продукт по лучшей цене.

Также в основном из России завозятся утеплители и минплиты, которые с апреля подорожали на 15%. Повышение цен на цемент влечёт за собой увеличение стоимости бетона, газоблоков, железобетонных изделий (свай, плит перекрытия и т. д.). Если в 2017 году цемент стоил 11 000 тенге за тонну, то в этом году - 22 000 тысячи.

Ввиду специфичности производства, большинство кирпичных заводов в Казахстане работают только летом. Поэтому весной из-за дефицита повышаются цены. В 2019 году цена кирпича выросла с 50 до 86 тенге за штуку. Подстраиваясь под рыночную конъюнктуру, заводы, работающие круглый год, также повышают цены.

Исходя из вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что на данном этапе на рынке жилья в Республике Казахстан имеются проблемы с обеспечением объектов по реализации государственных жилищных программ.

Так как программа «7-20-25» имеет ограничения по сумме кредитования, а застройщики, в свою очередь, с целью получения прибыли, в основном строят объекты по ценам выше указанных в программах кредитования, создается нехватка жилья для обеспечения данной программы, рассчитанной исключительно на первичный рынок жилья.

Популяризация государственных жилищных программ влияет на рост цен. Надеясь на ажиотаж, продавцы вторичной недвижимости повысили цены на 10%-15%. При этом не учитывается, что не выросли доходы населения.

С 2019 года запущена программа кредитования семей с невысоким доходом для приобретения жилья «Бақытты отбасы». Преимуществами данной программы является то что, участник данной программы может приобрести недвижимость не только на первичном, но и на вторичном рынке. Но здесь также существуют ограничения по сумме займа – 15 млн. тенге, так как программа рассчитана на малообеспеченные и многодетные семьи [5].

На основании вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

- удорожание цен на строительные материалы непосредственно влияют на повышение цен за квадратный метр жилья на первичном рынке. государственные программы не способны обеспечить потребности населения в жилье, вследствие высоких цен на недвижимость.

- нестабильность в экономике, а вследствие этого, низкая покупательная способность населения влекут за собой повышение спроса на дешевую недвижимость.

- с появлением новой государственной программы «Бақытты отбасы» население имеет возможность приобретать квартиры не только на первичном, но и на вторичном рынке жилья, что существенно облегчает ситуацию. Но существуют ограничения по суммам займа, а также займы по этой программе

выдаются только определенным категориям (многодетные семьи, неполные семьи и семьи, воспитывающие детей-инвалидов).

-основные пути решения жилищной проблемы:

-снижение тарифов на жилищно-коммунальные услуги;

-повышение доступности жилья для широких слоев населения (создание благоприятных условий для развития рынка жилья и жилищных услуг по эксплуатации жилищного фонда и т.д.);

-повышение качества эксплуатации жилищного фонда (существенное улучшение содержания и ремонта жилищного фонда, экономия энергетических ресурсов и т.д.);

-совершенствование системы обеспечения жильем социально незащищенных категорий населения (разработка эффективных систем целевой поддержки социально незащищенных групп населения, предоставление бесплатного жилья или на льготных условиях и т.д.) [6, 7].

Список литературы

1. Основы ипотечного кредитования / под ред. Н.Б. Косаревой. — М.: Фонд «Институт экономики города», 2006. — с 15-16.

2. Ипотечное кредитование: теория и практика/Под общ.ред. В. Н. Киданова. — М.: Издательский дом «Финансы и Кредит», 2007. — 168 с.

3. «Перспективы развития рынка жилой недвижимости в Республике Казахстан» Аршкенова А.М. В сборнике: Российские регионы в фокусе перемен сборник докладов XII Международной конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Высшая школа экономики и менеджмента. Екатеринбург, 2018. С. 656-661.

4. Цены на жильё: как изменился рынок недвижимости и что с ним будет в 2019 году? [Электронный ресурс] - URL <https://informburo.kz/cards/ceny-na-zhilyo-kak-izmenilsya-rynok-nedvizhimosti-i-что-s-nim-budet-v-2019-godu.html> (Дата обращения - 04.09.2019г.)

5. Гимазетдинова Э. Я., Владимиров И. А. Жилищная проблема и пути ее решения в современных условиях [Текст] // Актуальные вопросы экономики и управления: материалы Междунар. науч. конф. (г. Москва, апрель 2011 г.). Т. I. - М.: РИОР, 2011. - С. 57-59. - URL <https://moluch.ru/conf/econ/archive/9/455/> (дата обращения: 17.09.2019).

6. Тургель И. Д., Придвижкин С. В. Рынок недвижимости как сложная пространственная система: теория и методология анализа // Региональная экономика: теория и практика. — 2006. — №. 6.

7. Тургель И. Д., Придвижкин С. В. Система государственного финансирования жилищного строительства: проблемы становления и перспективы развития // Финансы и кредит. — 2006. — №. 18 (222).

УДК 332.122.66

**БЕНЧМАРКИНГ СОЦИАЛЬНО-ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ
КОРПОРАЦИИ КАЗАХСТАНА С ЗАРУБЕЖНЫМИ РЕГИОНАЛЬНЫМИ
ИНСТИТУТАМИ РАЗВИТИЯ**

**BENCHMARKING OF SOCIAL AND ENTERPRISE CORPORATIONS OF
KAZAKHSTAN WITH FOREIGN REGIONAL DEVELOPMENT
INSTITUTIONS**

Талимова Г.У.

*ФГАОУ ВО Уральский федеральный университет им. Первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г.Екатеринбург, Россия*

Ms.talimova@mail.ru

Talimova G.U.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Ural Federal
University named after First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia*

Аннотация: В статье рассмотрен мировой опыт создания и функционирования региональных институтов развития, на основе которого были определены три основные модели их организации. На основе анализа зарубежного опыта проведен соответствующий бенчмаркинг по основным направлениям и параметрам организации агентств регионального развития. Установлено, что казахстанская модель социально-предпринимательских корпораций из-за непоследовательной политики правительства не превратилась в полноценный институт регионального развития.

Ключевые слова: государственно-частное партнерство, социально-предпринимательские корпорации, региональные институты развития.

Abstract: The article considers the world experience of creation and functioning of regional development institutions, on the basis of which three main models of their organization were identified. On the basis of the analysis of foreign experience the corresponding benchmarking on the main directions and parameters of the organization of regional development agencies is carried out. It is established that the Kazakh model of social and entrepreneurial corporations due to inconsistent government policy has not become a full-fledged institution of regional development.

Key words: public-private partnership, social-entrepreneurial corporations, regional development institutions.

Развитие государственно-частного партнерства в постсоветском пространстве, в первую очередь, связано со становлением институциональной базы и соответствующих механизмов, уже апробированных в современной мировой практике. В качестве специализированного института развития государственно-частного партнерства в условиях Казахстана рассматривается

деятельность социально-предпринимательских корпорации (СПК), созданных в 2006 году. Исходя из названия, данные организации отдельные исследователи относят к институтам социального предпринимательства [1], что в целом не полностью соответствуют цели их создания и функционирования. В зависимости от цели и задач социально-предпринимательских корпорации их принято относить региональным институтам развития. Основная миссия всех СПК в Казахстане выступать в качестве операторов и координаторов всех значимых проектов регионов, а полученные доходы с реализации данных проектов направлять на финансирование социальных проектов региона. Исходя из этого, хотя и в названии СПК «социальный» стоит в начале, данная задача может быть реализована только при получении устойчивых доходов от основной деятельности, по развитию деловой и инвестиционной среды конкретного региона функционирования.

Поэтому рассматривая мировой опыт развития социально-предпринимательских корпораций, следует обратить внимание в первую очередь Агентствам регионального развития, функционировавшим в Великобритании до 2012г. Данные Агентства выступали связующим звеном между центральным правительством страны, региональными и местными властями, бизнесом и общественностью.

Агентства регионального развития (АРР) в Великобритании представляют собой вневедомственные общественные органы, созданные в основном для экономического развития определенных регионов страны. Кроме того, АРР выполняют международную интеграционную функцию, переложив на себя ответственность правительственных структур по администрированию фондами регионального развития Евросоюза. Для каждого из 9 регионов Великобритании существует один АРР [2-4].

АРР были созданы специальным Актом в 1998 году и с этого момента их полномочия неуклонно расширялись. Однако в 2010 г. Правительство Великобритании объявило о своих планах по отмене АРР к 2012 г. С этого года все АРР были заменены на местные бизнес-партнерства (МБП). Фактически это было вызвано стремлением к экономии бюджетных средств Объединенного Королевства. Тем не менее, данный факт говорит о многом: сама форма АРР не идеальна и не статична, а подвергается развитию и пересмотру [5].

Между тем эффективность АРР была довольно высока, о чем, в частности, свидетельствует величина мультипликатора инвестиций этих структур. Так, исследование специалистов компании «PriceWaterhouseCoopers», проведенное в 2009 году, показало, что британские АРР генерировали 4,5 фунта стерлингов для местной экономики с каждого фунта государственных расходов. Эта величина возрастает до 6,4 фунтов стерлингов при включении в расчеты будущих доходов. Такая цифра всеми признается как самый высший уровень отдачи от инвестиций общественного сектора экономики.

В Канаде созданы довольно мощные агентства регионального развития. Их насчитывается четыре: «Atlantic Canada Opportunities Agency», «Federal Economic Development Initiative for Northern Ontario», «Western Economic

Diversification Canada « и «The Economic Development Agency of Canada for the Regions of Quebec» [6].

Данное агентство является федеральным органом, который несет ответственность за содействие экономическому росту в Квебеке путем поощрения малых и средних предприятий.

Региональное развитие Австралии (РРА) (Regional Development Australian) является австралийской правительственной инициативой, которая объединяет все уровни власти для поддержки роста и развития регионов страны. РРА представляет собой национальную сеть из 55 комитетов, которые строят партнерские отношения между правительствами, региональными организациями развития, местным бизнесом и общественными группами [7]. Фактически именно в такой сетевой форме организован в Австралии институт Агентства регионального развития, хотя формально понятие агентства как таковое в стране не используется [8].

В России пока не сложился полноценный институт регионального развития в форме многофункциональных специализированных агентств [9, 10]. Тем не менее, некоторые первые примеры подобного механизма уже есть. К числу таковых относится система регионального развития, построенная в Калужской области.

В данном регионе создана система региональных институтов развития, которые помогают партнерам области реализовывать проекты максимально быстро и комфортно. В том числе:

– ГАУ КО «Агентство регионального развития Калужской области» – является государственным консультантом, занимается созданием максимально комфортной бизнес-среды для привлечения инвестиций в регион;

– ОАО «Корпорация развития Калужской области» – государственный оператор по созданию и развитию индустриальных парков и инженерной инфраструктуры;

– ОАО «Агентство инновационного развития – центр кластерного развития Калужской области» – государственный оператор по развитию инновационного и высокотехнологичного сектора экономики.

– Агентство развития АПК – государственный оператор по сопровождению проектов в агропромышленном комплексе Калужской области.

– ООО «Индустриальная логистика» – государственный оператор по реализации логистических проектов на территории области [11];

Анализ зарубежного опыта показывает, что имеет смысл говорить об основных трех моделях организации региональных институтов развития:

1. в форме агентства с сильным централизованным началом (Канада, Австралия);

2. в форме агентства с доминированием децентрализованных механизмов (Великобритания до 2012г., Россия);

3. в форме государственных корпораций и бизнес-партнерств (Казахстан, Великобритания после 2012 г.).

Сказать что-либо о преимуществах той или иной модели по отношению к другим нельзя. Следует отметить и эволюционную связь между тремя моделями. Как правило, при удачном развитии централизованной формы агентства регионального развития степень участия Центра постепенно понижается, а роль местных сообществ, наоборот, повышается. На последней стадии своего развития агентства перерождаются в государственные корпорации. Это связано с ростом эффективности работы агентства, когда финансовые транши центрального и регионального правительства могут уже быть не безвозмездными и убыточными, а капитализироваться, принимая форму доли в бизнесе с соответствующим доходом от него. Тем самым финансовая помощь правительства трансформируется в инвестиционное сотрудничество с частным бизнесом в форме коммерчески успешных проектов, т.е. в государственно-частное партнерство. Кроме того, со временем видоизменяются функции АРР в сторону доминирования более специализированных и узких целей и задач [12].

На основе бенчмаркинга зарубежного опыта определено, что существует определенная эволюционная связь между моделями организации институтов регионального развития. Как правило, при удачном развитии централизованной формы агентства регионального развития степень участия Центра постепенно понижается, а роль местных сообществ, наоборот, повышается. На последней стадии своего развития агентства перерождаются в государственные корпорации. Это связано с ростом эффективности работы агентства, когда финансовые транши центрального и регионального правительства могут уже быть не безвозмездными и убыточными, а капитализироваться, принимая форму доли в бизнесе с соответствующим доходом от него. Тем самым финансовая помощь правительства трансформируется в инвестиционное сотрудничество с частным бизнесом в форме коммерчески успешных проектов, т.е. в государственно-частное партнерство. Кроме того, со временем видоизменяются функции АРР в сторону доминирования более специализированных и узких целей и задач.

В казахстанских условиях был сразу принят формат государственной корпорации, в надежде на мгновенную доходность и результативность СПК, и на перспективы становления ее как значительного аккумулятора социальных инвестиций в регионе. Но не прохождение всей эволюционной цепочки от регионального оператора до самостоятельной государственной корпорации, подкрепленный только проектным финансированием, привел к низкой результативности их деятельности. Все это хорошо объясняет текущее положение СПК в Казахстане как регионального оператора, а не как инвестора, как предполагалось в начале их создания.

На основе краткого анализа зарубежного опыта нами проведен соответствующий бенчмарк по основным направлениям и параметрам организации агентств регионального развития (Таблица 1).

Таблица 1 – Бенчмаркинг основных направлений деятельности социально-предпринимательских корпорации Казахстана с зарубежными региональными институтами развития

Параметры сравнения	Агентства с сильным централизованным началом (Канада, Австралия)	Агентства с доминированием децентрализованных механизмов (Великобритания до 2012г.)	Узкоспециализированные агентства с доминированием региональных механизмов (Россия)	Государственные корпораций (АО «НК «СПК «Сарыарка»)
Формы организации	Многофункциональные специализированные агентства с преимущественным подчинением центральным органам власти	Многофункциональные специализированные агентства с преимущественным подчинением региональным органам власти	Узкоспециализированные сервисные и инфраструктурные государственные организации с преимущественным подчинением региональным органам власти	Корпорации с государственным участием (Национальная компания) с преимущественным подчинением региональным органам власти
Особенности финансирования	Основные каналы финансирования: партнерские соглашения, прямые договора, национальные соглашения и законодательное регулирование.	АРР финансировались за счет средств шести департаментов центрального правительства страны, через Общий фонд.	Поддержка необходимых проектов для региона осуществляется через региональные субсидии, и целевое привлечение средств федеральных программ, а также привлечение средств финансово-банковских структур под гарантии регионального правительства.	В первую очередь, через пополнение Уставного капитала корпорации по иницилируемым и реализуемым инвестиционным или инфраструктурным проектам, а также через передачу активов региональной администрации и в сфере недропользования
Формы управления и принятия стратегических решений	Агентство регионального развития Канады EDACRQ имеет своего собственного руководителя – регионального	Каждой АРР возглавляет <i>председатель</i> и <i>Совет</i> , состоящий из 15 человек, которые назначаются руководителями	АРРКО является лишь одним из элементов системы развития региона и занимается преимущественно организацией	Корпоративная форма управления, где 100%-ым учредителем выступает региональная администрация. В

	министра EDACRQ.	Департаментов (министрами).	переговоров, формированием предложений инвесторам и сопровождением инвестиционных проектов.	совете директоров представлены независимые директора, представляющие бизнес-сообщество, но принятие решений в основном осуществляется в интересах региональной администрации.
Формы подотчетности	Агентство EDACRQ основывает свою деятельность на <i>трехлетних планах развития</i> .	Цели и направления работы АРР изложены в <i>региональной экономической стратегии (РЭС)</i> , которая принимается и поддерживается каждым АРР.	АРР России, созданные как сервисные и инфраструктурные государственные организации, подотчетны курирующим региональным Министерством.	СПК подотчетны региональной администрации и курирующим национальным Министерством по направлениям освоения средств.
Мониторинг результативности	Наряду с другими мероприятиями в планах фигурирует график внутреннего аудита каждого элемента осуществляемых программ, вплоть до аудита целостности программной информации и высокорискованных соглашений. При этом отчетность	С 2006 г. все АРР подвергаются проверке Национальным аудиторским управлением на предмет организационной эффективности в смысле соответствия их деятельности самим региональным стратегиям и стратегии центрального правительства.	Как таковые корпоративные стратегии не представлены, но индикаторы КРІ по основным направлениям деятельности установлены, и постоянно мониторятся. Кроме этого, по своим направлениям деятельности АРР России, отвечают за достижение региональных индикаторов.	Мониторинг результативности СПК осуществляется через годовой отчет по выполнению стратегии и достижению стратегических индикаторов. За достижение региональных индикаторов СПК отвечает опосредованно.
Перспективы трансформации	Для канадских АРР характерен невысокий мультипликатор инвестиций и относительно бюрократизированные процедуры	В последнее время правительство страны подтверждает позицию, согласно которой ведущую роль в	Опыт показывает, что российские АРР пока не могут функционировать без помощи центра. В этих целях создаются	Формат организации СПК в качестве корпорации, управляющей активами региона, инвестирующей средства

	отбора и инвестирования проектов, что обуславливает необходимость трансформации формы взаимоотношений в рамках государственно-частного партнерства и внедрения более результативных вариантов инвестирования региональных проектов.	местном экономическом развитии будут играть мэрии – в тесном сотрудничестве с частным сектором.	федеральные институты развития. К их числу относится Внешэкономбанк (ВЭБ). Эксперты сходятся во мнении, что именно ВЭБ стал наиболее эффективным средством доставки финансовых ресурсов до региональных реципиентов.	государства и реинвестирующей полученные средства в социальную сферу региона, считается конечным итогом эволюции региональных институтов развития.
--	---	---	--	--

В целом, на основе бенчмаркинга нами установлено, что формат организации СПК в качестве корпорации, управляющей активами региона, инвестирующей средства государства и реинвестирующей полученные средства в социальную сферу региона, считается конечным итогом эволюции региональных институтов развития. Но в условиях постоянно реформируемой экономики, когда механизмы государственно-частного партнерства еще не сформированы в полноценном формате, это накладывает множество ограничений, и по финансированию, и по управлению, что привело к низким результатам их функционирования. Исходя из этого и рассмотренного зарубежного опыта, предлагается эволюционно пройти путь от узкоспециализированных сервисных государственных организации до корпорации, что предполагает отказ от корпоративной формы в пользу регионального Агентства или Центра развития с четко обозначенным функционалом.

Список литературы:

1. Sansyzbayeva, G. N., Alakhunova, T. (2015). The role of social-entrepreneurial corporations in implementation of social projects in the Republic of Kazakhstan. International scientific and practical conference «Advanced research», Bulgaria. Retrieved from http://www.rusnauka.com/7_PNI_2015/Economics/15_188904.doc.htm
2. Официальный сайт региональных агентств развития (Англия) (<http://www.englandsrdas.com/>).
3. Regional development agency (http://en.wikipedia.org/wiki/Regional_development_agency).
4. Regional development agencies ([http://www.politics.co.uk/briefings-guides/issue-briefs/communities-and-local-government/regional-development-agencies-\\$366565.htm](http://www.politics.co.uk/briefings-guides/issue-briefs/communities-and-local-government/regional-development-agencies-$366565.htm)).

5. Halkier, H. (2012) 'Regional Development Agencies, Regional Policy and Knowledge Dynamics', in Bellini, N., Danson, M. & Halkier, H. (Eds.) *Regional Development Agencies: The Next Generation*. Abingdon, Routledge
6. Официальный сайт The Economic Development Agency of Canada for the Regions of Quebec (Canada) (<http://www.dec-ced.gc.ca/eng/index.html>).
7. Официальный сайт The Economic Development Agency of Canada for the Regions of Quebec (Canada) (<http://www.dec-ced.gc.ca/eng/publications/agency/rpp/2009/126/index.html>).
8. Sharine Barth, Jo Barraket, Belinda Luke & Juliana McLaughlin. Acquaintance or partner? Social economy organizations, institutional logics and regional development in Australia. *Entrepreneurship & Regional Development* Volume 27, 2015 - Issue 3-4 Pages 219-254 <https://doi.org/10.1080/08985626.2015.103045>.
9. Tatarkin A.I., Kotlyarova S.N. (2013). Regional development institutions as an economic growth factors. *Economy of Region*. (3):18-26 DOI: 10.17059/2013-3-1
10. Vertakova, Yu., & Plotnikov, V., (2016). Innovative and industrial development: specifics of interrelation. *Economic Annals-XXI* Volume 156, Issue 1-2 pp. 37-40 DOI: <http://dx.doi.org/10.21003/ea.V156-0008>
11. Официальный сайт Агентства регионального развития Калужской области (Россия) (<http://arrko.ru/>).
12. Andrés Rodríguez-Pose (2013). Do Institutions Matter for Regional Development? *Regional Studies*, Vol. 47, No. 7, 1034–1047, <http://dx.doi.org/10.1080/00343404.2012.748978>

УДК 669.771

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО МЕТОДИКЕ TQM ANALYSIS OF PRODUCTION AND MANAGEMENT PROCESSES BY TQM METHOD

Гельманова З. С.¹, Хруслов С. А.², Турабаева М. Б.³, Подгурская Т. О.⁴

¹Карагандинский государственный индустриальный университет, Zoyakgiu@mail.ru; ²АО «АрселорМиттал Темиртау», sergey.khruslov@arselormittal.com; ³Карагандинский государственный индустриальный университет, m.turabaeva@mail.ru; ⁴Карагандинский государственный индустриальный университет, Silaeva.tanya@inbox.ru

Gelmanova Z. S.¹; Khruslov S. A.²; Turabayeva M. B.³; Podgurskaya T. O.⁴

¹Karagandy State Industrial University, ²ArcelorMittal Temirtau JSC³, Karaganda State Industrial University, ⁴Karaganda State Industrial University

Аннотация: Исследование проводилось по определению влияния качества системы управления на качество производственных процессов. В статье выявлены причины снижения качества выпускаемой продукции. Проведен анализ управленческих и производственных процессов на примере коксового цеха АО «АрселорМиттал Темиртау». Выявлены проблемы в управленческом процессе, в основном и во вспомогательном производственных процессах коксохимического производства предприятия. Рассмотрены этапы усовершенствования процесса, используя матрицу анализа процесса. Проведена оценка приоритетности устранения основных причин проблемы, на основе матрицы расчета приоритетности

Ключевые слова: процессы, проблемы, качество, TQM, цех.

Abstract: The study was conducted to determine the impact of the quality of the management system on the quality of production processes. The article reveals the reasons for the decline in the quality of products. The analysis of managerial and production processes is carried out on the example of the coke shop of ArcelorMittal Temirtau JSC. Identified problems in the management process, mainly in the auxiliary production processes of the coke-chemical production of the enterprise. The stages of process improvement using the process analysis matrix are considered. Priority assessment of eliminating the root causes of the problem is carried out, based on the priority calculation matrix.

Key words: processes, problems, quality, TQM, workshop.

Анализ управленческих и производственных процессов проведен на примере коксового цеха АО «АрселорМиттал Темиртау».

Для обеспечения полноты и достоверности информации, матрица была заполнена совместно с руководителями цеха. Совместное создание данной матрицы преследует и вторую не менее важную цель. Вовлечение руководителей в процесс описания и анализа системы управления предоставляет им возможность самостоятельно увидеть существующие проблемы и, таким образом, быстрее перейти к действиям по ее совершенствованию.

Расположив всю документацию, обеспечивающую управленческий процесс, стала очевидной основная проблема системы управления - отсутствие цели. Данная проблема представляется столь важной, так как на систему управления возложено обеспечение достижения цели. В случае отсутствия цели, деятельность управленческого корпуса лишена ориентира.

К сожалению, проблема отсутствия SMART целей характерна не только для данного предприятия. В.А. Лapidус относит ее к «основным самым тяжелым болезням ... менеджмента» [1].

Следующим недостатком явилось отсутствие планирования и отчетности на недельном уровне. Ежемесячная отчетность лишает руководителей высшего уровня оперативности в предприятии корректирующих действий, ежедневная отчетность является для данных руководителей излишне детализированной.

Важная роль исследования отводилась определению влияния качества системы управления на качество производственных процессов. Результаты расчетов предоставили возможность сделать вывод о большой важности недопущения простоев печей коксовой батареи (одна минута простоя в пересчете на год снижает объем выпуска кокса на 756 тонн), [2]. Однако, несмотря на то, что подобные простои в силу множества причин происходили, в существующую отчетность информация о них не попадала, что лишало руководителей возможности производить оперативный анализ первопричины каждого простоя и предприятия корректирующих действий, направленных на устранение этих первопричин.

Итак, отсутствие одного из элементов контроля в системе управления приводило к снижению качества протекания производственных процессов, что, в свою очередь, являлось причиной снижения качества выпускаемой продукции.

Более того, анализ каждого из существующих элементов системы управления позволил выявить следующие проблемы: график планово-предупредительных ремонтов не соблюдается ни по срокам, ни по структуре работ; данный график не используется для составления графика ремонтных работ на неделю и на день, что негативно влияет на упорядоченность и качество ремонтных работ; отчет по выдаче печей не соответствует действительности, что ведет к сокрытию множества производственных проблем, что, в свою очередь, является причиной снижения объемов производства и снижению качества продукции.

Необходимо отметить важность сотрудничества с руководством подразделения и организации при создании новой системы управления, так как именно они будут использовать эту систему в своей повседневной работе, и их вовлечение в процесс разработки позволит преодолеть возможное сопротивление изменениям, а обучение, проводимое в течение процесса разработки, предоставит данным руководителям возможность более осознанно и профессионально использовать полученный управленческий инструментарий.

Вне зависимости от того, какие бы действия, направленные на повышение качества производственных или управленческих процессов в организации не предпринимались, всегда использовались семь шагов по усовершенствованию.

При рассмотрении усовершенствования процесса разгрузки вагонов с поступающими на предприятие угольными концентратами, с целью повышения качества технологических процессов, появилась необходимость прохождения трех ступеней изменений (механическая, осмысления, использования) при внедрении принципов TQM.

При внедрении TQM, необходимо последовательно провести сотрудников предприятия через все три ступени изменений.

Первым этапом усовершенствования процесса является этап выявления и выбора проблемы с участием представителей руководства предприятия. В результате обсуждения выяснилось, что: основное производство - коксовая

батарея - зачастую, особенно в зимний период, испытывает нехватку шихты, что в первую очередь связано с неэффективной работой углеподготовительного цеха; одной из основных причин неэффективной работы углеподготовительного цеха является сверхнормативно продолжительная разгрузка вагонов на углеприемных ямах и плохая работа углеобогатительных фабрик; высокая зольность угля, получаемого от Угольного Департамента АО «АрселорМиттал Темиртау»; в зимнее время существует проблема намерзания угольного концентрата на дно и стенки вагонов.

Таким образом, в качестве проблемы определена чрезмерно длительная продолжительность разгрузки вагонов с угольным концентратом на углеприемных ямах. Для поиска возможностей решения данной задачи, необходимо изучение процесса разгрузки вагонов. Таким образом, можно перейти ко второму этапу усовершенствования - сбору и анализу информации.

Процесс разгрузки вагонов является циклическим. В укрупненном виде этот процесс состоит из следующих этапов:

1. Постановка вагонов на углеприемы (рисунок 1).
2. Разгрузка вагона №1 в углеприем №1 (рисунок 2а).
3. Разгрузка вагона №2 в углеприемную яму №2 (рисунок 2б).
4. Поступление угольного концентрата по транспортеру в хранилище.

На данном этапе детально проанализирован каждый этап процесса с целью выявления слабых его сторон. Поэтому исследовано каждое действие с целью определения: необходимости данного действия вообще; необходимости выделения именно такого объема ресурсов; необходимости выполнения операций именно в такой последовательности.

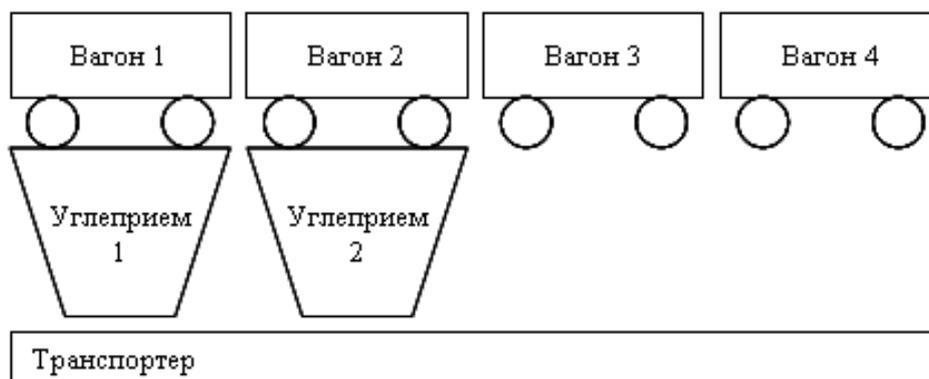


Рисунок 1 - Постановка вагонов на углеприемы



Рисунок 2 - Разгрузка вагонов №1 и 2 в углеприемные ямы №1 и 2

Рассмотрим каждый этап, используя матрицу анализа процесса (таблица 1)

Таблица 1 - Матрица анализа процесса №1

Этап №	1
Название этапа	Постановка вагонов 1 и 2 над углеприемами
На входе	Вагоны с угольным концентратом
Задействованный персонал	Машинист локомотива -1, помощник машиниста - 1, составитель - 1
Задействованное оборудование	Локомотив
Продолжительность	2 мин.
Результат	Вагоны 1 и 2 установлены над углеприемами 1 и 2 соответственно

Данный этап не вызвал вопросов - после проведения многократных наблюдений, следует вывод о его целесообразности и эффективности.

После того как вагоны с углем установлены над углеприемными ямами, сотрудники цеха приступают ко второму этапу процесса разгрузки угля – открытию люков вагона №1 (таблица 3) [2].

Во время проведения наблюдений выяснилось, что запорная арматура люков на некоторых вагонах заварена, что увеличивает продолжительность разгрузки вагона.

Таблица 2 - Матрица анализа процесса №2

Этап №	2
Название этапа	Открытие люков вагона №1
На входе	Вагоны с угольным концентратом с закрытыми люками
Задействованный персонал	Грузчики - 6
Задействованное оборудование	Кувалды – 6, ломы - 2
Продолжительность	2-5 минут
Результат	Вагоны с угольным концентратом с открытыми люками

На следующих этапах одновременно задействованы и грузчики и оператор буровой машины (БРМ). Сразу после открытия люков, оператор осуществляет бурение угольного концентрата в вагоне (таблица 3), после чего при помощи вибратора обеспечивается ускорение схода угольного концентрата (таблица 4). Параллельно с этим грузчики разбивают крупные куски смерзшегося угля для его свободного схода в углеприем (таблица 5) [2].

Таблица 3 - Матрица анализа процесса №3а

Этап №	3а
Название этапа	Бурение угольного концентрата в вагоне №1
На входе	Смерзшийся угольным концентратом в вагонах
Задействованный персонал	Оператор БРМ
Задействованное оборудование	БРМ

Продолжительность	7-20 минут (в зависимости от уровня содержания влаги в угольном концентрате и степени его мерзлости)
Результат	Частично раздробленные куски угольного концентрата

Во время наблюдения за этим этапом процесса была зафиксирована остановка БРМ из-за поломки детали. По итогам обсуждения этой проблемы с мастером выяснилось, что данные поломки происходят достаточно часто - от одного до пяти раз в смену - и влекут за собой простои в среднем составляющие 10 минут. Мастер знал их основную причину - несовершенство конструкции этой детали. Более того, мастер предложил усовершенствования, повышающие прочность данной детали.

Во время проведения наблюдений работа вибромашины не вызвала никаких нареканий: вибратор работал без поломок, однако ожидаемый результат достигался не всегда. Это являлось следствием того, что благодаря высокому содержанию влаги и низким температурам (-25°C и ниже), угольный концентрат смерзлся, тем самым значительно понижая эффективность работы - снижая скорость разгрузки вагонов. В случае повышенной влажности угольного концентрата, возможно параллельное осуществление грузчиками шуровки ям (таблица 5) [69].

Таблица 3 - Матрица анализа процесса №3б

Этап №	3б
Название этапа	Работа вибратором
На входе	Куски угольного концентрата
Задействованный персонал	Оператор БРМ
Задействованное оборудование	БРМ
Продолжительность	3-10 минут
Результат	Ускорение схода частично раздробленных кусков угольного концентрата

Таблица 4 - Матрица анализа процесса №3в

Этап №	3в
Название этапа	Разбивание крупных кусков смерзшегося угля
На входе	Выпавшие из вагона крупные куски смерзшегося угля
Задействованный персонал	Грузчики - 6
Задействованное оборудование	Кувалды – 6, ломы - 2
Продолжительность	10-30 минут
Результат	Измельченный уголь, попавший на транспортер

Таблица 5 - Матрица анализа процесса №3г

Этап №	3г
Название этапа	Шуровка ям
На входе	Застрявший в углеприемной яме угольный концентрат
Задействованный персонал	Грузчики -2-4
Задействованное оборудование	Шуровки - 2-4
Продолжительность	3-10 минут
Результат	Уголь, попавший на транспортер

Шуровка ям является следствием повышенной влажности углей. В случае ее осуществления во время разгрузки вагона, скорость разгрузки снижается. Сравнив среднее время разгрузки одного вагона в летний и зимний периоды, установлено значительное различие: зимой в 5 раз дольше. Таким образом, была выявлена сезонность выполняемых работ. Установлено, что скорость схода угольного концентрата максимальна в случае если конусообразная поверхность углеприемной ямы «зачищена до металла», т.е. полностью очищена от налипшего угля (таблица 6) [2]. Однако углеприем не всегда содержится в требуемом состоянии, несмотря на то, что у грузчиков существуют значительные промежутки времени (1-2ч), когда разгрузка вагонов не ведется.

Таблица 6 - Матрица анализа процесса №4

Этап №	4
Название этапа	Зачистка вагона №1
На входе	Разгруженный от угля вагон
Задействованный персонал	Грузчики - 6
Задействованное оборудование	Лопата - 6
Продолжительность	4-5 минут
Результат	Чистый разгруженный от угля вагон

Наблюдения за четвертым этапом, позволяют сделать вывод, что в процессе зачистки вагона эффективно работают только 2-3 грузчика, остальным - не хватает вагонного и околорагонного пространства. Таким образом, оставшиеся 3-4 грузчика либо имитируют деятельность (зная, что в данный момент проводятся наблюдения), либо ничего не делают. То же самое происходило во время закрытия люков (таблица 7) [2].

Таблица 7 - Матрица анализа процесса №5

Этап №	5
Название этапа	Закрытие люков
На входе	Чистый разгруженный от угля вагон
Задействованный персонал	Грузчики - 6
Задействованное оборудование	Кувалда - 6
Продолжительность	2-5 минут
Результат	Чистый от угля вагон готовый к отправке с предприятия

Затем начинается работа со вторым вагоном и весь процесс повторяется (таблица 8) [2]. Этапы №№ 7а, 7б, 7в идентичны этапам №№ 3а, 3б, 3в. Соответственно, этапы №№ 8, 9 соответствуют этапам №№ 4 и 5. После этого цикл вновь повторяется, начиная с этапа №1.

Таблица 8 - Матрица анализа процесса №6

Этап №	6
Название этапа	Открытие люков вагона №2
Остальное как Этап №2	

Наблюдения за этапами 4, 5, 6, позволили отметить, что все это время (минимум 8 минут) оператор БРМ не выполняет никаких работ.

По окончании проведения наблюдений, их результаты были подвергнуты тщательному анализу, по итогам которого были выявлены следующие основные причины замедления процесса разгрузки вагонов с угольным концентратом на углеприемных ямах (рисунок 3): запорная арматура люков на некоторых вагонах заварена; остановки БРМ из-за поломки; поверхность углеприемной ямы не очищена полностью от налипшего угля; простой оборудования во время протекания этапов №№ 4-6; смерзшийся уголь (в зимний период).

Выявив основные проблемы, переходят к третьему этапу - анализу причин. Сначала проводится оценка приоритетности устранения каждой из основных причин проблемы. Для этого используется матрица определения приоритетности решения проблемы (таблица 9).

Несмотря на то, что смерзшийся в зимний период уголь составляет 77% от всех причин, решение этой проблемы не стало наиболее приоритетным. В первую очередь благодаря чрезвычайной сложности внедрения решения. Уголь во время транспортировки в железнодорожных вагонах смерзается из-за низкой температуры окружающей среды, оказать воздействие на которую не представляется возможным. Поэтому было принято решение об анализе простоя оборудования во время протекания этапов №№ 4-6, ввиду того, что данная причина была второй в графике Парето и имела максимальную приоритетность.

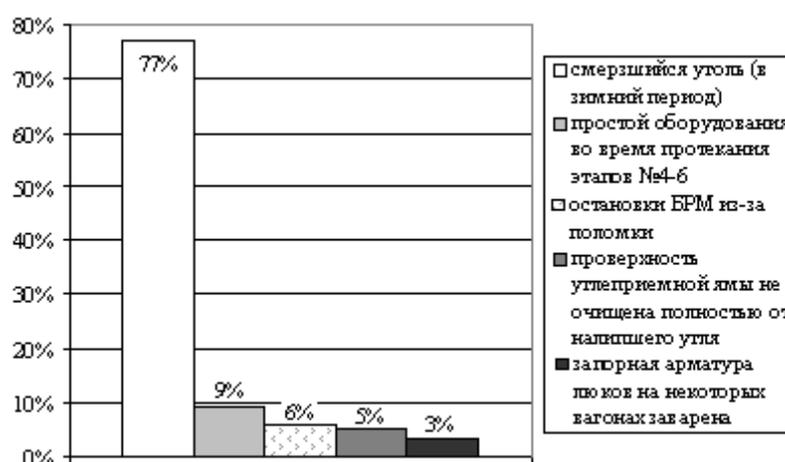


Рисунок 3 - Основные причины замедления процесса разгрузки вагонов с угольным концентратом на углеприемных ямах

Использование диаграммы Ишикавы для анализа данной причины не представлялось целесообразным, так как детальное описание и исследование процесса разгрузки вагонов, проведенное на предыдущем этапе, предоставило возможность выявить первопричину простоя оборудования. Данный процесс содержал в себе потери рабочего времени, в сумме составлявшие 30 человеко-

минут: 12 человеко-минут - «потери» грузчиков, 18 человеко-минут – оператор БРМ.

Таблица 9 - Матрица определения приоритетности решения проблемы

	Легкость сбора данных	Легкость потенциального внедрения	Срочность / влияние	Скорость решения	Приоритет
смерзшийся уголь (в зимний период)	3	1	3	1	8
простой оборудования во время протекания этапов № 4 -6	3	3	3	3	12
остановки БРМ из-за поломки	3	2	3	3	11
поверхность углеприемной ямы не очищена полностью от налипшего угля	3	3	3	3	12
запорная арматура люков на некоторых вагонах заварена	2	1	2	1	6

В рамках проактивного усовершенствования рассмотрен процесс из основного производства, т.е. проведен анализ процесса производства кокса.

Руководство предприятия установило, что производственная мощность оборудования (коксовая батарея - группа коксовых печей, работающих в едином технологическом режиме, объединенная общим фундаментом, устройствами для подвода отопительных газов и воздуха, отвода продуктов сгорания и коксования) коксового цеха не используется в полной мере. Это связано со следующими фактами: менеджмент организации не использовал не только проактивных, но и реактивных методик совершенствования производственного процесса. Таким образом, совершен переход ко второму шагу - изучению ситуации.

Выявлены следующие препятствия на пути получения достоверной и полной информации: отсутствие у данных сотрудников четкого и единого понимания того, как технологический процесс должен протекать; часто встречается полная уверенность руководителей, что существующая ситуация является оптимальной и не требует никаких улучшений.

По итогам общения с руководителями всех уровней и работниками коксового цеха, изучения правил технической эксплуатации коксовой батареи, технологических инструкций работников, описывающие и регламентирующие технологический процесс работы коксовой батареи, накопился достаточно большой массив информации, дающей представление о существующем и желаемом технологическом процессе.

В результате установлено, что недостаточная производительность коксовой батареи является следствием следующих проблем: недостаточное количество выдаваемых за год печей; низкий насыпной вес шихты вследствие

того, что часто поставляемое сырье (уголь) заведомо низкого качества (например, с повышенным содержанием влаги); отсутствие полной загрузки каждой камеры коксовой батареи; невозможность поддержания заданного температурного и гидравлического режимов работы коксовой батареи.

Затем определялась приоритетность решения каждой из этих проблем (таблица 10), применив матрицу расчета приоритетности.

Таким образом, сделан вывод о необходимости сконцентрировать все ресурсы в первую очередь на решении проблемы недостаточного количества выдаваемых за год печей, так как данный метод имел наибольшую сумму в колонке «Приоритет». Несмотря на это, следует отметить, что наряду с выбранной приоритетной целью не упускались возможности способствовать решению и других, приведенных в матрице, проблем.

Количество выдаваемых печей зависит от оборота печи, который определяется двумя факторами: периодом коксования и временем на обработку печи, или машинное время (разница между оборотом печи и периодом коксования). Чем короче период коксования и временной промежутков, выделяемый на обработку печи, тем большее количество печей можно выдать в течение года.

По расчетам, основанным на формуле определения объема производства коксовой батареи, уменьшение оборота печи на одну минуту при пересчете на год, оставляя неизменным насыпной вес и гранулометрический состав шихты, увеличивает объем производства кокса на 756 тонн кокса.

Таблица 10 - Матрица определения приоритетности решения проблем

	Легкость сбора данных	Легкость потенциального внедрения	Срочность / влияние	Скорость решения	Приоритет
отсутствие полной загрузки каждой камеры коксовой батареи	2	2	3	2	9
недостаточное количество выдаваемых за год печей	2	2	3	3	10
низкий насыпной вес шихты	2	1	3	1	7
невозможность поддержания заданного температурного и гидравлического режимов работы коксовой батареи	2	1	3	2	8

По итогам общения с руководством цеха и технологом производства было принято решение о сборе дополнительной информации о том, какое влияние на работу батареи и качественные характеристики кокса окажет снижение периода коксования. Необходимо найти возможность сокращения времени, выделяемого на обработку печи. На исходный момент данное время по официальной отчетности в организации составляло 20 минут. Основываясь на данных, полученных из специализированной литературы [3], предложено сократить данное время минимум на 40%. Таким образом, сформулирована

проблема - «сокращение разницы между оборотом печи и периодом коксования до 12 минут».

Определившись с проблемой, необходимо обсудить возможность и пути ее решения с руководством цеха. Однако снова возникает проблема противодействия и нежелания сотрудничества со стороны среднего звена менеджмента предприятия, который выразил полную уверенность, что снижение машинного времени может привести к следующим негативным последствиям: 1. Заграфичиванию подвода печи, могущее повлечь за собой снижение уровня прохождения планирной штанги, и могущее стать причиной либо непрохождения планирной штанги до конца камеры и последующим нарушением технологического режима производства кокса, либо снижения объема загрузки камеры, так как планирная штанга в таком случае выгребала бы больше шихты из камеры. 2. Отсутствию пустой печи, которая в случае бурения печи могла бы стать резервной камерой для выталкивания оставшегося в корзине двересъемной машины кокса.

Многие исследователи утверждают, что большинство причин сопротивления проистекает из-за человеческого фактора, поэтому проведение коренных изменений, которые потребуются при внедрении идей TQM, - крайне сложный процесс [4]. Достижение целей требовало от руководителей цеха изменений: в процессе управления, в технологическом процессе, и, наконец, поведенческих изменений. Изменения не являются естественным состоянием [5]. Поэтому вполне объяснимо, что люди, находясь на механической ступени перемен, активно им сопротивляются. Поэтому, параллельно с работой по повышению качества процессов, разработана программа тренингов для руководителей всех уровней на предприятии. Подобное обучение, например, проводится на предприятиях Японии и Кореи, в которых работники учатся в среднем от нескольких недель до месяца, используя в том числе и самообучение [6]. Подобное обучение также обусловлено и тем, что повышение уровня квалификации работников относится к одному из основных источников экономического роста [7-9].

Таким образом, анализ управленческих и производственных процессов проведенный на примере АО «АрселорМиттал Темиртау» Темиртау», выявил проблемы, как в управленческом процессе, так и в основном, и во вспомогательном производственных процессах коксохимического производства предприятия.

Список литературы

1. Лapidус В.А. Всеобщее качество (TQM) в отечественных компаниях /Гос. Ун-т управления; Нац. фонд подготовки кадров. - М.: ОАО «Типография «Новости», 2000 - 432 с.

2. Годовой отчет коксохимического производства АО «АрселорМиттал Темиртау» за 2016-2018 гг.

3.Егоров В.Н. и др. О кондиционировании угольной шихты для коксования // Кокс и химия. – 2006. - №12. – С. 11-17.

4.Управление качеством и реинжиниринг организаций : Учеб.пособ. для студ. вузов ; Допущ. М-вом образования РФ; З.С. Абутидзе, Л.Н. Александровская, В.Н. Басе и др. - М.: Логос, 2003. - 327с.

5.Rampersad H.K. Total Performance Scorecard, Redefining Management to Achieve Performance with Integrity. - Massachusetts: Butterworth-Heinemann Business Books, Elsevier Science, 2003. - 330 p.

6.Оучи У. Методы организации производства: японский и американский подходы: Сокр. пер. с англ. - М.: Экономика, 1989. - 184 с.

7.Гончаров В.В. В поисках совершенства управления: руководства для высшего управленческого персонала. В 2-х т. М.: МНИИПУ, 1996. 28.Гулай Л.Н. По ступеням признания // Стандарты и качество. - 2004. - №6.

8.Адлер Ю.П., Шпер В.Л. Будущее качества и систем менеджмента качества//Актуальные проблемы экономики и права.- 2017.-Т.11, №2.-С.5-18.

9.Конти Т. Качество: упущенная возможность? / Пер. с итал. В.Н. Загребельского. - М.: РИА «Стандарты и качество». 2007. - 216 с.: ил.

УДК –36.07

**ПРАКТИКО – ОРИЕНТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ В
ФОРМИРОВАНИИ ГОТОВНОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ КОЛЛЕДЖА К
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
PRACTICE-ORIENTED TECHNOLOGY OF TRAINING IN THE
FORMATION OF READINESS OF THE STUDENT COLLEGE FOR
PROFESSIONAL ACTIVITY**

Литке А.Е.

КГКП «Рудненский колледж технологии и сервиса»

epishina_1988@mail.ru

Litke A. E.

SOE «Rudny College of technology and service»

Аннотация: Формирование у будущего специалиста полной готовности к профессиональной деятельности: обеспечение профессионального становления личности конкурентоспособного специалиста, готового к полноценной профессиональной, управленческой, производственно - технологической, научно-методической, исследовательской деятельности.

Ключевые слова: Развитие, маркетинг, профессиональная подготовка, практико-ориентированное обучение

Abstract: the Formation of the future specialist full readiness for professional activity: ensuring the professional formation of the personality of a competitive

specialist, ready for full - fledged professional, managerial, production and technological, scientific and methodological, research activities.

Keywords: Development, marketing, professional training, practice-oriented training

В последние годы проблема формирования готовности выпускников профессиональных учебных заведений приобрела особое звучание, так как появился государственный заказ общества на конкурентоспособного специалиста для современного производства. Возникла крайняя необходимость в формировании творческой индивидуальной личности, что является стержнем ее ориентации в жизни.

Поиск путей решения данной проблемы заставляет пересматривать используемые технологии образовательного процесса.

Особую группу педагогических технологий составляет практико-ориентированная. Переход к практико-ориентированному обучению на прямую связан с усилением прикладного, практического характера всего среднего профессионального образования.

Цель практико-ориентированной технологии - формирование у будущего специалиста полной готовности к профессиональной деятельности: обеспечение профессионального становления личности конкурентоспособного специалиста, готового к полноценной профессиональной, управленческой, производственно-технологической, научно-методической, исследовательской деятельности.

Задачи технологии:

- формирование у выпускника колледжа общих и профессиональных компетенций, ценностных отношений к профессиональной деятельности, к собственному профессиональному образованию.

В рамках Программы развития продуктивной занятости и массового предпринимательства на базе КГКП «Рудненский колледж технологии и сервиса» Управления образования акимата Костанайской области был произведен набор групп по специальности 0513000 «Маркетинг» (по отраслям):

- 2017-2018 учебный год, квалификация 0513012 «Продавец продовольственных товаров», 0513032 «Контролер-кассир»;
- 2018-2019 учебный год, квалификация 0513042 «Агент коммерческий», 0513032 «Контролер-кассир».

По данной специальности я являюсь мастером производственного обучения. Студенты этих двух наборов разные по социальному статусу, но талантливы все по - своему, активно учувствуют в самодеятельности, студенческих советах колледжа. Среди обучающихся имеются победители городских и областных олимпиад.

В колледже обучающиеся по данной специальности получают теоретические знания, первоначальные профессиональные навыки, что обеспечивает готовность выпускников к профессиональной деятельности. Профессиональную практику организуем совместно с социальными партнерами

(крупные, мелкие торговые предприятия г. Рудного). Вот на примере моей группы: обучение проходит по модульной системе. Производственная практика закрепляется теоретическими знаниями по модулю:

- гарантированная реализация образовательных программ, достижение запланированного уровня и качества подготовки специалиста;
- развитие творческого потенциала его личности.

После каждого модуля по производственной практике обучающиеся готовят творческие отчеты. В данных отчетах ставятся проблемные ситуации, прорабатываются пути решения «проблем», делаются выводы и происходит защита данного отчета по подгруппам в количестве 5 человек, как следствие - формирование готовности выпускника к самореализации в обществе и на производстве.

Современное обучение немислимо без применения компьютерных технологий. Нетрадиционные формы обучения позволяют попробовать себя в этом и преподавателю, и обучающемуся. Современные возможности автоматической системы управления технологическим процессом – комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятии или каком-то его участке, выпускающем относительно завершенный продукт, где сохраняется человеческий контроль над процессом. Например: по нашей специальности обучающиеся проходят практику в современных супермаркетах ТС ТОО «Меркурий», ИП Гребенюкова «Фортуна», где используется автоматическая система управления торговым процессом для сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации. Составными частями могут быть отдельные системы управления и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс.

В колледже ведется активная работа в рамках дисциплин, имеющих отраслевую направленность, по изучению основ работы в TRACE MODE. Это форма практических занятий, на которых происходит полная имитация производственной деятельности. Проводятся следующие практические занятия:

- Создать базу данных потенциальных клиентов (работа с прайсами).
- Выявить и провести анализ потребностей клиентов в продукции, реализуемой компанией и согласовать заказы с клиентом в соответствии с его потребностями и наличием ассортимента (составление заявки).
- Сделать сравнительный анализ с товарами конкурентов.
- Провести исследование спроса на товар организации. Сделать анализ внешней среды.
- Провести первичные переговоры и деловую переписку.
- Выявить потребность заказчика, установить с ним контакт.
- Дать ассортиментную характеристику товара, ориентироваться в подборе ассортимента товаров.
- Определить качество товаров и соответствие их стандартам.
- Демонстрация ассортимента и свойств товаров, способы их применения, реклама определенного товара.

- Оформление сопроводительных документов.
- Оформление накладных на внутреннюю переброску.
- Оформление товарно-транспортной накладной.
- Оформление счет - фактур.
- Оформление доверенности.
- Составление схемы движения товаров.
- Оформление договора с соблюдением установленных форм и порядка.
- Разработать условия поставки хранения и транспортирования товаров.
- Оформление отчета по продажам.
- Оформление количественно-суммового отчета.
- Оформление отчета о движении тары.
- Оформление авансового отчета.
- Оформление товарного отчета.
- Оформление отчета кассира.
- Оформление книги учета наличных денег.
- Оформление сменного отчета.
- Оформление отчета по коммерческой деятельности.
- Инкассация ДС.
- Знакомство с порядком и условиями хранения документов в организации.
- Участие в систематизации и архивировании документации, как на бумажном, так и на электронном носителе.
- Создание базы данных клиентов.
- Составление схемы движения товаров.
- Работа по заявкам клиентов.
- Оформление документации по заказам клиентов.
- Анализ работы с конкурентами.
- Изучение спроса на товары данного предприятия.
- Оформление отчета о проделанной работе.
- Устройство, подготовка ККМ к работе.
- Работа в режиме «КАССА» на ККМ.
- Работа в режиме «Проверка в течение смены».
- Работа в режиме «Завершение смены».
- Работа в режимах: «Регистрация чеков», «Администратор».
- Работа в режимах «Р», «Х-отчетов», «Z-отчетов».
- Оформление приходных и расходных кассовых ордеров.
- Оформление книги учета наличных денег.
- Оформление кассовой книги (отчет кассира).
- Оформление препроводительной ведомости, явочной карточки.
- Оформление авансового отчета.
- Оформление накладных.
- Оформление товарно-транспортной накладной.

- Оформление счет - фактур.
- Оформление доверенности.
- Оформление акта о переоценке товара.
- Оформление инвентаризационной описи.
- Оформление товарного отчета.
- Устройство, подготовка ККМ к работе на различных видах ККМ.
- Работа в режиме «КАССА» на различных видах ККМ.
- Работа в режиме «Проверка в течение смены» на различных видах ККМ.
- Работа в режиме «Завершение смены» на различных видах ККМ.
- Работа в режимах: «Регистрация чеков», «Администратор» на различных видах ККМ.
- Работа в режимах «Р», «Х-отчетов», «Z-отчетов» на различных видах ККМ.
- Подготовка различных ККМ к работе.
- Работа кассира в течение смены.
- Проверка суммирующих счетчиков в течение смены.
- Окончание работы на контрольно-кассовой машине.
- Изучение квалификационной характеристики.
- Работа по изучению признаков платежеспособности банкнот.
- Работа по изучению порядка расчета с клиентами при эксплуатации POS-терминалов.
- Подготовка к работе на POS-терминале.
- Работа по изучению порядка эксплуатации POS-терминалов в режимах: «Регистрация», «Показания».
- Работа по изучению на POS-терминале режиме «Гашение».

Активно используются и другие педагогические технологии такие как: информационно-коммуникативная, личностно-ориентированная, технология «французских мастерских» и т.д. Следует также сказать, что главным становится не сообщение обучающемуся определенной информации, а формирование у него умения самостоятельно приобретать знания, навыки, учиться в процессе трудовой деятельности. Повышается уровень практической направленности обучения ребят в целях формирования профессиональных компетенций и развития интеллектуальных способностей.

Таким образом, технология практико-ориентированного обучения обладает существенными достоинствами, определяющими ее эффективность и роль в формировании готовности выпускников к профессиональной деятельности:

- обеспечивает гарантированное выполнение требований среднего профессионального образования, максимальное приближение условий обучения к условиям реальной работы на производстве, сформирует общие и профессиональные компетенции;

- в процессе обучения создает условия для становления творчески активной, ценностно-ориентированной личности специалиста - профессионала;
- формирует готовность обучающихся к самостоятельному учению, умственному развитию и воспитанию;

- стимулирует интерес к науке. Обучающимся были предложены темы научных проектов. Из 25 ребят пятеро, заинтересовались и активно с большим интересом работают над научными проектами. В группе создан актив, в состав которого входят наиболее авторитетные обучающиеся.

Модульное обучение дает возможность более полного творческого усвоения учебного материала. Позволяет осуществить действенный мониторинг процесса и результата подготовленности обучающихся, выводить их из затруднений, поддерживать и развивать познавательный интерес. 12 апреля 2017 года была опубликована статья Главы Государства Республики Казахстан Н.Назарбаева, направленная на модернизацию общественного сознания. Сохранить и приумножить духовные и культурные ценности – основная цель, которая стоит перед народом Казахстана и мы должны стремиться к выполнению целей и задач поставленных перед нами Главой Государства.

Список литературы

1. Гвоздева, Е.Е. Практико-ориентированные подходы к обучению. Технология исследовательского обучения в учреждениях профессионального образования // Молодой ученый. - 2014. - № 6.3. - С. 21-25.

2. Калугина, И.Ю. Образовательные возможности практико-ориентированного обучения учащихся / И.Ю. Калугина. - Екатеринбург, 2000. - 215с.

3. МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
«ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА» №11-2/2016 ISSN 2410-6070

4. Селевко, Г.К. Современные образовательные технологии / Г.К. Селевко. - М.: Народное образование, 1998. - 256 с.

УДК 378.1

СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ

THE SYSTEM OF TRAINING SPECIALISTS IN THE FIELD OF MANAGEMENT

Магрупова З.М.

Карагандинский государственный технический университет, Караганда,

Казахстан

mzm68@mail.ru

Magrupova Z. M.

Karaganda state technical University, Karaganda, Kazakhstan

Аннотация: В статье определяется необходимость создания эффективно функционирующей модели образования в области управления, которая обеспечивает современное качество образования, удовлетворяющее потребности рынка в высококвалифицированных кадрах на всех его уровнях, путем формирования новых институциональных механизмов регулирования, обновления структуры и содержания, развития интеграции фундаментальности и практической направленности образовательных программ, формирования системы непрерывного практико-ориентированного образования.

Ключевые слова: Стратегия образования, направления развития, национальная модель, тенденции и модели, образовательные программы, управление.

Annotation: The article describes the necessity of establishing a functioning model of education management, which provides a modern quality of education that meet market needs for highly qualified personnel at all levels, by the formation of new institutional management mechanisms, updating of structure and content, development of integration of fundamentality and practical orientation of educational programs, formation of system of continuous practice-oriented education.

Keyword: Education strategy, development directions, national model, trends and models, educational programs, management.

Качественное преобразование системы образования рассматривается как один из основных факторов становления суверенитета государства, его реальной политической и экономической независимости. На современном этапе развития цивилизации ни одна страна без подготовки специалистов на высоком уровне, без научных исследований, проведения опытно-конструкторских работ не сможет обеспечить прогресс экономики, отвечающий потребностям общества, задачам устойчивого человеческого развития.

Осуществлять реформы образования в условиях динамичных социально-экономических изменений в обществе возможно только при наличии детально проработанной стратегии, учитывающей как реальную ситуацию, сложившуюся в сфере образования, действующие в ней тенденции и отношения, так и возможные пути будущего развития общества

Такая стратегия должна стать основой для разработки гибкой тактической программы действий, постоянно адаптируемой к реальным условиям. Стратегия должна быть ориентирована на решение двуединой задачи: защиту системы образования в условиях рыночных отношений и обеспечение ее перспективного развития.

Если говорить о модели наиболее эффективной стратегии действий управленческого звена системы образования на складывающихся рынках образовательных услуг, труда и капитала, то следует отметить следующее. Она

учитывает развивающиеся в настоящее время социокультурные процессы, прежде всего, процессы регионализации, которые напрямую зависят от культурообразующего воздействия современной системы образования (особенно остро данная тенденция проявляется в решении проблем национальной школы Казахстана). В основных мероприятиях существенная роль отводится введению и реализации преемственных государственных образовательных стандартов, совершенствованию системы лицензирования, аттестации и аккредитации образовательных учреждений. В модели заложена дальнейшая интеграция образования и науки, развитие научно-исследовательской и научно-технической деятельности организаций системы образования. Она призвана способствовать дальнейшей гуманитаризации образования через разработку и внедрение учебников и учебно-методических комплексов нового поколения, введение современных программ по экологическому, экономическому, правовому, гражданскому образованию детей и молодежи, осуществлению инновационных преобразований в области разработки и внедрения новых технологий обучения (программных средств, дистанционного обучения, банка инновационных идей и т.д.).

В соответствии с Законом «Об образовании» национальная модель образования, основанная на принципах преемственности и непрерывности общеобразовательных программ, включает 4 уровня образования [1]:

- дошкольное воспитание и обучение;
- среднее образование (среднее общее, начальное и среднее профессиональное),
- высшее профессиональное образование;
- послевузовское профессиональное образование.

В настоящее время в нашей стране наблюдается тенденция ухудшения состояния высшего образования: план приема в ВУЗы ежегодно сокращается, практически не открываются новые специальности, требующие значительных затрат на создание и развитие учебно-лабораторной базы; с трудом внедряются современные информационные технологии обучения, несовершенна система планирования подготовки кадров.

В этом контексте приоритетными направлениями дальнейшего реформирования высшего образования являются следующие:

-повышение качества высшего образования на основе стандартизации, диверсификации и гибкости образовательных программ, реализации новых технологий;

-расширение функций и миссии высшего образования в обеспечении подготовки высококвалифицированных специалистов, формировании всесторонне развитой личности, распространении знаний и проведению научных исследований;

-реализация основных положений Лиссабонской Конвенции о взаимном признании квалификаций, относящихся к высшему образованию в европейском регионе, участие в формировании единого образовательного пространства СНГ;

-дальнейшая разработка нормативно-правовой базы системы высшего образования.

Начальный этап реформы образования состоялся, хотя он сопровождался непоследовательными и противоречивыми действиями.

Приоритетные направления развития системы образования зависят от конкретных целей и задач, стоящих перед каждым уровнем образования.

В своем известном всему миру исследовании конкурентных преимуществ стран М. Портер писал: «Наше исследование оставляет мало сомнений в том, что образование и обучение играют решающую роль в национальном конкурентном преимуществе...» [2]. Достижение более сложных конкурентных преимуществ и введение конкуренции в передовых сегментах и новых отраслях требуют людских ресурсов, обладающих все более высоким уровнем квалификации и способностей. Качество человеческих ресурсов должно постоянно повышаться, если стремиться к повышению уровня развития экономики страны. Анализ причин ускоренного развития передовых европейских стран, азиатских «тигров» и «драконов» показывает, что одним из основных условий их динамичного развития является усиленное внимание к сфере образования.

На фоне развития рыночных процессов в экономике в системе отечественного высшего образования появились определенные тенденции. Первое, что следует отметить, что увеличивается разнообразие форм и видов подготовки специалистов в области экономики. Система образования в своем развитии использует прогрессивные элементы зарубежного опыта организации управленческого образования. Старая модель, позволявшая за пять лет выпускать специалиста с малым набором экономических специальностей и ограниченности их выбора, оторванностью от практической деятельности и отгороженностью от зарубежного опыта, ушла в прошлое.

Современное образование, особенно высшее, предполагает активное вхождение в международное образовательное пространство, а значит и сочетание региональных, общенациональных и международных интересов. Рыночные условия реально влияют на стремление человека к получению образования и совершенствованию. Зарубежные университеты готовят специалиста: исследователя (ученого) – управленца (менеджера) – аналитика (практика). То есть функциональная роль каждого выпускника выражена четко. Есть японская, американская. Французская, германская модели высшего образования. Наша задача – найти свою модель экономиста-аналитика, исследователя и управленца. Необходимо привести весь учебный процесс и научно-исследовательскую деятельность в соответствие с международными стандартами, быть конкурентоспособными по качеству образования и обучения.

Традиционная модель образования, которая используется в настоящее время, уходит в прошлое, утрачивает свою перспективность. Выход из сложившейся ситуации в кардинальном обновлении высшей школы, в ее все более углубленном реформировании в соответствии с потребностями общества,

но на основе ее безусловной автономизации. Движение в этом направлении требует принципиального изменения самой сути модели Высшей школы, обеспечения её свободного, всестороннего развития. Принятая во всем мире двухступенчатая модель с присвоением академической степени (бакалавра и магистра) на каждой ступени, базируется на принципе свободы преподавания и учения, из которого, собственно, и вырастает система свободного образования. Из этого принципа следуют два логических вывода: свобода выбора и конкурентность. Из первой ступени студент получает фундаментальные знания, не вдаваясь в преждевременную специализацию. А потом, на второй ступени идет углубленная профессиональная подготовка специалиста. Следующая модель состоит в подготовке магистров делового администрирования на базе профилизации менеджеров.

Еще одна модель состоит в формировании продвинутого продолженного инженерного образования, которая создает расширенные возможности послевузовской подготовки и системы дополнительного образования. Сегодня наша страна и наши вузы получили возможность не только совершенствовать уровень государственной системы повышения квалификации инженеров, но и подсоединиться к европейской и международной системе продолженного образования. Осуществление проекта продолженного инженерного образования позволит включиться в систему дистанционного образования, содержание которого состоит в предоставлении видеокурсов и курсов на базе компьютеров для наиболее эффективного удовлетворения потребностей государства в области образования по менеджменту, технологии и экологии. Эта модель образования родилась с целью приведения нашей экономики к западным стандартам по качеству продукции, производительности труда, охране окружающей среды. Целью модели продолженного инженерного образования является не только представление видео-курсов и курсов на базе компьютеров, но и создание необходимой инфраструктуры для поддержки продолженного образования на местах. Выдача сертификата будет официально свидетельствовать об эквивалентности образования вузов нашей страны уровню образования, даваемому в европейских университетах данного профиля. Владелец такого сертификата по уровню профессиональной подготовки признается адекватным зарубежным коллегам.

Еще одна тенденция, проявившаяся в настоящее время в системе высшего образования, состоит в том, что воспроизводство самого главного достояния нации – ее интеллектуального потенциала – перестает быть исключительной монополией государства и становится делом самого общества. Сочетание базового инженерного образования с современными знаниями в области экономики и рыночных отношений создает прекрасные перспективы для целевой подготовки высококлассных специалистов для работы в различных инвестиционных компаниях, внедренческих и других фирмах, занимающихся инновационной деятельностью.

Развитие высшего образования на современном этапе требует принципиального изменения самой сути модели высшей школы, обеспечения ее свободного всестороннего развития.

Главная цель стратегии – развитие национальной модели образования, направленной на формирование творческой личности, накопление интеллектуального капитала, как важнейших факторов экономического и социального прогресса общества на основе провозглашенного правительством приоритета образования, переход от модели «Образование для всех» к модели «Образование для каждого».

Концептуальной разницы между образованием для науки и для других сфер человеческой деятельности нет, но есть принципиальная разница между хорошим и плохим образованием. В любом образовании важен результат: студент должен быть подготовлен к мобилизации знаний для самостоятельного решения встающих перед нами задач – будь то научная задача или задача управленческая.

Многие бизнес школы, учитывая национальный менталитет, стали стремиться получить право выдачи государственного диплома, что требует прохождения государственной аттестации и приближения образовательных программ к государственному стандарту'.

Различия образовательных программ проявляются в следующих факторах:

1. По объему учебной нагрузки и продолжительности обучения.
2. По степени ориентации на конкретно-практические знания. При этом образовательный процесс должен включать в себя и получение слушателями достаточного объема знаний, и навыков работы.
3. Программы сильно отличаются как приоритетами, так и используемыми методическими приемами обучения.
4. Программы различаются по качеству обучения, так как включают различный перечень дисциплин, формирующих навыки и знания в области современной экономики и менеджмента.

Естественно, эти учреждения самостоятельно строят и учебный, и исполнительский процессы сообразно своим возможностям и потребностям своих регионов.

Касаясь проблем использования зарубежной помощи для формирования отечественного управленческого корпуса, следует учитывать и весьма серьезные «расхождения» в отечественной и зарубежной моделях менеджера. Основные причины такого положения дел (даже без учета кардинальных различий экономической среды стран и задач, решаемых организациями бизнеса) состоят в следующем:

А) на Западе менеджмент – как правило, сфера профессиональной деятельности, менеджеры – наемные работники – разделены и часто конфликтуют. В Республике последние десятилетия доминировало понятие «трудовой коллектив», где серьезных границ между руководителями (за

исключением высших) и подчиненными не было. В новых условиях в частном бизнесе менеджер – продукт роста в сфере технологии бизнеса компании;

Б) западный менеджмент основан на профессионализме (ставка на закон, планирование и анализ, «научные методы», в особенности количественные, объективные критерии — «затраты – выгоды» и т.п.), а также протестантской этике. Отечественный менеджмент часто иррационален, к сожалению, его социальная ответственность, как и этика бизнеса в целом, весьма низки. Отсюда не только западные программы и учебники об основах рыночной экономики, представляющие большой интерес для академического образования, но и многие прикладные разработки и «конкретные ситуации» почти бесполезны для объяснения реалий сегодняшней деятельности.

Сегодня, к сожалению, типичное казахстанское предприятие стремится получить прибыль не за счет факторов повышения производительности и эффективности в условиях «частной конкуренции», а за счет удачного взаимодействия со средой (торговля, финансовые операции и т.д.).

В настоящее время проблемы образования – это проблемы, связанные преимущественно с развитием не унифицировано-безличной, а национальной культуры. Мы должны найти свой, специфический путь развития системы образования. Этот путь должен впитать в себя достижения и горький опыт нашей советской системы, и опыт всего цивилизованного мира с учетом специфики национальной культуры. Речь идет о необходимости смены стратегических глобальных целей образования, перемещение акцента со знаний специалиста на его человеческие, личностные качества, которые выступают как цели подготовки человека к будущей профессиональной деятельности.

Изучение направлений развития школ бизнеса дает возможность сформулировать основные направления современного этапа развития экономики знаний на основе развития высшего образования Казахстана:

- модернизация многоуровневой системы высшего образования;
- демонтаж старой идеологии и демократизация высшего образования;
- формирование и совершенствование государственно-общественной системы оценки и регулирования качества высшего образования;
- поэтапная интеграция в образовательное пространство мира и стран СНГ;
- формирование новых государственных образовательных стандартов высшего образования и квалификационных характеристик специалиста в соответствии с требованиями «экономики будущего».

Список литературы

1. Закон Республики Казахстан от 27 июля 2007 года №319-III «Об образовании» .- Астана, Акорда, 27 июля 2007 года/ Электронный ресурс : <https://online.zakon.kz/>
2. Портер М. «Международная конкуренция».-М.: Международные отношения, 1993, с. 947

УДК 338.1

**ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В КАЗАХСТАНЕ: СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**ENTREPRENEURSHIP IN KAZAKHSTAN: CURRENT TRENDS AND
PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

Zarubina V., Zarubin M.,

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan,

zarubina_v@mail.ru, zarubin_mu@mail.ru

Зарубина В.Р., Зарубин М.Ю.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

Аннотация: Целью данной статьи является определение влияния антикоррупционной политики на развитие малого и среднего предпринимательства. Результатом данной работы является выявление взаимозависимости между индексом восприятия коррупции и объемом ВВП на душу населения, численностью занятых в малом и среднем предпринимательстве. Сделаны выводы о необходимости усиления работы по формированию антикоррупционного правосознания для дальнейшего развития малого и среднего предпринимательства.

Ключевые слова: малое среднее предпринимательство, корреляция, индекс восприятия коррупции.

Abstract: The purpose of this research article is to determine the impact of anti-corruption policy on the development of small and medium-sized businesses. The result (value) of this work is to identify the relationship between the index of perception of corruption and GDP per capita, the number of employees in small and medium-sized businesses. Conclusions about the need to strengthen the work on the formation of anti-corruption legal consciousness for the further development of small and medium-sized businesses.

Key words: small medium business, correlation, corruption perception index.

Существует много исследований, посвященных вопросам развития предпринимательства. Фундаментальные исследования, связанные с влиянием предпринимательства как инновационной составляющей развития государства, выдвинули на первый план П. Дракер, Й. Шумпетер.

Вопросы становления, влияния, изменения предпринимательства изучены зарубежными учеными - Р. Кастильен, А. Смит, А. Зельднер, К. Макконел, Л. Брю. Направления государственной поддержки предпринимательства рассматривались в трудах В. М. Горфинкеля, Л. И. Абалкина, Р. Н. Бусыгина, М. Г. Лапусты, С. М. Меншикова.

Различные аспекты развития малого и среднего предпринимательства в Казахстане рассмотрены такими учеными как С. Байзаков, А. Алимбаев, Р. Елемесов, Е. Жатканбаев, Н. Мамыров, А. Токсановой. И, тем не менее, уровень развития малого и среднего бизнеса в Казахстане продолжает оставаться недостаточным.

Анализ научных трудов отечественных и зарубежных авторов позволяет констатировать, то что, несмотря на имеющиеся фундаментальные и прикладные исследования в области бизнеса, многие аспекты развития как малого, так и среднего предпринимательства требуют или новых, дополнительных, исследований или переосмысления.

В Республике Казахстан предпринимательство развивается с момента обретения государством независимости. За этот период можно выделить следующие этапы его становления: либерализация цен 1991-1992 гг., жесткая фискальная политика 1993-1995 гг., бум малой приватизации 1996-1997 гг., период качественного развития государства 1998-2001 гг., современный этап развития. В ретроспективе сделано многое:

- государство добилось значительного роста количества субъектов малого предпринимательства,
- добились роста доли производимой продукции в ВВП Казахстана,
- в Казахстане наблюдается развитие сектора правового регулирования в области предпринимательства,
- динамично продолжается развитие не только столиц, но и регионов.

В Республике Казахстан принят Предпринимательский кодекс – фундаментальный документ для организации осуществления бизнеса [1]. Также Законодательство Республики Казахстан в сферах бизнеса и предпринимательства основывается на Конституции Республики Казахстан и иных нормативных правовых актов Республики Казахстан. Все товарно-денежные и иные имущественные отношения, а также связанные с имущественными личные неимущественные отношения в Республике Казахстан регулируются гражданским законодательством [2].

Одним из ключевых показателей развития малого и среднего предпринимательства является число активных и зарегистрированных субъектов малого и среднего предпринимательства (МСП). Динамика изменения количества активных и зарегистрированных субъектов МСП в Республике Казахстан даже несмотря на всемирный экономический кризис сохраняет положительную тенденцию. С 2008 года количество зарегистрированных субъектов МСП выросло на 50,1%, активных – на 61,9% (рисунок 1) [3].



Рисунок 1 – Динамика активных и зарегистрированных субъектов малого и среднего предпринимательства

В абсолютном выражении количество зарегистрированных субъектов МСП на конец 2017 года увеличилось на 514 тыс. ед. по сравнению с показателем 2008 года, количество активных субъектов МСП на 438 тыс. ед. Максимальное значение количества зарегистрированных субъектов МСП за 10 лет наблюдалось в конце 2014 года и составляло 1 655 386. Это на 7% больше, чем в конце 2017 года. Максимальное значение количества активных субъектов МСП за 10 лет наблюдалось в конце 2015 и составляло 1 242 579 единиц, это на 8% больше, чем в конце 2017 года.

В структуре активных субъектов МСП по организационно-правовым формам преобладают субъекты, осуществляющие предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, – это индивидуальные предприниматели, количество которых на 1 января 2018 года составило 747 107 единиц или 65,3% от общего количества активных субъектов МСП. Количество КФХ составило 187 527 или 16,2%, а юридических лиц–предприятий МСП – 211 360 субъектов или 18,4% от общего количества активных субъектов МСП (рисунок 2).

Доля индивидуальных предпринимателей снизилась на 1,9%, а доля юридических лиц–предприятий МСП повысилась на 2,3%.



Рисунок 2 – Структура активных субъектов МСП по организационно-правовым формам

На современном этапе развития Республики Казахстан оказывается существенная поддержка развития предпринимательства, целью которой является развитие собственного рынка производства. В Казахстане реализуются следующие программы по поддержке и развитию предпринимательства: «Бизнес-советник», «Бастау Бизнес», «Программа развития продуктивной занятости и массового предпринимательства «Еңбек», «Дорожная карта бизнеса 2020», «Программа по созданию Мобильных центров по поддержке предпринимателей», «Программа по созданию Центров поддержки предпринимательства в моногородах», «Грантовое финансирование», «Программа по созданию Центров обслуживания предпринимателей в областных центрах» [4].

На территории Казахстана существуют различные виды сообществ молодых предпринимателей: «Совет по молодежной политике при Президенте Республики Казахстан» – механизм реального участия молодых людей в выработке молодежной политики государства; Молодежное крыло «Жас Отан» партии «Нур Отан»; «Ассоциация молодых предпринимателей Казахстана»; «Клуб молодых предпринимателей Казахстана», «Enactus Казахстан».

Одно из серьезных направлений современности – создание предпринимательских университетов, с целью развития предпринимательских навыков, бизнес-мышления, и как следствие – открытие собственного дела. Положительный яркий пример успешности внедрения предпринимательского образования в университетском образовании демонстрирует Китай, где начиная с 2012 года предпринимательский компонент – обязательный для высшего образования. На современном этапе Китай – динамично развивающееся государство, занимающее второе место по объему ВВП после США, с долей малого и среднего бизнеса в объеме ВВП 60%. В этой стране учебным заведениям, сотрудничающим с предприятиями малого и среднего бизнеса, предоставляются налоговые льготы.

Результаты крупного исследования, проведенного в Европе среди 23 стран показали, что выпускники вузов, получивших бизнес-образование быстрее адаптируются к условиям внешней среды, успешнее, лучше реализуют свои бизнес-инициативы. В этом направлении сделано очень многое. В вузах включены блоки по изучению дисциплин, формирующих компетенции в области предпринимательства. Создаются бизнес-инкубаторы, коворкинг-зоны, поддерживаются бизнес-инициативы студентов. В рамках поддержки развития предпринимательских инициатив студентов создаются «Альянсы студентов и предпринимателей».

По данным Министерства национальной экономики доля малого и среднего бизнеса в Казахстане только к 2025 году превысит 35%, в то время как в развитых странах этот показатель превышает 50%: США, Германия, Япония, Сингапур, Великобритания, Китай. В Рамках Евразийского экономического союза наибольший удельный вес малого и среднего бизнеса приходится на Республику Кыргызстан (таблица). Однако, этот показатель также составляет менее 50%.

Систему поддержки малого и среднего предпринимательства Казахстана можно разделить на четыре вида: финансовая, имущественная, информационно-консультационная, административная и налоговая поддержка [5]. Финансовая поддержка включает в себя субсидии, гарантии и поручительства, льготные кредиты и займы, финансирование инвестиционных проектов, частичное возмещение затрат и компенсации процентной ставки по кредитам. Ее цель заключается в обеспечении доступа МСП к финансовым ресурсам. Имущественная поддержка содержит в себе передачу имущества во временное пользование или владение, лизинг, бизнес-инкубаторы, технопарки.

Имущественная поддержка делает своей целью развитие инфраструктуры поддержки МСП. Информационно-консультационная поддержка заключается в консультационной поддержке региональными объектами инфраструктуры, специализированных сайтах, системе рассылки информации, информационных семинарах, выставках, ярмарках. Ее цель - своевременное информирование предпринимателей, повышение квалификации. В административную и налоговую поддержку входят специальные налоговые режимы, упрощенная система отчетности.

В отношении фискальной политики следует обратить внимание на опыт Сингапура. Для предприятий малого и среднего бизнеса здесь используется льготное налогообложение, цель которого заключается в привлечении инвестиций. В свою очередь государство выступает гарантом безопасности денежных средств, привлеченных в экономику. На текущий момент Сингапур динамично развивающееся государство, занимающее шестую позицию в мировом рейтинге стран по индексу восприятия коррупции. Опыт государства демонстрирует как можно благодаря политической воле, эффективному антикоррупционному законодательству за короткий период времени свести коррупцию к очень низкому уровню. По мнению специалистов - Сингапур - лучшее место для осуществления предпринимательской деятельности. На

основе исследований CNN, страна занимает 5-е место по развитию малого и среднего бизнеса. В Сингапуре – действуют порядка 140 000 субъектов малого и среднего бизнеса, что составляет практически 90 % всех предприятий страны, которые обеспечивают рабочими местами экономически активное население [6].

Особенно ценным при построении столь привлекательного для бизнеса государства является тот факт, что акцент был сделан не на внедрение экономических механизмов, а на искоренение коррупции в государственном секторе. Политика нулевой терпимости к коррупционным правонарушениям стала в Сингапуре фундаментом для привлечения инвестиций в страну. На текущий момент упор делается не на борьбу с коррупцией, а на объединение усилий общественности и государства для минимизации коррупционных проявлений.

Индекс восприятия коррупции - показатель, составляемый международной организацией Transparency International специалистами для определения восприятия уровня коррупции по шкале от 0 до 100. Минимальный уровень коррупции, ее отсутствие соответствуют 100 баллам, максимальный – 0 баллам. Transparency International составляет индекс восприятия коррупции с 1995 года. [7].

Рейтинг стран по индексу восприятия коррупции представлен на рисунке 3.

В 2017 году Казахстан занял 122 место с количеством баллов 31. Такое же количество баллов набрали следующие страны: Азербайджан, Молдова, Либерия, Мали, Непал. За год наша страна поднялась сразу на 9 строчек, в 2016 году Казахстан занимал 131-е место с 29 баллами [8]. Индекс восприятия коррупции в Казахстане с 2012 по 2017 претерпел некоторые изменения. Страна повысила свой индекс на 3 условные единицы.

Среди стран ЕАЭС лидирующие позиции по индексу восприятия коррупции у республики Белоруссия.

Проведя исследование на выявление тесноты связи между индексом восприятия коррупции и численностью занятых в малом и среднем предпринимательстве, а также индексом восприятия коррупции и ВВП в Казахстане было выявлено наличие высокого уровня тесноты связи.

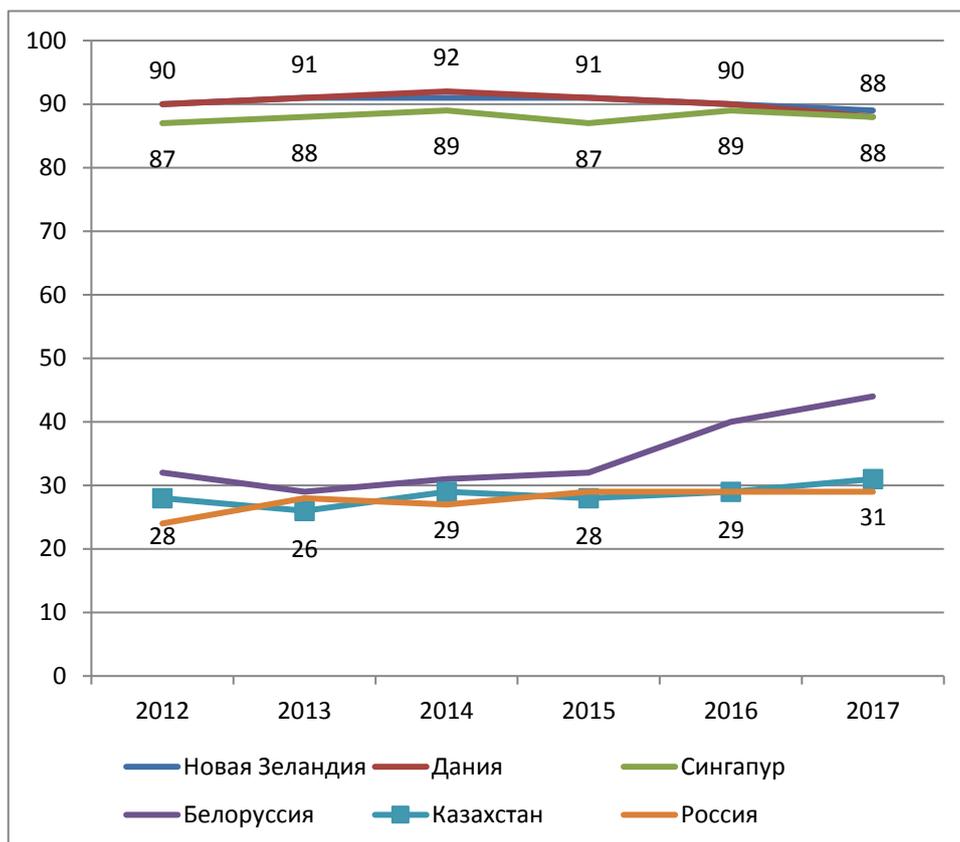


Рисунок 3 – График изменения рейтинга стран по индексу восприятия коррупции 2012-2017гг.

Парная корреляция по двум переменным имеет положительное значение и варьируется в пределах от 0,59 (индекс восприятия коррупции/ численность занятых в малом и среднем бизнесе) 0,77 (индекс восприятия коррупции/ ВВП на душу населения). Это свидетельствует о средней и высокой тесноте взаимосвязи между рассматриваемыми явлениями. То есть, существует средняя взаимосвязь между индексом восприятия коррупции и численностью занятых в МСП, высокая взаимосвязь между индексом восприятия коррупции и ВВП на душу населения.

Экстраполяция численности занятых в малом и среднем предпринимательстве, ВВП на душу населения свидетельствуют о положительной динамике данных показателей (рисунок 4).

Это доказывает важность политики нулевой терпимости к коррупции и ее огромном влиянии на благосостояние страны. Мировая история показывает, что коррупция является одной из главных угроз государственной безопасности страны. Поэтому многие страны постоянно совершенствуют правовой механизм противодействия развитию коррупции, формируют антикоррупционное правосознание человеческого капитала. Профессор К. Махбубани обозначил позиции, используя которые сингапурцы строили бизнес без коррупции:

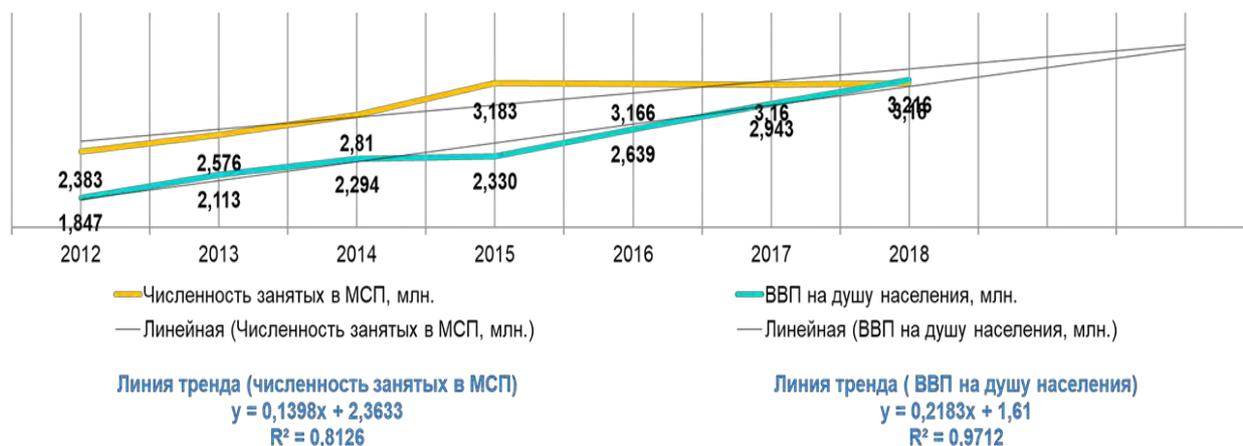


Рисунок 4 – Динамика численности занятых в МСП, ВВП на душу населения (млн)

- привлечение к управлению только достойных, талантливых госслужащих на основе рейтинговой оценки;
- прагматизм - умение использовать накопленный опыт, в том числе чужой для развития своего государства;
- честность как категория морали [9].

Особенно значимым в формировании антикоррупционной культуры является работа с подростками, молодежью. Использование со школьной скамьи антикоррупционных стандартов поведения позволит воспитать поколение, нетерпимое к коррупционным правонарушениям. Вектор развития, направленный на формирование предпринимательского образования и политики нулевой терпимости к коррупционным правонарушениям способны обеспечить высшие учебные заведения. Антикоррупционными мероприятиями охвачены все высшие учебные заведения. В университетах изучают курсы «Антикоррупционной культуры», проводят флешмобы, опросы, знакомят с видеоматериалами.

Как показывает мировой опыт, молодые специалисты, имеющие предпринимательское образование обладают бизнес-мышлением, умеют рисковать, оперативны при принятии решений. Консолидация усилий вузовского сообщества в продвижении принципов академической честности и нулевой терпимости направлено на этическое воспитание будущих специалистов. В Казахстане 2019 год объявлен годом молодежи. К сильным сторонам молодёжного предпринимательства относятся: бизнес-мышление; оперативность при принятии решений; актуализированное обучение; способность рисковать.

К слабым сторонам молодёжного предпринимательства можно отнести: отсутствие или незначительный опыт работы; недостаточность или отсутствие стартового капитала.

В Республике принято значительное количество программ, направленных на реализацию молодежи, в том числе в области бизнеса и предпринимательства. ВУЗы работают над созданием инфраструктуры,

способствующей развитию предпринимательских инициатив обучающихся. Всесторонняя работа по формированию предпринимательского образования позволяет получить на выходе выпускников, обладающих предпринимательским и антикоррупционным мышлением. Такой подход позволит обеспечить развитие малого и среднего предпринимательства, роста благосостояния страны.

Список литературы

1. Предпринимательский кодекс Республики Казахстан от 29 октября 2015 года № 375-V ЗРК. [Электронный ресурс] .Режим доступа: URL:<http://adilet.zan.kz/rus/docs/K1500000375>
2. Гражданский кодекс Республики Казахстан от 27 декабря 1994 года № 268-ХІІІ. [Электронный ресурс] .Режим доступа: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/K940001000>
3. Динамика основных социально-экономических показателей Республики Казахстан [Электронный ресурс]: http://stat.gov.kz/faces/wcnav_externalId/publicationsSocial
4. Программы поддержки молодежного предпринимательства [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://business.gov.kz/ru/youth-entrepreneurship/youth-entrepreneurship-support-programs//>
5. Структуры поддержки предпринимательства [Электронный ресурс] .Режим доступа: <https://damu.kz/poleznaya-informatsiya>
6. Развитие государственной поддержки предпринимательства Зарубежный и казахстанский опыт [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://articlekz.com/article/17845>
7. <https://theworldonly.org/indeks-vospriyatiya-korruptsii-2017/>
8. URL: <https://informburo.kz/novosti/kazahstan-zanyal-122-yu-strochku-ro-urovnyu-korruptcii-iz-180-stran.html>
9. Мировой опыт борьбы с коррупцией: опыт Сингапура [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://articlekz.com/article/7114>

STATE AND TRUST IN KAZAKHSTAN

ГОСУДАРСТВО И ДОВЕРИЕ В КАЗАХСТАНЕ

Lukmanova M.B.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

lumabo@mail.ru

Лукманова М.Б.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

Abstract: Based on the survey results conducted by the author in 2015 this paper examines relationship between trust as one of the key components of social capital and demand on state regulation in Kazakhstan. The main method to analyze the data is the regression analysis.

Key words: social capital, trust, government regulation, demand on government regulation.

Аннотация: На основе опроса предпринимателей, проведенного автором в 2015 году, в статье анализируется связь между доверием, как основным компонентом социального капитала, и спросом на государственное регулирование, предъявляемым представителями малого и среднего бизнеса в Казахстане. Основным методом анализа выступает регрессионный анализ.

Ключевые слова: социальный капитал, доверие, государственное регулирование, спрос на государственное регулирование.

The empirical base of the research. The relationship between the various components of social capital and different types of demand for government regulation is analyzed based on survey conducted by the author among Kazakhstani representatives of small and medium-sized businesses (SME) in 2015. The SME sector was purposely selected as the object of study. Kazakhstan is rich in natural resources. Because of this, its economy has disproportion between extractive industries and processing industries that creates its dependence on the situation on the world raw materials market. The development of small and medium enterprises can be a stabilizing factor of the economy of Kazakhstan. Representatives of the SME sector from five regions of Kazakhstan - North (Kostanay region), Central (Karaganda region), West (Aktobe region), South (Shymkent region) and Astana - were chosen as the sample.

Structure of analysis. The level of trust in the business environment was assessed using six questions about trust in people in general, partners and institutions. Based on principal component analysis, these questions were aggregated into two well-interpretable components shown in Table 5.

The first component (TRUST_GENERAL) with high positive weight included questions assessing the respondents' psychological tendencies to trust in people and other entrepreneurs.

The second component (TRUST_INSTIT) reflects the respondents' trust in institutions. In this component, trust in associations of entrepreneurs is included along with trust in courts and authorities. Assignment of business associations to institutions may be related to the perception that they are affiliated with the authorities. This is consistent with the Kazakhstani reality.

The National Economic Chamber of Kazakhstan, "Union" Atameken," is an initiative of the First President of Kazakhstan, and all existing business associations were strongly encouraged to join this association. The size of the business when joining is not considered. The main purpose of the Association is to defend the interests of its members. However, in reality, the interests of owners of small and medium-sized businesses do not coincide with the interest of owners of large companies.

The next component of social capital - the ability to self-organize - is assessed using the seven questions presented in Table 6.

The first component (SOGLASIE) grouped the respondents' opinions about the existing agreement or disunity in society at different levels - the community, the business environment, close circle of contacts. The second component (CAMOORG_BUSIN) reflected the identity of the respondents as members of the business community at various levels.

It is important to understand how the assessment of state by businessmen impacts the demand for government regulation. For this purpose, seven questions were included in the questionnaire. Aggregation of these questions based on factor analysis allowed us to obtain two major components in the assessment of state by businessmen shown in Table 1.

The first component of the assessment of the state by businessmen (EVAL_GENERAL) provides for a more general assessment of the situation in the industry, the city, and the region. The second component of the assessment of the state by businessmen (EVAL_EXPER) shows the entrepreneurs' assessment of the state's effectiveness based on personal experience dealing with state representatives.

To estimate the demand for government regulation, we used eight questions. Based on factor analysis, we got the two components of demand for government regulation.

The first component of the demand for government regulation (Demand for government ownership) shows respondents' demand for state ownership in such sectors as healthcare, banking and energy. The second component of the demand for government regulation (Demand for government interventions in the market) includes questions reflecting paternalistic expectations of respondents. The third component (Demand for government support) contains answers to questions that assess the demand for direct government regulation of the economy. As a result, the demand for state regulation was factored into three components - the demand for state ownership

in the banking sector, public health and energy; the demand for personal government support; and the demand for government intervention in the market.

Main results. Based on the found principal components, we use regression analysis where various components of social capital are the independent variables, and the demand for different types of government regulation is the dependent variable. As control variables, we use gender, age, education, income, nationality and other characteristics of the respondents.

The analysis shows that the components of social capital unequally affect different types of demand for government regulation of the economy. This suggests that this relationship must be investigated based on the division of different types of social capital and government regulation. We cannot mix different types of social capital and government regulation.

Results of the regression analysis are shown in Table 1. Demand for state ownership is influenced by the overall evaluation of the state. Inclusion in the model control variables did not significantly affect the obtained coefficients, which indicates the stability of the results.

As follows from our first model, a positive assessment of the state reduces the demand for state ownership. Owners of long-standing businesses demand less of this kind of government regulation. More educated respondents, and those who live in the Central and Southern regions, want more government regulation in such sectors as banking, energy and healthcare. Women prefer a larger share of state ownership. Kazakhs have greater demand for this type of government regulation in comparison with other ethnic groups.

According to the second regression model, assessment of the state negatively affects the demand for government intervention in the market. At the same time, respondents from the Northern region want less government intervention in the market compared with respondents from other regions of Kazakhstan. Owners with a greater number of workers and higher income want less government intervention in the market. Kazakhs prefer more active government regulation compared to other ethnic groups.

Finally, the third model implies that low levels of trust among people increases the demand for government support of individual businesses. This is consistent with the previously mentioned function of social capital as a substitute for government regulation. However, trust in institutions is positively related to the demand for government support of individual businesses that is similar to the situation in the Nordic countries. A low level of self-organization among entrepreneurs leads to a decrease in demand for this type of government regulation, while a low level of consensus in society, on the contrary, increases the demand for this type of government regulation. Positive assessment of the state based on personal experience leads to higher demand for government support of individual businesses, which is quite logical. Respondents from the Central Region would like greater government support of individual businesses. Entrepreneurs with higher incomes impose less demand for state support.

A low level of trust in the Kazakhstani business environment explains the lack of a statistically significant correlation between the demand for government regulation and an explanatory variable such as solidarity in the business environment. Distrusting entrepreneurs are reluctant to come together in various associations to protect their interests. In addition, the state seeks to control business associations, strengthening mistrust among them.

Conclusion. The analysis of the survey of Kazakhstani entrepreneurs revealed the multifaceted relationship between social capital and the demand for government regulation of the economy. It turns out that the demand for various forms of government regulation of the economy depends on trust in state, prior experience, the stock of various kinds of social capital and other factors. Careful consideration regarding the ability of representatives of small and medium-sized businesses to self-organize and self-regulate will help to improve the institutional environment, including the formal and informal components, in Kazakhstan.

Table 1 - Results of the regression analysis

Model	Demand for government ownership		Demand for government interventions in the market		<i>Demand for government support of individual business</i>	
	B	Std. Error	B	Std. Error	B	Std. Error
(Constant)	,320	,400	-,549	,407	,567	,408
TRUST_GENERAL	,000	,048	,007	,049	,113**	,049
TRUST_INSTIT	-,066	,052	,080	,053	-,113**	,053
CAMOORG_BUSIN	,044	,045	-,006	,046	-,104**	,046
SODGLASIE	,037	,053	,014	,053	,091*	,054
EVAL_EXPER	,038	,049	,176***	,049	,140***	,050
EVAL_GENERAL	-,092*	,051	,070	,052	,018	,052
Age	,030***	,010	,003	,010	,003	,010
North	,089	,151	,413***	,153	,005	,154
CENTER	,361***	,118	,023	,120	,234**	,121
SOUTH	,522***	,130	,131	,133	-,172	,133
WEST	,020	,147	,115	,149	-,041	,149
Gender (1- Woman, 0 – man)	,265***	,087	-,025	,088	-,086	,089
Education	-,123***	,032	-,052	,033	,015	,033
Number of workers	-,002	,001	,003***	,001	,000	,001
Income	,011	,049	,123***	,049	-,138***	,049
Condition of business (growing or not)	-,063	,076	,027	,078	,100	,078
Ethnicity (1- Kazakh, 0- the rest)	,223**	,095	-,296***	,097	-,029	,097

Bibliography

1. Aghion, P., Algan, Y., Cahuc, P., Shleifer, A. Regulation and Distrust // Quarterly Journal of Economics. 2010. Vol. 125, No. 3, P. 1015–1049.
2. Algan Y., Cahuc P., Sangnier M. Efficient and Inefficient Welfare States // IZA Discussion Paper No. 5445, January 2011.
3. Bjornskov, Ch. The multiple facets of social capital // European Journal of Political Economy. 2006. Vol. 22, No. 1, P. 22-40;
4. Durlauf, S., Fafchamps, M. Social Capital //In: Ph. Aghion, S. Durlauf (ed.) Handbook of Economic Growth, Ch. 26, 2005, P. 639-699.;
5. Hanifan L.J. The Community Center. — Boston, 1920;
6. Keefer, Ph., Knack, S. Social Capital, Social Norms and the New Institutional Economics // In: C. Menard, M. Shirley, Handbook of New Institutional Economics, Springer, 2005, P. 701–725.
7. Olson, M. The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups. Harvard University Press, 1965.
8. Putnam, R. Making Democracy Work: Civic Tradition in Modern Italy. Princeton Univ. Press, 1993. Democracy Work
9. Бурдые П. Формы капитала //Экономическая социология.—
www.ecsoc.mssec.ru.—2002. — Т. 3. —№5 (ноябрь). — С. 60–75.

УДК 658; 005

АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КРУПНОГО БИЗНЕСА ГОРНО- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ АО «ССГПО»

ACTUAL STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF LARGE ENTERPRISES OF THE MINING AND METALLURGICAL INDUSTRY ON THE EXAMPLE OF SSGPO

Нурсултанова К.Р.

*Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан
nursultanova.k@mail.ru*

Nursultanova K.R.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: в статье рассмотрены особенности развития крупного бизнеса в условиях современной экономики, место и роль корпораций для отечественной экономики, а также современное состояние горнодобывающей промышленности в Казахстане.

Ключевые слова: бизнес, крупный бизнес, глобализация, интеграция, транснационализация, корпорация, инвестиции.

Abstract: The article discusses the features of the development of large business in the modern economy, the place and role of corporations for the domestic economy, as well as the current state of the mining industry in Kazakhstan.

Key words: business, big business, globalization, integration, transnationalization, corporation, investments.

Ознакомившись с определениями экономистов, можно прийти к выводу, что бизнес — это отношения между людьми в процессе обмена деятельностью и ее результатами при проведении сделок, осуществляя которые каждый субъект стремится к достижению своих целей.

В отношении крупного бизнеса, следует отметить, что он определяет индустриальную и экономическую мощь страны. В целях обеспечения и развития крупный бизнес стремится к интеграции и монополии, поглощая или контролируя некрупных партнеров, с одной стороны, а с другой – интегрируясь в международные структуры, утрачивает частично собственную независимость и оказывается под влиянием более мощных партнеров [1, С. 6]. Крупный бизнес в большей мере нацеливается на массовый, относительно одинаковый спрос, выпуск крупных партий типовой продукции, что содействует повышению общехозяйственной эффективности.

Бизнес вносит огромную лепту в процветание экономики, так как при помощи этой деятельности создается целая часть национального дохода, возникают новые рабочие места, продолжают развитие техника и технологии, образуются новые отрасли производства и услуг, осуществляется освоение новых регионов.

В большинстве случаев, крупный бизнес определяют такие отрасли, как энергетика, сельское хозяйство, горнодобывающая промышленность. Особенно для региона Костанайской области, в частности города Рудного остроактуален рынок железорудного сырья.

Крупный бизнес, как и другое экономическое явление, находится под влиянием цикличности движения экономики [2, С. 113].

Горнодобывающая промышленность ощущает на себе последствия спада экономики, связанного с очередным циклом, обусловленным снижением потребления ЖРС на внутреннем рынке Китая и снижением производственных мощностей китайских сталелитейных предприятий. Динамика рынков основных металлов за последние 125 лет определена так называемыми «Супер - циклами»:

- «Супер-цикл» 1916 год – индустриализация XX века;
- «Супер-цикл» 1929 год – послевоенный период восстановления;
- «Супер-цикл» 1956 год – второй послевоенный период.

Драйвером последнего «Супер-цикла» (2007-2011 гг.) выступил Китай, в тот период в этом государстве реализовывался государственный проект по

прокладыванию железнодорожных сообщений между провинциями Китая. В следствие чего, металлургические предприятия увеличили потребление железорудного сырья. Что повлияло на образование новых мелких фирм по производству продукции, подходящей под эти нужды в самом же Китае. Таким образом, крупные предприятия-гиганты, составляющие первую пятерку (Vale, BHPBilton, Fortesque, RioTinto, Anglo-American) и поставляющие железную руду в Китай, потеряли долю в процентном соотношении в общей структуре (рисунок 1), так как в «Поднебесной» активизировался отечественный производитель.



Рисунок 1-Структура импорта железной руды в Китай.

Поскольку основным катализатором изменения рынка явилась строительная индустрия Китая, то цена на железную руду в 2011 году совершает мощный скачок (рисунок 2). Причиной, повлиявшей на увеличение цены железной руды в 2011 году стал рост спроса со стороны Китая, обоснованный политикой индустриализации и государственной программой по строительству железных дорог. Соответственно, по завершении данного цикла в 2013 году цена на железную руду так же резко уменьшается.



Рисунок 2 – Цена железной руды на мировом рынке в 2011 году.

Так как в 2013 году произошло снижение цены на железную руду, практически в четыре раза, в сопоставлении с ценой 2011 года, то для всех игроков рынка ЖРС своевременно встал вопрос выживания в возникших условиях. Естественным образом, в завершении «Супер-цикла» многие предприятия оказались неконкурентоспособными. Снижение стоимости металлов с 2011 по 2015 гг. требует от производителей повышения операционной эффективности: с помощью снижения себестоимости, повышения производительности, оптимизации производственных процессов (рисунок 3).

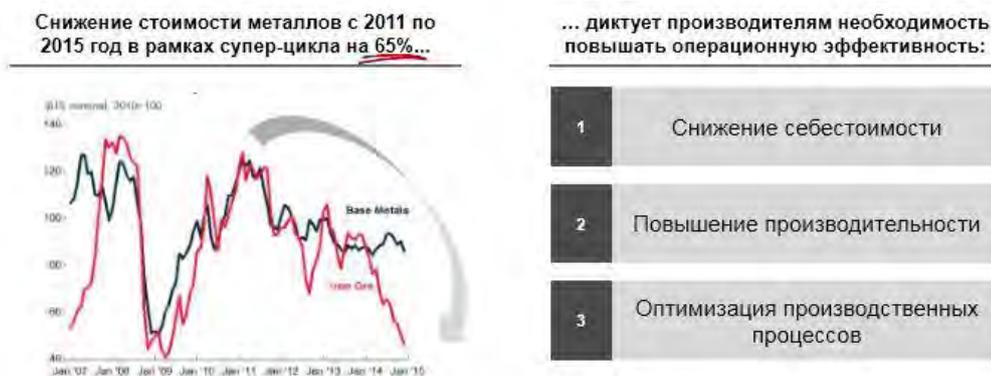


Рисунок 3 - Снижение стоимости металлов с 2011 по 2015 г.г.

Острая необходимость в поддержании предприятий на плаву в 2015 году вынуждала мировые компании принимать крайние меры. Мелкие фирмы, появившиеся в годы увеличения цен на железорудную продукцию, были вынуждены распродать свои активы и покинуть рынок, поскольку их себестоимость стала довольно таки выше сложившейся рыночной цены на 2015 год.

Следует отметить, крупнейшие страны-производители ЖРС совершили массовые сокращения: в Китае – 1800000 человек, в Аргентине – 135000

человек, в США – 130000 человек, в ЮАР – 50000 человек. Именно, в Китае произошел массовый всплеск появления вновь созданных предприятий в период возросших цен на ЖРС и поэтому там произошло наиболее крупное сокращение персонала (рисунок 4).

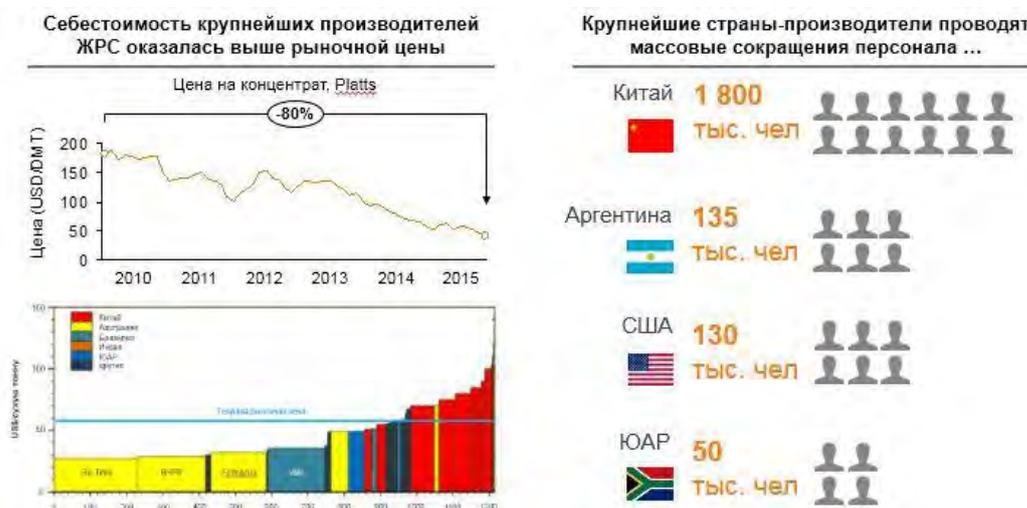


Рисунок 4 – Массовые сокращения персонала в связи с падением цен и необходимостью снижения себестоимости.

WoodMackenzie - мировая исследовательская консалтинговая компания, специализирующаяся на энергетике, металлургии и горнодобывающей отрасли промышленного производства (Эдинбург, Шотландия) прогнозирует, что производство руды в Китае в 2020 году уменьшится, в связи с прекращением производственной деятельности мелких фирм по причине неконкурентоспособного уровня себестоимости. Таким образом, рост спроса на импортную железную руду увеличится (рисунок 5).

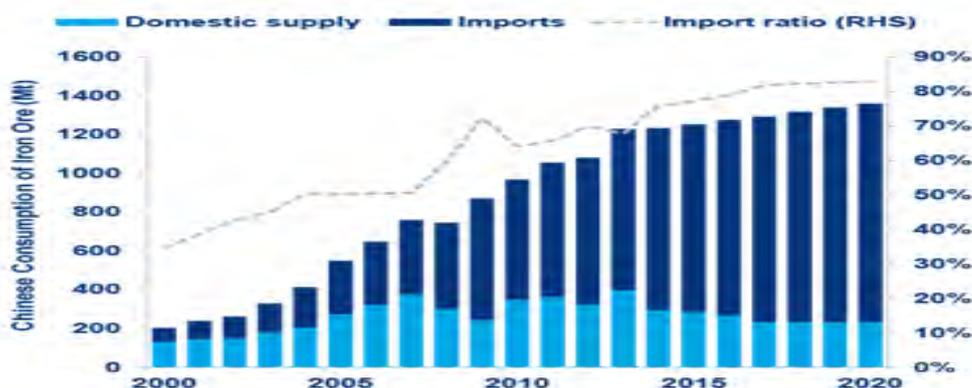


Рисунок 5 – Прогноз WoodMackenzie по производству руды в Китае

Данная ситуация, однозначно, будет выгодна для нашего региона, так как АО ССГПО является крупнейшим предприятием по производству железорудного сырья. Потенциалом для АО ССГПО на рынке ГБЖ все так же будет выступать Северо-Западный Китай. Конкурентным преимуществом АО

ССГПО станет выгодная цена для Китая в совокупности с географической близостью. В свою очередь, для АО ССГПО имеется потенциальная возможность продолжить партнерские отношения с ключевым потребителем из категории ближнего зарубежья, Магнитогорским Металлургическим Комбинатом. АО ССГПО для него так же интересен – удобное географическое положение, транспортное плечо поставки продукции 400 км, высокое качество сырья.

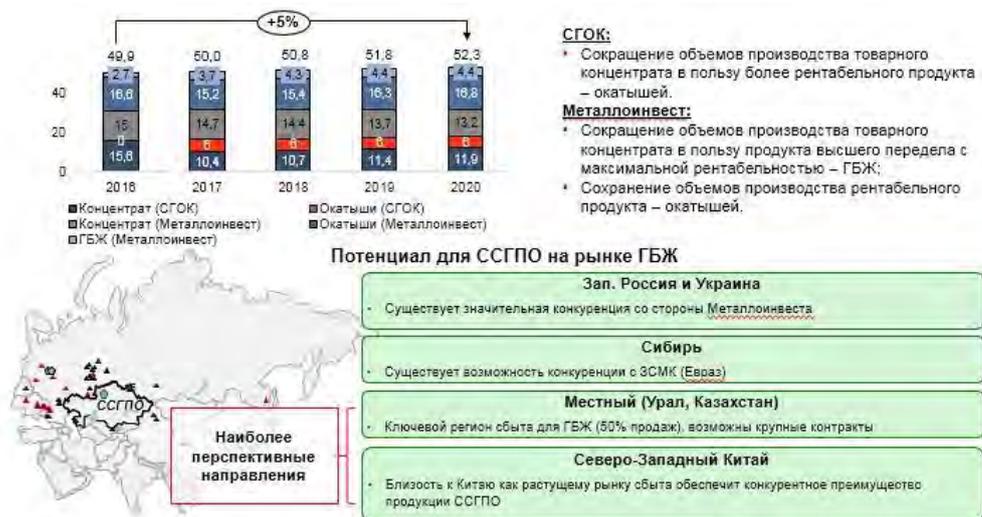


Рисунок 6 – Диверсификация производства ССГПО и потенциал для новых продуктов

Стоит обратить внимание, что и другие предприятия рынка ЖРС из стран СНГ (Стайлинский ГОК, Metalloinvest) отвечают требованиям рынка проектами по оптимизации производственных процессов. Вышеуказанные предприятия проведут политику диверсификации и перейдут на продукцию с более высокой рентабельностью. В период с 2016 года по 2020 год производство концентрата на СГОК снижается с 15,6 тыс. тонн до 13,2 тыс. тонн, в пользу производства окатышей, производство которых возрастет с 2,7 тыс. тонн до 4,4 тыс. тонн. Metalloinvest так же уменьшит производство концентрата с 15,6 тыс. тонн до 11,9 тыс. тонн (с 2016 по 2020 гг.) в пользу ГБЖ, производство окатышей останется практически на прежнем уровне (2016г.- 16,6 тыс. тонн; 2017 г.-15,2; 2018 – 15,4 тыс. тонн; 2019г – 16,3; 2020 г. – 16,8 тыс.тонн), так как данный вид продукции наиболее рентабелен.

Список литературы

- 1 Токсанова А.Н. Основы предпринимательской деятельности – Астана, 2017 – 480 с.
- 2 Основы бизнеса. Пятое издание, переработанное и дополненное – Москва: «Маркет ДС», 2015 – 784 с.
- 3 Петренко И.Я, С.Б. Исмуратов: Рынок. Бизнес. Менеджмент. 2 часть, 2014 – Москва – Костанай, 238 с.

УДК 005.027.21; 338.45:669

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ТАУ-КЕН МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ
КЕШЕНІНІҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН БАҒАЛАУ**

**ASSESSMENT OF COMPETITIVENESS OF METAL MACHINE
METAL ENGINEERING REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

Ахметов Д.С.

*Рудный индустриялық институты, Рудный, Қазақстан
darhanserik@mail.ru*

Akhmetov D.S.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Мақалада Қазақстан Республикасы тау-кен металлургиялық кешенінің басты өндірістік кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігін арттыру мәселелерін қарастырады. Қазіргі уақытта, бәсекелестік ортада тұтас кешеннің даму бағыттарын үлгілеуде, тұтас теориялық негізделген тәсілдердің орын алмағандығын аңғаруға болады. Сондықтанда, мақалада зерттелетін пәндік саланы сипаттау; тәжірибеге теориялық жағдайларды енгізуді қамтамасыз ететін ұсыныстарды әзірлеу; әртүрлі стратегиялық үлгілерді әзірлеуге және талдауға мүмкіндік беретін, құралдарды құру кешенінің бәсекеге қабілеттілігін зерттеудің маңызды бағыттары болып табылады.

Кілт сөздер: тау-кен металлургиялық кешен, бәсеке, бәсекелестік, бәсекелестік басымдылықтар, бәсекеге қабілеттілік, бәсекеге қабілеттілікті бағалау.

Abstract: In the article see the questions of the main competitiveness of the basic mining and metallurgical complex of the Republic of Kazakhstan. At this time, we can say that the modeling of the developmental tendency of the whole complex does not depend on the theoretically theorized basis. The good characteristic of the subject area will be thinned in the stele; development of recommendations, enforcing theoretical situations in practice; Creating tools, allowing to develop and analyze different strategical models, with a great deal of incompetence in the complex.

Key words: mountain-metallurgical complex, competition, competition, competitiveness, competitiveness, appraisal of competitiveness.

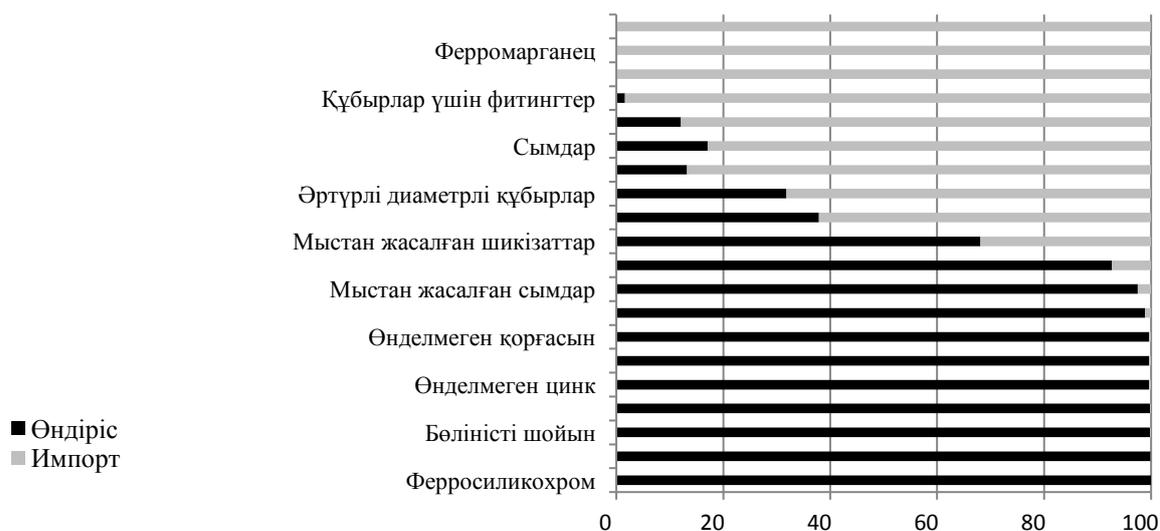
Кіріспе. Қазақстан Республикасы 2015 жылы екінші бес жылдықты жүзеге асыруға көшті. Индустриалды - инновациялық даму бағдарламасында отандық тау - кен металлургиялық кешенін дамыту – ең басты бағыттардың бірі болып табылады. 2018 жылдың қорытындысы бойынша отандық тау - кен металлургиялық кешенінің үлесі Қазақстан Республикасы ІЖӨ - де 18 % құрады және ол Республика халқының 2,9 % жұмыспен қамтамасыз етіп отыр.

Тау-кен металлургиялық кешеннің (ТМК) алдында тұрған басты мәселелер: жаңа жоғары технологиялық өндірістерді құру және сыртқы нарықта экспорттың көлемін арттыру, отандық нарықты қанағаттандыру болып табылады.

Қазақстандық нарықта металлургиялық сала өнімдеріне деген сұраныс артып келеді. Еліміздің тау-кен металлургиялық кешені ішкі нарықтың шамамен 20% ғана қамтамасыз етіп отыр. Кешеннің қазақстандық экспорты негізінен елдің ішінде қолданыс таппайтын шикізаттық тауарлармен ұсынылған. Қытай және Еуропа елдері отандық ТМК өнімдерінің басты тұтынушылары болып табылады. Отандық ТМК өнімдерінің 80% алыс шетелдерге экспортталады (1 - сурет).

Ескерту - Қазақстан Республикасы Қаржы министрлігінің Кедендік бақылау комитетінің және Қазақстан Республикасы Ұлттық экономика министрлігінің Статистика комитетінің мәліметтері негізінде әзірленген.

Ел экономикасы болаттан жасалып дәнекерленген профильдер және шпунттық құрастырмалар және темір жолдар үшін қара металл бұйымдары, ферромарганец, құбырлар және құбырлар үшін құйылған фитингтер, әртүрлі диаметрлердегі құбырлар, салқын тарту жолымен алынған сымдар, ыстыққақталған бұйымдар секілді өнім түрлерінің 100 % шет мемлекеттерден импорттайды (1 - кесте).



Сурет 1 – Өнім түрлері бойынша отандық өндірісте металлургиялық өнеркәсіптің 2017 жылғы алған үлесі, %

Кесте 1– Қазақстан Республикасы тау-кен металлургиялық кешен өнімдері экспорты және импортының 2011, 2016, 2017 жылдардағы тауарлық құрылымы, млн. долл.

Тауарлар мен өнімдер/ млн.долл.	Экспорт					Импорт				
	2011 жыл	2016 жыл	2017 жыл	Өсі м, %	Ұд.с алм, %	2011 жыл	2016 жыл	2017 жыл	Өсі м, %	Ұд.с алм, %
Барлық	10811,1	7802,2	6468,2	-17,1	100	6357,0	6370,4	4249,7	-33,3	100

тауар ұстанымдары										
Қара металдар	6271,9	3252,5	3077,9	-5,4	47,6	1183,5	1148,4	1043,2	-9,2	24,5
Түрлі-түсті металдар	4539,9	4549,7	3390,3	-11,7	52,4	5173,5	5222,0	3206,5	-24,1	75,5
Ескерту – www.kaznexinvest.kz										

Отандық тау-кен металлургиялық кешені өнімдерінің экспортын мен импортын зерттей отырып, мынандай қорытындыға келеміз:

- шикізаттық өнімдер импортының төмендеуі және жоғары бөлініс өнімдерінің артуы байқалады;

- ең аз көлемде өңделген өнімдер экспортының өсу үрдісі байқалады. Бірақ дайын өнім экспорты төмендеген.

Мемлекетіміз металлургиялық өнеркәсіп өндірісіне қажетті шикізаттарды және металдарды шетелге ең төменгі құнмен шығарады. Ал дайын жоғары сапалы металл өнімдері және олардың негізінде әзірленген бұйымдар елімізге жоғары қосымша құнмен кері импортталады. Қазақстан Республикасы тау-кен металлургиялық кешені өнімдерінің сыртқы саудадағы жағдайы экспорт көлемінің төмендеудің жалпы үрдісімен, дайын өнімнің импортының артуымен мазмұндалады.

Әлемдік нарықтардағы бәсекелестік күрестің күрделенуі қазақстандық тау-кен металлургиялық кешен кәсіпорындарының дамуына кедергі жасап отыр. Бір жағынан, бұл жағдай әлемдік тау - кен металлургиялық өнеркәсіптерінде орын алған жалпы мәселелермен байланысты шынайы себептерден туындаса, екінші жағынан, созылмалы депрессия жағдайындағы отандық кешеннің жағдайын одан әрі қиындатады. Қалыптасқан жағдайда тау - кен өнеркәсібіндегі дағдарыстан шығу үшін жедел іс - қимылдар қажет. Импортты алмастыру проблемаларында шешу қажет.

Жүргізілген зерттеулерге сәйкес, тау-кен металлургиялық кешенінің бәсекеге қабілеттілігіне келесі факторлар әсер етеді:

- нарықтардың даму үрдістері;
- бәсекелестіктің мазмұны және деңгейі(негізінен шетелдік);
- шикізат ресурстарына қол жетімділік деңгейі;
- саланы қолдайтын мемлекеттік бағдарламалардың орын алуы.

Бірақ атаулы салада шешімін таппаған мәселелер көп. Қазақстан Республикасы тау-кен металлургиялық кешенінің бәсекеге қабілеттілігін арттыру және импортты алмастыру мәселелерін шешу үшін арнайы мемлекеттік бағдарламалар әзірледі. Бағдарлама бойынша 3 мақсатты индикатор анықталды. Біріншіден, бұл металлургия саласында минералды шикізаттарды терең өңдеу және жаңа бөліністерді құру негізінде 2012 жылмен салыстырғанда 2019 жылы ұдайы қосымша құнды шынайы мағынада 50 % өсіру. Екіншіден, 2012 жылмен салыстырғанда металлургиялық өнімдердің экспорт көлемін 30 % арттыру. Үшіншіден, мақсатты индикатор - ол 2012

жылмен салыстырғанда тау - кен металлургиялық кешенінде еңбек өнімділігін кем дегенде 15 % көтеру.

Бағдарламаны жүзеге асырудың нәтижесі ретінде металлургиялық өнеркәсіптің ұдайы қосымша құнының шынайы өсімі 2012 жылмен салыстырғанда 2018 жылы 35,6 % артып, номиналдық мағынада 1,2 трлн теңгені құрады. Металлургиялық өнеркәсіптің өндіріс көлемі 2012 жылмен салыстырғанда 2018 жылы 1,56 трлн теңгеден 1,763 трлн теңгеге немесе 12,9 % артты. Бағдарлама шеңберінде металл өнімдерінің экспорты 2012 - 2018 жылдар аралығында құндық мағынада 23,2 % төмендеді. Әлемдік нарықтағы базалық металдар бағаларының ауытқуы, сыртқы нарықтағы сұраныстың төмендеуі, әлсіз дамыған ішкі нарық, отандық металлургиялық кәсіпорындарының өндірістік қуаттылықтары жүктелімінің аздығы - экспорт көлемінің азаюына әкеп соқты.

Отандық тау-кен металлургиялық кешенің бәсекеге қабілеттілігін талдау барысында SWOT- талдау әдісі пайдаланылды. Қарастырылып отырған кәсіпорындардың ішкі және сыртқы факторларының маңыздылығы анықталып, сонымен қатар олардың әсер етуі бағаланды. Факторлардың сараптамалық мағынасын олардың маңыздылығына көбейту жолымен ішкі және сыртқы факторлардың өлшемді бағасы табылды (2 - кесте).

Кесте 2 – ҚР тау-кен металлургиялық кешен кәсіпорындары қызметінің мықты және әлсіз жақтарын бағалау

Ішкі стратегиялық фактор	Маңыздылығы	«Казцинк» АҚ		«KAZ Minerals» (бұрынғы «Қазақмыс» АҚ) –		«ERG» (бұрынғы ENRC) -	
		Факторларды бағалау	Өлшемді бағасы	Факторларды бағалау	Өлшемді бағасы	Факторларды бағалау	Өлшемді бағасы
Мықты жақтары							
Сапалы минералдық шикізат базасы	0,30	5	1,50	5	1,50	5	1,50
Қызмет түрінің алуандығы	0,20	5	1,00	4	0,80	5	1,00
Имидж	0,10	4	0,40	2	0,20	1	0,10
Мықты кадрлық саясат	0,10	4	0,40	4		4	
Білікті персонал	0,10	4	0,40	4	0,40	4	0,40
Кәсіпорынның дамуын қолдау бойынша мемлекеттік іс-шаралар	0,30	5	1,50	4	1,20	5	1,50
Қорытынды	1		5,20		4,10		4,50
Әлсіз жақтары							

Ескірген технологиялар және маңызды дәрежеде тозығы жеткен құрал-жабдықтар	0,20	4	0,80	5	1,00	4	0,80
Төмен еңбек өнімділігі	0,15	5	0,75	5	0,75	5	0,75
Көлік инфрақұрылымының нашар дамуы	0,10	3	0,30	3	0,30	2	0,20
Әлсіз менеджмент және маркетинг, нақты бәсекелестік стратегияның жоқтығы	0,15	3	0,45	2	0,30	3	0,45
Экспортта шикізаттық үлестін жоғары болуы және дайын өнім үлесінің төмендігі	0,20	4	0,80	3	0,30	4	0,80
Білікті кадрлардың тапшылығы	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Қорытынды	1	-	3,90	-	3,45	-	3,80
Ескерту – дайындаған автор							

Кестелерде өндірістік кәсіпорындардың ішкі және сыртқы ортасының жекеленген факторлары бойынша бағалануы көрсетілген. Сарапшылардың әлсіз жақтар немесе қауіп - қатерлер бойынша берген бағалары неғұрлым жоғары болған сайын кәсіпорындар үшін соғұрлым қауіпті болып келеді (3 - кесте).

Кесте 3 – ҚРтау-кен металлургиялық кешен кәсіпорындары қызметінің мүмкіндіктері және қауіп - қатерлерін бағалауы

Ішкі стратегиялық фактор	Маңы здылығы	«Казцинк» АҚ		«KAZ Minerals» (бұрынғы «Қазақмыс» АҚ)		«ERG» (бұрынғы ENRC)	
		Факторларды бағалау	Өлшемді бағасы	Факторларды бағалау	Өлшемді бағасы	Факторларды бағалау	Өлшемді бағасы
Мүмкіндіктер							
Технологиялық көшбасшылардың тәжірибесін пайдаланумен технологиялар трасферті	0,25	3	0,75	4	1,00	3	0,75
Инновациялық жобаларды еңгізу	0,20	5	1,00	4	0,80	4	0,80
Стратегиялық	0,20	3	0,60	3	0,60	4	0,80

инвесторларды тарту							
Шығарылатын өнімнің сапасын арттыру және ассортиментін кеңейту	0,20	4	0,80	4	0,80	4	0,80
Қайталама техногенді түзілімдерді пайдалану	0,15	3	0,45	2	0,30	3	0,45
Қорытынды	1		3,60		3,50		3,60
Қауіп-қатер							
Әлемдік бәсекелестіктің өршуі	0,30	4	1,20	5	1,50	5	1,50
Әлемдік нарықтарда бағалардың қолайсыз өзгерісі	0,30	5	1,50	5	1,50	5	1,50
Кәсіпорындарының резидент емес тұлғалардың меншігінде болуы	0,20	3	0,60	3	0,60	4	0,80
Интеграцияланудың кері әсерлері	0,20	3	0,60	3	0,60	4	0,80
Қорытынды	1	-	3,9	-	4,2	-	4,6
Ескерту – дайындаған автор							

Мүмкіндіктері және қауіп - қатерлеріне қатысты сыртқы ортаның кешенді бағалануы бойынша да «Казцинк» АҚ басқа бәсекелес компаниялармен салыстырғанда неғұрлым оңтайлы орынға жайғасқанын байқаймыз. Ол мүмкіндіктерге қатысты ең жоғары мағынаға (3,60 ұпай) және қауіп-қатерлерге қатысты ең төменгі мағынаға (3,90 ұпай) ие.

«Казцинк» АҚ-ның неғұрлым жақын орналасқан бәсекелесі «ERG» (бұрынғы - ENRC) компаниясы, ал неғұрлым шалғай орналасқан бәсекелес компания «KAZ Minerals» (бұрынғы – «Қазақмыс» АҚ). Өзіндік мықты және әлсіз жақтардың нақты мағыналарына негізделіп және бәсекелестердің мәліметтерін ескеріп, «Казцинк» АҚ өз қызметін одан әрі дамыту үшін неғұрлым оңтайлы даму стратегиясын әзірлеп және оны жүзеге асыра алады. Кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігін бағалаудың қолда бар әдістерін талдау негізінде біз келесі формула барысында бәсекеге қабілеттілікті бағалаудың рейтингтік әдісін пайдалануды ұсындық.

$$R_i = \sqrt{k_1 x_{ij}^2 + k_2 x_{(i+1)j}^2 + \dots + k_n x_{nj}^2} \quad (1)$$

Бұнда $k_1, k_2 \dots k_n$ - кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігінің көрсеткіштері мәнінің коэффициенттері, $\sum k = 1$;

x_{ij} - стандартталған коэффициенттер мағынасы;

R_i - мағынасы көп болған сайын, кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігіде артады.

Бұл әдіс кешеннің кез-келген саласының кәсіпорындары үшін қолдануға тұрарлық. Бірақта, рейтингті біртептік өнім өндіретін өзара бәсекелес кәсіпорындар арасында ғана салыстыру қажет. Сондықтанда әдісті бейімдеу үшін зерттеу объектісі ретінде біз түрлі-түсті металлургия саласының үш кәсіпорнын таңдадық:

- «Казцинк» АҚ;
- «KAZ Minerals» (бұрынғы - «Қазақмыс» АҚ);
- «ERG» (бұрынғы - ENRC).

Зерттелетін кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін бағалауды жүргізу үшін көрсеткіштер жиынтығының негіздемесі қажет. Бағаланатын көрсеткіштерде жаңа туындаған жағдайларға тәуелді өзгеруі мүмкіндігін ескерген жөн. Біз, бағалау үшін сала кәсіпорындарының бәсекеге қабілетті факторларының классификациясынантуындайтын кәсіпорынның қызметінің әртүрлі қырларын мазмұндайтын, топтық көрсеткіштерді пайдалануды ұсынамыз.

Топтық көрсеткіштер келесі формуламен есептелінеді:

$$K_i = \sum_{j=1}^m (b_j P_j); \quad (2)$$

Кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігін бағалаудың рейтингтік әдісіне сәйкес келесі қадам - стандартталған коэффициенттердің матрицасын қалыптастыру болып табылады. Ол үшін бірлік болып қабылданатын көрсеткіштің максималды мағынасы таңдалады. Басқа барлық көрсеткіштер осы мағынаға бөлінеді (4 - кесте).

Кесте 4 – Тау - кен металлургиялық кешені кәсіпорындарының стандартталған матрицалар коэффициенттері X_{ij}

Кәсіпорын атаулары	Коэффициенттері X_{ij}					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
«Казцинк» АҚ	0,96	0,74	1,00	1,00	1,00	0,99
«KAZ Minerals»	0,94	1,00	0,98	0,51	0,97	0,98
«ERG»	1,00	0,98	0,98	0,32	0,88	1,00
Ескерту – Автормен әзірленген						

Кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігін рейтингтік бағалау (3) формула бойынша есептелінеді, алынған мәліметтер 8 - кестеде сипатталған. Алынған рейтингтік R_i бағамдары еселеу бойынша орналасады және әр кәсіпорынның орны анықталады. R_i бағамының ең жоғары мағынасына ие кәсіпорын бірінші орынға ие болады. Нәтиже бойынша келесі кәсіпорын екінші, үшінші орындарды иеленеді.

Кесте 8 – Тау - кен металлургиялық кешен кәсіпорындарының бәсекеге қабілеттілігінің рейтингтік бағасы

Кәсіпорын атаулары	R_i	Рейтингтік баға
«Казцинк» АҚ	3,078838	1
«KAZ Minerals»	2,636533	2
«ERG»	2,419112	3
Ескерту – Автормен әзірленген.		

Рейтингтік бағалаудың қорытындысына сәйкес «Казцинк» АҚ кәсіпорны ең жоғары бәсекеге қабілеттілікті иеленеді. Бұл кәсіпорын алты көрсеткіштің ішінен үшеуі бойынша ең жоғары мәнге ие болды.

Кәсіпорын еңбек қызметінің, кәсіпорынның қаржылық жағдайының және маркетингтік қызметтің көрсеткіштері бойынша көшбасшы болып табылады. Ал кәсіпорынның өндірістік қызметінің көрсеткіштері, нарықта алатын үлесі және өнімнің бәсекеге қабілеттілігінің көрсеткіштері бойынша жоғары мағыналарға ие.

«KAZ Minerals» кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігінің жоғары болуы және «ERG» компаниясының бәсекеге қабілеттілігі төмен болуы: кәсіпорынның қаржылық жағдайы және маркетингтік қызметтің көрсеткіштерінің төмен болуымен байланысты. Кәсіпорындардың бәсекеге қабілеттілігін бағалау нәтижелері әр кәсіпорын үшін оның деңгейін арттыру бойынша іс - шараларды анықтауға мүмкіндік береді.

Біз, «Казцинк» АҚ бәсекеге қабілеттілігін арттыру мақсатында келесі іс-шараларды ұсынамыз:

- кәсіпорынның өндірістік қызметін жетілдіру;
- нарықта алатын үлесін кеңейту;
- өнімнің бәсекеге қабілеттілігін арттыру.

Бұл кәсіпорын бағалау бойынша жоғары рейтингтік көрсеткіштерге ие болғанымен, ұсынылған іс-шаралар жүзеге аспаса, онда компания иеленетін нарықтық ұстанымдарынан айырылып қалуы мүмкін.

«KAZ Minerals» кәсіпорнының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін келесі іс-шараларды жүзеге асыру маңызды болып табылады деп санаймыз:

- өндірісті жаңғырту, қазіргі заманғы технологияларды енгізу;
- өндірістік қуаттылықты пайдалануды жақсарту;
- өнімнің сапасын арттыру;
- кадрлық әлеуетті жақсарту;
- маркетингтік қызметті дамыту.

«ERG» компаниясының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін келесі іс-шараларды жүзеге асыру қажет:

- кәсіпорынның қаржылық жағдайын жақсарту;
- маркетингтік қызметті дамыту.

Аталмыш кәсіпорынның өндірістік қызметінің көрсеткіштері жоғары, бұл оған өзінің бәсекеге қабілеттілігін жақсартуға септігін тигізеді анық.

Әдебиеттер тізімі

1 Мемлекет басшысы Н.Ә. Назарбаевтың «Қазақстанның үшінші жаңғыруы: жаһандық бәсекеге қабілеттілік» атты Қазақстан халқына Жолдауы. 31.01.2017. *Memleket basshysy N.Ә. Nazarbaevtyñ «Qazaqstannuñ yshinshi zhañgyruy: zhahandyq bәsekege qabilettilik» atty Qazaqstan halқыna ZHoldauy. 31.01.2017.* [Head of State N. Nazarbayev Address by President of the Republic of Kazakhstan Nursultan Nazarbayev to the People of Kazakhstan "Third Revival of Kazakhstan: Global Competitiveness". 31.01.2017]

2 Ахметов, Д.С. Еуразиялық ынтымақтастық аясында кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілігін арттыру бағыттары //«ҚазҰУ хабаршысы» Экономикалық серия. – Алматы: Қазақ университеті, – 2014. – №4 (104). – б. 168-176. *Ahmetov, D.S. Euraziyalyq ыntymaqtastyq ayasynda kәsiporynnuñ bәsekege qabilettiligін arttyru baғыttary //«QazҰU habarshysy» Ekonomikalыq seriya. – Almaty: Qazaq universiteti, – 2014. – №4 (104). – b. 168-176.* [D. Akhmetov, Directions of increasing the competitiveness of the enterprise within the framework of Eurasian cooperation //Economic journal of "KazNU Bulletin". - Almaty: Kazakh University, - 2014. - №4 (104). - p. 168-176.]

3 Ахметов, Д.С. Анализ основных проблем развития горно-металлургического комплекса Республики Казахстан //«Наука как основа мирного диалога». Материалы международной конференции, - Донецк. Знание, – 2014. – с. 81-89. *Ahmetov, D.S. Analiz osnovnyh problem razvitiya gorno-metallurgicheskogo kompleksa Respubliki Kazahstan //«Nauka kak osnova mirnogo dialoga». Materialy mezhdunarodnoj konferencii, - Doneck. Znanie, – 2014. – s. 81-89.* [D.Akhmetov, Problem analysis of the basic mining and metallurgical complex of the Republic of Kazakhstan //«Наука как основа мирного диалога». Materials from the International Conference, Donetsk. Wise, - 2014. - p. 81-89.]

4 Ахметов, Д.С. Основные проблемы устойчивого развития горно-металлургического комплекса Республики Казахстан //Современная экономика: проблемы, пути решения, перспективы: сборник научных трудов. – Кинель: РИЦ СГСХА, 2016. – с. 259-263. *Ahmetov, D.S. Osnovnye problemy ustojchivogo razvitiya gorno-metallurgicheskogo kompleksa Respubliki Kazahstan //Sovremennaya ekonomika: problemy, puti resheniya, perspektivy: sbornik nauchnyh trudov. – Kinel': RIC SGSKHA, 2016. – s. 259-263.* [D. Ahmetov, Fundamental problems of steady development of mining and metallurgical complex Republic of Kazakhstan //Modern economy: problem, putni solution, perspectives: the collection of scientific works. - Kinlu: RIC SGXHA, 2016. - p. 259-263]

5 Akhmetov, D.S. Forming the competitive strategy of an enterprise based on changing its financial stability //Actual Problems of Economics, – 2014. -V. 152 – Iss. 2. – p. 473-481.

6 Ахметов, Д.С. Шаруашылықтың стратегиялық аймағында кәсіпорынның бәсекелестік күресінің ұғымдары //«Шоқан тағылымдары - 17» халықаралық ғылыми – практикалық конференция материалдары. –

Көкшетау: КМУ, 2013. – б. 8-12. *Ahmetov, D.S. SHaruashylyқтың strategiyalyқ аймағында кәсіпорынның бәсекеlestik күресінің ұғымдары //«SHoқан тағылымдары -17» halуқаралық ғылыми – praktikalyқ konferenciya materialdary. – Kөkshetau: KМУ, 2013. – b. 8-12. [D. Ahmetov, Concepts of competitive struggle of the enterprise in the strategic area of the economics //Materials of the international scientific-practical conference "Chokan texts -17". - Kokshetau: KSU, 2013. - p. 8-12]*

7 Ахметов, Д.С. Өндірістік кәсіпорындардың даму стратегиясын әзірлеудің тұжырымдамалық негіздері //«ҚазЭУхабаршысы», 2014. – № 1(97). – б. 9-17. *Ahmetov, D.S. Өndiristik кәсіпорындардың даму стратегиясын әзірлеудің тұжырымдамалық негіздері //«ҚазЕУхабаршысы», 2014. – № 1 (97). – b. 9-17. [D. Akhmetov, Conceptual Framework for Business Development Strategy Development // KazEU Reporter, 2014. - № 1 (97). - p. 9-17.]*

УДК 333, 334

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ КЛАСТЕРОВ В СТРАНАХ ЕАЭС

A COMPARATIVE ANALYSIS OF CLUSTERS DEVELOPMENT IN THE EAEU COUNTRIES

Сапанова Р.К.

*Рудненского индустриального института, Рудный, Казахстан
ramila1983v@mail.ru*

Sapanova R.K.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Зарубежная практика показывает, кластеры не создаются искусственно, а эволюционно развиваются из географических агломераций, обладающих критической плотностью и частотой экономических, социальных и инновационных транзакций, на базе имеющегося индустриального потенциала в конкретном историческом, социально-экономическом и политическом контексте. Принимая во внимание мировые тенденции, научный и производственный потенциал государств, определен ряд приоритетных направлений экономики, среди которых ключевую позицию занимает развитие экономических кластеров. Вместе с тем, все более тесная интеграция Казахстана, России, Белоруссии, Армении и Киргизии в форме Евразийского экономического союза (ЕАЭС) требует новых научно-обоснованных подходов к развитию кластерной экономики в условиях консолидации рынков стран ЕАЭС.

Ключевые слова: экономические кластеры, особые экономические зоны, свободная экономическая зона, специальные экономические зоны, кластерные объединения, инвестиционные кластеры.

Annotation: Foreign practice shows that clusters are not created artificially, but develop evolutionarily from geographical agglomerations that have critical density and frequency of economic, social and innovative transactions, based on the existing industrial potential in a specific historical, socio-economic and political context. Taking into account world trends, scientific and production potential of countries, a number of priority areas of economics are identified, among which a key position is occupied by economic clusters development. At the same time, closer integration of Kazakhstan, Russia, Belarus, Armenia and Kyrgyzstan in the form of the Eurasian Economic Union (EAEU) requires new science-based approaches to the development of cluster economics in the context of EAEU countries' markets consolidation.

Keywords: economic clusters, special economic zones, free economic zones, special economic zones, cluster associations, investment clusters

Наиболее эффективной организационной формой бизнеса, стимулирующей развитие инноваций и повышение конкурентоспособности хозяйствующих субъектов, и региональной, национальной экономик, конечно, является кластер.

В международной практике распространение кластерных инициатив и формирование национальных политик в области кластерного развития стало повсеместным с середины 2000-х, начале 2010-х годов. Сегодня полностью или частично охвачены кластеризацией промышленность Дании, Норвегии, Финляндии, Швеции, Китая. Активно идет процесс формирования кластеров в странах, вошедшие в состав Евразийского экономического союза [5].

В России кластерная политика начала формироваться в 2005 году. Первые кластеры появились в 2006 году. С 2012 г. законодательно закреплена возможность создавать кластеры в особых экономических зонах (ОЭЗ), что позволит участникам кластера пользоваться льготами, которые распространяются в данной зоне.

Наряду с кластерами активно создаются технопарки. Причем, очень часто технопарк является промежуточным этапом формирования кластера. На сегодняшний день в России уже сформированы кластеры, объединившие предприятия самой разной направленности:

- авиакосмические (Москва и Самара);
- пищевой промышленности (Москва, Санкт-Петербург, Белгородская область);
- химической промышленности (Пермский край);
- автотранспортное производство (Калуга);
- нано- и биотехнологий (Саратов);
- биофармацевтики (Алтайский край).

Также планируется создание ряда кластеров. Например, в Удмуртии к 2020 году может появиться кластер промышленного туризма. В промышленном кластере Челябинской области будут разрабатываться инновационные материалы, которые будут использоваться в текстильной области. В

Тюменской области будут созданы лесопромышленные кластеры, которые объединят действующие и строящиеся производства. А в Дубне появится промышленный кластер «Безопасность». Компании будут разрабатывать продукцию в сфере комплексной безопасности страны, которая будет продвигаться, в том числе и на внешний рынок [5].

В Казахстане принята Стратегия индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2003-2015 годы, которая являлась общесистемным документом, формирующим целостную и комплексную экономическую политику государства на период до 2015 года и задающим конкретные направления индустриально-инновационного развития. На период до 2015 года основным приоритетом политики форсированной индустриализации стала реализация крупных инвестиционных проектов в традиционных экспортоориентированных секторах экономики, с мультипликацией новых бизнес возможностей для малого и среднего бизнеса через целенаправленное развитие казахстанского содержания, последующих переделов и переработки.

В 2014г. в Республике Казахстан была принята Государственная программа по форсированному индустриально-инновационному развитию на 2010 – 2014гг., направленная на обеспечение устойчивого и сбалансированного роста экономики через диверсификацию и повышение ее конкурентоспособности.

В 2015г. в Казахстане утверждена Государственная программа индустриально-инновационного развития на 2015-2019 годы. Кластерная инициатива является одной из важнейших составляющих Государственной программы индустриально-инновационного развития на 2015-2019 годы. В программе выделяются отраслевые и инновационные кластеры с целью усиления конкурентоспособности предприятий за счет их взаимодействия и интеграции с наукой, инновационными центрами и образовательными учреждениями, а также создания отраслевых экосистем. На территории страны потенциально выделяют 23 кластера.

Кластерный подход актуален для социально-экономического развития региона республики. В связи с этим, в Казахстане созданы специальные экономические зоны (СЭЗ), представляющие собой административно-деловые центры и индустриальные зоны. Целями СЭЗ являются ускоренное развитие региона для активизации вхождения экономики республики в систему мировых хозяйственных связей, создание высокоэффективных, в том числе высокотехнологичных и конкурентоспособных производств, освоение выпуска новых видов продукции, привлечение инвестиций, совершенствование правовых норм рыночных отношений, а также внедрение современных методов управления и хозяйствования. На сегодняшний день в Казахстане сформированы кластеры:

- легкая промышленность (Астана, Южный Казахстан);
- автомобилестроение и машиностроение (Астана, Караганда);
- авиационная промышленность (Астана);

- информационные технологии (Южный Казахстан);
- металлургическая промышленность (Атырауская область, Караганда);
- химическая промышленность (Астана, Павлодар, Южный Казахстан, Атырауская область).

Горно-металлургическая отрасль представляет собой стратегическую отрасль экономики страны, роль которой состоит в обеспечении сырьем производства высокотехнологичной и наукоемкой конечной продукции (машиностроения, стройиндустрии, авиационной, космической и оборонной промышленности). Наибольший объем импорта приходится на: трубы, трубки и профили пустотелые; металлоконструкции из черных металлов и их части; прутки из железа или нелегированной стали и прочие изделия из черных металлов.

Основными задачами горно-металлургической отрасли Казахстана являются: создание конкурентоспособных, производств, расширение номенклатуры и увеличение доли продукции глубокой переработки с высокой добавленной стоимостью с привлечением малого и среднего бизнеса [5].

Белорусский опыт уже насчитывает ряд успешных примеров. К действующим на территории Республики Беларусь кластерам можно отнести:

- медико-фармацевтический кластер «Союз медицинских, фармацевтических и научно-образовательных организаций «Медицина и фармацевтика – инновационные проекты» (зарегистрирован 19 августа 2015 года);

- инновационно-промышленный кластер «Микро- опто- и СВЧ-электроника» (зарегистрирован 10 февраля 2017 г);

- светотехнический кластер Республики Беларусь (зарегистрирован 20 декабря 2014 г.);

- научно-технологическая ассоциация «Инфопарк», созданная в 2001 году. Представляет собой некоммерческое объединение ИТ-компаний. В 2017 году насчитывала 60 участников;

- кластеры на базе Национальной академии наук Республики Беларусь. Одним из приоритетных направлений развития Национальной академии наук является коммерциализация научных исследований, а также формирование собственных кластеров с предприятиями. Пример: Республиканский научно-практический биотехнологический кластер, объединивший Институт микробиологии, Институт генетики и цитологии, Институт мясо-молочной промышленности, ОАО «Бобруйский завод биотехнологий», ООО «Биоком», ООО «Франдеса». Информация о таких кластерах ограничена и не имеет юридической основы.

Идет активная проработка создания новых кластерных объединений. Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2016-2020 годы предусматривается создание системы государственной поддержки кластерных проектов в высокотехнологическом секторе экономики, формирование инфраструктуры поддержки кластерного развития с привлечением международной технической помощи [5].

Наибольшего развития в Армении достигли такие кластеры, как нефтехимический, обработки алмазов и изготовления ювелирных изделий, добычи и обработки металлов, фармацевтический онкологических услуг

В последние годы большую активность проявляет армянский фармацевтический кластер, уникальностью которого является расширение производства медикаментов из целебных трав (выпуск натуральных лечебных средств достиг 24% от всего объема производимых кластером медикаментов).

Инновационный кластер в Армении - выращивание и реализация цветов. Несмотря на то, что в республике данная отрасль находится на начальном этапе развития, она продемонстрировала впечатляющие показатели своей деятельности. Хозяйствующими субъектами Армении было экспортировано 410 тонн продукции стоимостью в 2,7 млн. долларов и импортировано в 10 раз меньше (40 тонн цветов на сумму 346 200 долларов). В этой связи уместно провести некоторые сопоставления. В данной сфере успешно функционируют компании Израиля, Эфиопии, Японии и Малайзии. Армении вполне по силам с ними конкурировать на отдельных рынках, поскольку новейшие технологии хранения и транспортировки цветочной продукции позволяют осуществлять эффективный экспорт даже в условиях отсутствия выхода к морю. Этому может способствовать и рост спроса на цветочную продукцию в стране-партнере Армении по ЕАЭС.

Армения создает свободную экономическую зону для развития высокотехнологических стартапов со всего мира. Создаваемая свободная экономическая зона призвана стать точкой притяжения технологических стартапов со всего мира и обеспечить комфортные условия для их развития. Цель проекта – сделать Армению привлекательным технологическим центром мирового уровня и создать в стране комфортную для предпринимателей и инвесторов экосистему, где будут функционировать все инфраструктурные сервисы — от образовательно-коммуникационных программ до электронных площадок, нацеленных на проведение безопасных процедур по привлечению инвестиций в развиваемые проекты. В рамках новой экосистемы также будет действовать идентификационный центр, целью которого станет обеспечение соответствия участниками СЭЗ требованиям международных организаций.

В 2017 г. создан образовательный кластер в городе Дилижан, целью которого является формирование в Армении образовательной среды завтрашнего дня, в которой успешно применяется опыт наиболее прогрессивных образовательных систем мира.

В Киргизии Минэкономрегулирования разработал проект по созданию и внедрению инвестиционных кластеров в пищевой и перерабатывающей промышленности республики (12 проектов).

Учитывая нарастающий дефицит бюджета без оперативной финансовой помощи республике не обойтись. Реализация предложенных Минсельхозом Киргизии инвестиционных кластеров возможна за счет прямых иностранных инвестиций, грантов.

Кластерная модель развития Новосибирской области будет взята за основу развития Исык-Кульской области Киргизии. На территории Исык-Кульской области создается девять кластеров – несколько туристических, лечебно-реабилитационных, пищевых, агрокультурный, кластер биотехнологий.

В Чуйской области Республики Киргизии региональные инновационные кластеры могут иметь в своей основе устойчивую систему распространения новых технологий, знаний, продукции, так называемую технологическую сеть, которая опирается на совместную научную базу. По Чуйской области, можно сказать, что существенным потенциалом развития зернового кластера является Сокулукский, Аламединский и Исык-Атинский районы. Формирование и развитие овцеводческого кластера целесообразно в Панфиловском, Жайылском, Московском районах. Также существенным потенциалом развития пищевой промышленности в кластерных структурах, так как большинство пищевых и перерабатывающих предприятий.

Список литературы

1 Кайдарова, С.Е. Кластерное развитие как инструмент повышения конкурентоспособности регионов Республики Казахстан//Вестник Инновационного Евразийского университета, 2012.// режим доступа <https://articlekz.com/article/13251>

2 Методические рекомендации по реализации кластерной политики в северных субъектах Российской Федерации //http://www.tpprf.ru

3 Michael Porter, Clusters and the New Economics of Competition, Harvard Business Review, Reprint 98609, Nov-Dec 1998.

4 Программа по форсированному индустриально-инновационному развитию Республики Казахстан на 2010 2014 годы. – Астана, // Режим доступа: <http://kzgov.docdat.com/docs/148/index-214955.html?page=14>

5 Шулейко Д.Ч., Совик Л.Е. О развитии кластерных инициатив в Республике Беларусь // Universum: Экономика и юриспруденция: электрон.научн. журн. 2018. № 10(55).

УДК 316.35

МОЛОДЕЖЬ – БУДУЩЕЕ СТРАНЫ

YOUTH YEAR – THE FUTURE OF THE COUNTRY

Султангалиева М.Д.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

marzija_sd@rambler.ru

Sultangalieva M.D.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Статья посвящена Году молодежи, заботе государства о молодежи, объясняет суть и значение различных образовательных и социальных программ, которые приняты в нашей стране для будущего молодежи.

Ключевые слова: молодежь, год молодежи, будущее, образовательные и социальные программы, забота, студент

Annotation: This article is concerning to the importance of the Youth Year , on the state's care for youth, explains the essence and significance of various educational and social programs that are adopted in our country for the future of youth.

Key words: youth, year of youth, future, educational and social programs, care, student

Жастар - жоғары адами әлеуетімен, білімге деген зор талпынысымен, тез шешім қабылдауға қабілеттілігімен, күнделікті көрініс табатын динамикалық өзгерістерімен, қоршаған орта жаңашылдығына бейімділігімен және тек оларға тән зор максимализммен сипатталатын әлеуметтік топ. Дәл осы қасиеттер оларды ел болашағын алға бастыратын күшті де сенімді топ етіп суреттейді. Жастар – кез келген мемлекеттің ең белсенді мүшесі, қоғамның қозғаушы күші, болашақта ел тірегі. Қазақстанның әлемнің ең дамыған 30 елінің қатарына кіруі жолында жастардың атқаратын рөлі зор. Сондықтан да «Қазақстанның болашағы - жастар» деп еліміз оларға үміт артады. Қазақстан дамуының 2030 жылға дейінгі Стратегиясында Қазақстанның болашақтағы мақсаттары мен міндеттерінің абыройлы орындалуы елімізде рухани және ғылыми дамуы заманға сай дәрежедегі жоғары интеллекті адами әлеует болғанда ғана мүмкін делінген. Мұндай жоғары талаптарға бүгінгі студент, ертеңгі жас маман ғана жауап бере алады. Себебі, университет түлегі ЖОО-ның негізгі өнімі ретінде білімі жағынан жаңа заман талабына сай дайындалып, қоғамның әр түрлі мәселелерін шешуде белсенді болуға тәрбиеленеді.

Студент латын тілінен «шын ықыласпен оқу» дегенді білдіреді екен, ендеше мемлекет талабы, нарық сұранысы қандай болса да ең әуелі студент жастар өздері талапты, ықыласты, білім мен ғылымды меңгеруде тындырымды болулары керек, осындай болған жағдайда ғана олар «қозғаушы күш». Әлемдегі студенттер саны соңғы 30 жылда 5 есе артып, көптеген миллиардтарға жетті. ЮНЕСКО-ның болжауы бойынша ХХІ ғасырда әлемнің студент жастар саны одан әрі де өсіп, 2025 жылға қарай 100 млн-ға жетеді екен.

Біздің елімізде де ел халқының басым бөлігі жастар, статистика комитетінің мәлімдеуінше, қазір елімізде 3 900 834 жас бар. Жастар – Қазақстанның он төрт жастан жиырма тоғыз жасқа дейінгі (соңғы кездері 44-ке дейінгі деп жүр) азаматтары. Мемлекетіміз осы жастардың бүгіні мен болашағына қамқорлық жасауды өз саясатының негізгі мәні деп санайды.

Олардың білім алып, жан-жақты дамуына, ел қорғаны азамат болып қалыптасуына барлық жағдай жасады, жасап келеді де.

Елбасының өзінің «Қазақстандықтардың әл-ауқатының өсуі: табыс пен тұрмыс сапасын арттыру» Жолдауында: «Жастар және отбасы институтын қолдау мемлекеттік саясаттың басымдылығына айналуы тиіс. Жастардың барлық санатын қолдауға арналған шараларды толық қамтитын әлеуметтік сатының ауқымды платформасын қалыптастыру керек. Келесі жылды Жастар жылы деп жариялауды ұсынамын» деген еді [1]. Осылайша, 2019 жыл – жастар жылы деп белгіленді. Жастар жылының басты мақсаты – осы жылы әрбір жасты белсенді болуға, қоғам мәселесіне атсалысуға шақыру, бәсекеге қабілетті ұлтты қалыптастыруда заман талабына жауап бере алатын маман кадрлар дайындауға көмектесу. Жастарды жұмыспен қамту мәселесі елімізде басты назардағы мәселе екені белгілі. Осы проблеманы шешу үшін елімізде «Дипломмен ауылға», «Бизнестің жол картасы», «Серпін», «Жұмыспен қамту-2020», «7-20-25» бағдарламасы аясында баспана алудың жаңа мүмкіндіктерін беру», «Жоғары білім алудың қолжетімділігі мен сапасын арттырып, студент жастардың жатақханадағы жағдайын жақсарту», т.б. бағдарламалар қолға алынып, еліміздің түкпір-түкпірінде жүзеге асырылып жатыр. Былтыр елімізде «Ел ертеңі болашақ жастар қолында» Жол картасы жасалды. Оның мақсаты – әр санаттағы жастарға қолдау көрсету. Нақты тілге тиек ететініміз: қыркүйек айынан бастап 20 000 білім беру гранты бөлінді. 2022 жылға дейін 75 мың адамға арнап жатақханалар салынады. Бұл осыншама отбасына көмек деген сөз, себебі тегін білім, стипендия алып, жатын орынмен қамтамасыз етілген, оқуын тәмамдап, табыс тапқан әрбір жас маман, ең алдымен өз отбасына, кейін елімізге тірек болу мүмкіндігіне ие» [2].

Жоғарыда аталған көптеген бағдарлама - жобалармен біздің институттың студент-жастары етене таныс қана емес, өздері солардың белсенді қатысушылары. Мысалы, біздің студенттеріміздің басым бөлігі – «Серпін» бағдарламасы бойынша білім алатын ауыл жастары. 2014 жылы іске қосылған "Серпін" бағдарламасының мақсаты – еліміздің оңтүстігіндегі жастарды кадр тапшылығын көріп отырған солтүстік, шығыс, орталық өңірлерде оқытып, жұмысқа орналастыру, сол арқылы оңтүстік аймақта жастар арасындағы жұмыссыздықтың азайту. Бұл бағдарламаның ерекшелігі - студенттер мемлекеттік грантпен білім алады, ЖОО-да олардың барлығы жатақханамен қамтылады. Біздің Рудный индустриялық институты бұл бағдарламаға қатысқан 2015 жылдан бері барлығы 380 студент қабылдаған екен, ал өткен оқу жылында Серпіннің алғашқы 123 түлегі өз оқу бағдарламааларын аяқтап, еңбек нарығына араласты. Алдағы уақытта біздің серпіндік түлектер ел экономикасына серпіліс береді деп сенеміз.

Сол сияқты біздің студенттерге жақсы таныс бағдарлама – «Академиялық ұтқырлық бағдарламасы». **Академиялық ұтқырлық** – студенттерге, магистранттар мен жас ғалымдарға белгілі бір академиялық кезеңінде өзге жоғары оқу орнына, мемлекет ішінде немесе шетелде оқу немесе зерттеулер жүргізу үшін ауысу мүмкіндігі. Біздің ЖОО-да академиялық ұтқырлық екі

негізгі бағыт бойынша жүзеге асырылады: студенттердің қазақстандық әріптес ЖОО-ғы оқуы және шетелдік ЖОО-ғы оқу. Ұтқырлық бағдарламалары әріптес ЖОО арасында жасалған келісімшарттар шеңберінде жүзеге асырылады. Бұл бағдарлама бойынша осы жылдар ішінде біздің институт студенттері Германия, Латвия (сыртқы ұтқырлық) сияқты шет елдің оқу орындарында, ішкі ұтқырлық бойынша Қарағанды, Орал, Алматы қалаларының ЖОО-ларында білім алды. Өткен оқу жылында ТКИЛП -17ко тобының студенті Мулдашев Асет, 3 семестр, сыртқы ұтқырлық бойынша Рига технологиялық университетінде (Латвия) оқып келді.

Ел дамуында өзіндік рөлі бар ерекше бағдарлама – 2009 жылы қолға алынған «Дипломмен ауылға» бағдарламасы. Оның мақсаты – жоғары білімді жас мамандарды ауылға тарту, сол арқылы жастарды ауыл шаруашылығын көтеруге белсене атсалысуға шақыру болса, басымдылығы - бұл бағдарламаға қатысқан жас мамандарды ынталандыру үшін мемлекет тарапынан көтерме ақы мен баспана алуға жеңілдетілген несие ұсынады. Денсаулық сақтау, білім беру, әлеуметтік қамсыздандыру, мәдениет, спорт және агроөнеркәсіптік кешен саласындағы маман ауылдық елдімекенге жұмысқа орналасқан жағдайда «Дипломмен ауылға» жобасы аясында тек қана 70 айлық есептік көрсеткішке тең сомада біржолғы көтерме жәрдемақы және қажеттілігіне қарай тұрғын үй салу немесе сатып алу үшін 1500 айлық есептік көрсеткіштен аспайтын сомада 15 жылға дейінгі мерзімге жылдық 0,01 % мөлшеріндегі сыйақы мөлшерлемесімен бюджеттік несие түрінде әлеуметтік қолдау шараларын алу мүмкіндігі бар. Әлеуметтік қолдау шаралары ұсынылған маман ауылдық елдімекенде кемінде үш жыл жұмыс істеуге міндеттеме алады. Бұл бағдарламаның бірінші кезеңі 2012 жылы аяқталуы қажет болатын, оның нәтижесінде 20 891 мың жас жұмысқа орналасса, соның 5883-ін оңтүстіктің жастары құрап отыр. Бұл бағдарламаның болашағына ел Президенті Қасым-Жомарт Тоқаев та зор үміт артады, ол өз Жолдауында білім сапасын арттыруға, ауылдық жерлерде білікті педагогтардың жетіспеуіне тоқтай келе: «Дипломмен – ауылға» бағдарламасының аясын кеңейтіп, жұмысты жаңа деңгейде жалғастыруымыз қажет. Үкіметке келесі жылдан бастап осы бағдарламаны қаржыландыруды 20 миллиард теңгеге жеткізуді тапсырамын» - деп қорытындылады [3].

«Жастарға қамқорлық – болашаққа қамқорлық» демекші біздің елімізде жастарға қамқорлықтың жай сөз емес, іс жүзінде де тындырымды жұмыстар жүріп жатқанына дәлел ретінде осы мәліметтер де жеткілікті шығар. Дегенмен, бұл бағдарламалар арқылы Жастар жан-жақты білімді, өз жағдайы үшін табыс табуға икемді ғана болып қоймай, мәдени жағынан өсіп, рухани жағынан сусындауы тиіс. Бұл бағытта Қазақстанда қолға алынған іс-шараның бірі де бірегейі – «Рухани жаңғыру» бағдарламасы». Бұл бағдарламаның жоғарыда Елбасы атап айтқан Ашық университет платформасын дамытып, заманауи технологиялар мен білім беру міндетін біріктіре отырып, білім сапасын жақсартуға және оны қолжетімді етуге мүмкіндік береді. Ашық университет идеясы әлемде кеңінен қолданылатын қашықтықтан білім беру мен ашық

онлайн-курстар тәжірибесіне негізделеді. Мұндай курстардың әдістемесі мен технологиясы білім беруді дербестендіреді. Яғни, әр адам өзіне ыңғайлы уақытта, өзіне ыңғайлы орында және өзіне ыңғайлы жылдамдықпен оқиды. Бұл бағдарлама бойынша да біздің институтымыз әлем тәжірибесін қабылдап, 2018-2019 оқу жылынан бастап Лисаков қаласындағы институттың қашықтықтан оқыту орталығында МООК (жалпы оқытудың онлайн курстары) оқытудың онлайн алаңы ұйымдастырылып, әуелі екі мамандық – Тау кен ісі және Құрылыс бойынша білім берсе, биылғы жылдан институтымыздың барлық мамандықтар бойынша маман дайындау ұйымдастырылмақшы. Бұл инновацияның жемісін көру болашақтың құзырында, себебі қазірдің өзінде әлем бойынша онлайн курстар тыңдаушыларының саны 100 млн. адамға жеткен.

Қазақстан жастарын бәсекеге қабілетті етіп дайындауда «Рухани жаңғыру» бағдарламасының қолға алған тағы бір Жобасы - «100 жаңа оқулық» жобасы. Жобаның мақсаты - алдағы бірнеше жылда гуманитарлық білімнің барлық бағыттары бойынша әлемдегі ең жақсы 100 оқулықты әртүрлі тілдерден тікелей қазақ тілінен аудару, сол арқылы жастарға дүние жүзіндегі таңдаулы үлгілердің негізінде білім алуға мүмкіндік жасау. Бұл жоба сол сияқты қазақстандық ашық университетті құру мен дамытуға мүмкіндік береді, қазақстандық студенттерге әлемнің үздік университеттерінің курстарын қолжетімді етеді. Қазірдің өзінде бұл жоба бойынша философия, әлеуметтану, психология, дінтану, мәдениеттану, тіл білімі, антропология, экономика, менеджмент және кәсіпкерлік бағыттарын қамтиған 17 оқулық аударылып, 2018 жылдың мамыр айында оқырманға жетсе, биылғы жылы тағы 30 оқулық аударылып, қолданысқа енуде.

Сөз соңында айтарым, осы шағын мақалада жастарымыздың білімі мен тәрбиесіне бағытталған кейбір жобалар мен бағдарламаларға шолу жасалды. Бұл жұмыстар өз жалғасын тауып, жастар жылында ойдағыдай жүзеге асатыны сөзсіз. Ең бастысы – жастар заманауи өзгерістер мен жаңарудан қалыс қалмай, бәсекеге қабілетті болуы керек. Себебі, біз жаңа жаһандық өркениетте, техника мен ғылымның қарыштай даму кезеңінде, цифрлық қоғамның, экономика мен білімнің дамыған дәуірінде өмір сүріп жатырмыз. Бұл туралы Елбасы Н.Назарбаев Жастар форумында сөйлеген сөзінде тағы баса айтты: «...Менің буыным мектепте оқып жүргенде, ауылда теледидар да жоқ еді. Радио енді ғана шыға бастаған еді. 100 жыл тарих үшін тым қысқа уақыт. Қазір бәрі 10 жылдың ішінде қалай өзгеріп жатқанын көре беріңіз. Сол үшін біздің мемлекет уақыт алға тартып отырған тегеуріндерге жауап бере алуы керек. Қазіргі таңда мемлекеттер арасында ғана емес, адамдар арасында да бәсеке қыза түсті. Креативті буыны бар мемлекет жеңімпаз болып шығады. Мен бұл жігерді Сіздерден көріп отырмын» [4]. Елбасының бұл сөзінен жастарға талап қана емес, сенімді де байқауға болады. Ендеше, біз де мемлекеттің жастарға қамқорлығы атап айту арқылы «ұлым» дейтін ел барлығына жастардың көзін жеткізсек, «елім» дейтін ұл барлығына да сеніммен қарауымыз керек. Ендігі жерде мен жастарға қазақтың классик жазушысы Ғабит Мүсіреповтің

«Алдарыңда таудай талап тұр. Өмір заңғарлары үнемі биікке шығарады. Оған жету үшін талмай ізденіңдер!» - деген сөзі арқылы сіздерге пайдақұмарлық, тоғышарлық, бойкүйездік, жалқаулық сияқты дерттерден аулақ болып, еңбекқор, сергек, сезімтал болған жарасады дегім келеді.

Әдебиеттер тізімі

1 Н.Ә.Назарбаев. «Қазақстандықтардың әл-ауқатының өсуі: табыс пен тұрмыс сапасын арттыру» Жолдауы, «Егемен Қазақстан» газеті, 2018 жыл, 5 қазан.

2 А.Р. Оралов. «Егемен Қазақстан» тілшілеріне берген сұхбатынан, 2018 жыл.

3 Қ.К.Тоқаев. «Сындарлы қоғамдық диалог – Қазақстанның тұрақтылығы мен өркендеуінің негізі» Жолдауы, «Рудненский рабочий» газеті, 2019 жыл, 6 қыркүйек.

4 Н.Ә.Назарбаев. «Тәуелсіздік ұрпақтары» Жастар форумында сөйлеген сөзінен, 2019 жыл, 23 қаңтар.

УДК 335(07)

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ ЭКОНОМИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ

SCIENTIFIC APPROACHES TO MONITORING PRODUCTIVE CAPACITY IN THE REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT MANAGEMENT SYSTEM

Колотаева Л.П., Айдарова А.Б.

*Южно-Казахстанский государственный университет им.М.Ауэзова,
Шымкент, Казахстан
ab_moon@mail.ru*

Kolotaeva L.P., Aidarova A.B.

South Kazakhstan State University named after M. Auezov, Shymkent, Kazakhstan

Аннотация: Рассматривается производственно-экономический потенциал как совокупность имеющихся в обществе материальных и иных средств, проявляющих возможности в экономической области. Это те силы, средства и возможности, которые необходимы обществу для осуществления хозяйственной деятельности, воспроизводства необходимых людям благ и услуг для удовлетворения их потребностей. Экономический потенциал рассматривается как обобщенная характеристика уровня развития экономики в стране и регионе. Росту экономического потенциала как основы устойчивого развития страны и регионов способствует сосредоточение в руках государства

достаточных интеллектуальных, материальных, производственных и финансовых ресурсов. Определены пути и способы достижения наибольшего удовлетворения общественных потребностей в условиях ограниченности ресурсов. Определены внутренние резервы экономического развития, которые связывается в первую очередь с разработкой новых рыночных подходов к определению сущности, структуры и методов оценки производственно-экономического потенциала региона.

Ключевые слова: экономика, производство, потенциал, регион, государство, эффективность.

Abstract: The production and economic potential is considered as a combination of material and other means available in society that show opportunities in the economic field. These are the forces, means and opportunities that society needs to carry out economic activities, to reproduce the goods and services necessary for people to meet their needs. Economic potential is considered as a generalized characteristic of the level of economic development in the country and region. The growth of economic potential as the basis for sustainable development of the country and regions is facilitated by the concentration in the hands of the state of sufficient intellectual, material, production and financial resources. The ways and means of achieving the greatest satisfaction of social needs in conditions of limited resources are determined. The internal reserves of economic development are identified, which is associated primarily with the development of new market approaches to determine the nature, structure and methods of assessing the production and economic potential of the region.

Key words: economy, production, potential, region, state, efficiency.

На современном этапе развития казахстанской экономики актуализируется интенсификация производственного потенциала предприятий, отраслей и территориальных комплексов, его количественное определение и практическое использование при регулировании производственных отношений. Необходимость ускоренного решения данной задачи вытекает из требований объективных экономических законов [1].

В настоящее время наблюдается усиление роли регионов в обеспечении общественного развития. Успешная реализация стратегии развития экономики требует совершенствования инструментария управления регионами. В связи с этим возникает необходимость в формировании эффективной системы управления региональным экономическим развитием.

Развитие региональной экономики подвержено влиянию многих факторов, среди которых определяющее значение имеет производственный потенциал региона. От его состояния и возможных качественных и количественных изменений зависит достижение необходимого роста производства и повышение благосостояния населения территорий.

Немаловажно, что в Казахстане в результате урбанизации создаются условия для концентрации капитала, труда, знаний и потребителей. На это

указывает правительство в Концепции индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 годы. Речь идет о появлении локальных пространственных «центров тяжести», привлекательных для производства товаров конечного потребления, привлечения инвестиций и формирования высокотехнологичных секторов [1].

Поэтому неуклонное совершенствование производственного потенциала является основным фактором решения социально-экономических проблем и важнейшим условием развития регионов. При этом для обеспечения непрерывности и устойчивости управления требуется осуществление мониторинга хозяйственной деятельности региона.

Необходимость формирования эффективной системы управления хозяйственным комплексом региона, базирующейся на мониторинге производственного потенциала, обусловлена следующими обстоятельствами:

– во-первых, традиционно мониторинг экономического развития региона рассматривается как процесс периодического наблюдения состояния исследуемого объекта, без учета его динамики;

– во-вторых, на данный момент отсутствует единая система показателей, позволяющая всесторонне и комплексно оценить состояние производственного потенциала региона;

– в-третьих, существующие системы мониторинга включают лишь оценку достигнутого на данный момент уровня производственного потенциала, не изучая при этом эффективности его использования в региональной хозяйственной системе.

Изучение экономической литературы показало, что можно выделить два подхода к определению понятия «потенциал». Первый – потенциал связывают с совокупностью ресурсов, средств, запасов, то есть с объективными параметрами хозяйственной деятельности, второй – потенциал связывают с существующими возможностями, способностями производительных сил общества [2].

В существующей экономической науке производственный потенциал определяется как потенциальные возможности сферы материального производства, включающие трудовые и материальные ресурсы, задействованные в производственной деятельности.

Для анализа производственно-экономического состояния различных субъектов нами выявлены основные факторы, которые оказывают влияние на уровень производственно-экономического развития регионов, так как именно эти причины наиболее достоверно отражают географию и динамику изучаемого процесса. Изучив теоретический и методологический материал по данной проблеме. Можем сделать заключение, что важными составляющими характеристики производственно-экономического потенциала отдельных регионов следует считать фондовый, трудовой, природный и инновационный потенциалы.

Основная задача экономического регионального мониторинга – стабилизация регионального производственного потенциала и принятие

адаптивных и корректных управленческих решений (рисунок 1). Эффективность ведения хозяйственной деятельности напрямую зависит от реальной и объективной оценки экономических процессов в регионе. Формирование информационной базы управления способствует построению реальных прогнозов основных направлений развития региональной экономической системы [3].



Рисунок 1 – Место мониторинга производственного потенциала в системе управления региональным экономическим развитием [3]

Возможности экономического развития региона в целом зависят от наличия экономических ресурсов, их сочетания и соотношения, а также от их состояния и степени использования. Именно поэтому решение вопросов экономического развития региона должно базироваться на определении производственного потенциала, анализе его структурных элементов и их взаимовлияния, формировании системы его эффективного использования [4].

Мониторинг производственного потенциала – непрерывный процесс, который включает оценку:

- величины потенциала;
- эффективности его использования.

Исследование величины производственного потенциала региона и основных элементов его структуры требуется для разработки обоснованного прогноза его развития, разработки и реализации региональной экономической политики. Исследование эффективности использования производственного потенциала субъекта позволит более обоснованно подойти к управлению региональным развитием [5].

Производственный потенциал региона имеет сложную структуру, которая в экономической литературе рассматривается с позиций отраслевого и функционального деления.

Отраслевой структурный анализ производственного потенциала региона позволяет выделить потенциал добычи полезных ископаемых, потенциал обрабатывающих производств, потенциал производства и распределения электроэнергии, газа и горячей воды, потенциал сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства, потенциал строительства. Исходя из вышесказанного, вопросы структуры, характеристики и оценки производственного потенциала региона сводятся к исследованию производственного потенциала по видам экономической деятельности в сфере материального производства в рамках единой территории.

При рассмотрении функциональной структуры производственного потенциала региона следует выделить два иерархических уровня. К первому - количественному – уровню следует отнести фондовый, трудовой и природный потенциалы видов экономической деятельности данного региона, которые являются основополагающими структурообразующими элементами производственного потенциала территории. Ко второму – качественному – уровню относится инновационный потенциал, как источник качественных преобразований количественных характеристик производственного потенциала региона.

Основное содержание инноваций выражается в высвобождении трудовых, производственных и природных ресурсов, что приводит к интенсивному росту производственного потенциала (рисунок 2).

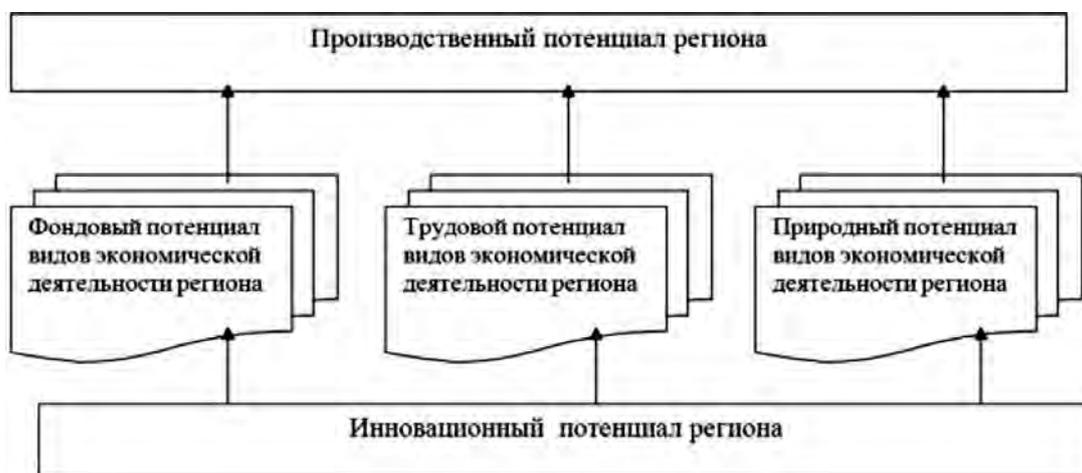


Рисунок 2 – Структура производственного потенциала региона [3]

Исследователи при оценке производственного потенциала не включают в его состав потенциал инноваций. Это связано с тем, что инновационный потенциал не поддается точной количественной оценке. Тем не менее, инновационный потенциал играет особую роль в определении величины производственного потенциала. Производственный потенциал не может изучаться без учета разработки и внедрения инноваций и интеллектуального развития региона.

Совершенствование инструментария управления производственным потенциалом региона в целях достижения устойчивого развития экономических систем обуславливает необходимость разработки методики его оценки. Предлагается следующая система показателей для проведения мониторинга производственного потенциала региона (таблица 1).

Таблица 1 – Система показателей для проведения мониторинга производственного потенциала региона

Структурный элемент	Наименование показателя	
Фондовый потенциал	Стоимость основных производственных фондов	
	Коэффициент ввода (обновления)	
	Коэффициент выбытия	
	Коэффициент интенсивности замены ОПФ	
	Коэффициент износа	
	Коэффициент годности	
	Коэффициент загрузки производственных мощностей	
	Фондоотдача	
	Фондовооруженность труда	
	Фондоемкость	
Трудовой потенциал	Численность трудовых ресурсов	
	Численность экономически активного населения	
	Коэффициент занятости населения	
	Коэффициент занятости трудовых ресурсов	
	Коэффициент безработицы	
	Производительность труда	
	Фондовый аналог единицы живого труда	
Природный потенциал	Разведанные и учтенные запасы, которые могут быть использованы как Природные производительные силы	минерально-сырьевые ресурсы
		топливно-энергетические ресурсы
		земельные ресурсы
		лесные ресурсы
		водные ресурсы
	Среднегодовая дифференциальная рента, возникающая при использовании земель	
	Фондовой аналог единицы запасов	
	Коэффициент реализации, характеризующий отношение годовой добычи к величине имеющихся вскрытых запасов	
Коэффициент использования сельскохозяйственных угодий		
Инновационный потенциал	Доля организаций, выполнявших научные исследования и разработки в общем числе организаций региона	
	Доля затрат на технологические инновации в общем объеме затрат	
	Объем инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции в регионе	
	Доля предприятий, имеющих готовые инновации, в общем числе организаций региона	
	Доля численности персонала, занятого инновационными разработками, в общей численности занятых в экономике региона	

Понимание механизма инновационного процесса, и того, как государственная политика может стимулировать инновационное развитие,

требует глубокого анализа инфраструктуры взаимосвязей в национальной системе инновационных институтов [6].

Инновационный потенциал оказывает влияние на все остальные элементы производственного потенциала: и на фондовый, и на трудовой, и на природный потенциал, т.е. взаимодействует со всеми количественными структурными элементами производственного потенциала.

Оценка эффективности использования производственного потенциала региона основана на сопоставлении достигнутых результатов (суммарного объема продукции в стоимостном выражении за год, произведенного с использованием имеющегося производственного потенциала региона) и расчетной величины потенциала:

Таким образом, организация опережающего мониторинга позволит своевременно диагностировать намечающиеся тенденции в экономическом развитии региона. Это будет способствовать повышению обоснованности и эффективности региональной экономической политики, проводимой органами власти и управления в целях повышения конкурентоспособности региона.

Список литературы

1 Концепция индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020 – 2025 годы. Астана. 20 декабря 2018. № 846.

2 Румянцева Е.Е. Новая экономическая энциклопедия. ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М: М. 2011.

3 Гонюкова Е.В. Методика проведения мониторинга производственного потенциала региона // Управление экономическими системами. Электронный научный журнал. 2014. №4.

4 Сабден, О. Избранные труды в 10 томах [Текст]. Т.Х. Наука, образование, экономика и производство / Оразалы Сабден. Алматы: ИЭ КН МОН РК, 2009.

5 Мырхалыков Ж.У. Индустриально-инновационное развитие Южно-Казахстанской области: тенденции, приоритеты и перспективы. Монография. Шымкент, 2016.

6 Ичкитидзе Ю.Р., Румянцева С.Ю. Тренды инновационного развития: мировой опыт государственной поддержки новых отраслей. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация университетов России, 2016.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЕНЧУРНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИЙ В КАЗАХСТАНЕ

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF VENTURE FINANCING OF INNOVATIONS ARE IN KAZAKHSTAN

Олейник Л.В.

Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан
lvoleinik@mail.ru

Oleinik L.V.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Abstract: in modern realities, new investment tools are needed to form a model of the modern economy of Kazakhstan. To invest in a promising innovative business using various methods and forms of investment. The leading role in this process is given to venture financing.

Key words: venture financing, innovation, investment, risk, funds.

Аннотация: в современных реалиях необходимы новые инвестиционные инструменты формирования модели современной экономики Казахстана. Для вложения денег в перспективный инновационный бизнес используются различные способы и формы инвестирования. Ведущая роль в этом процессе отводится венчурному финансированию.

Ключевые слова: венчурное финансирование, инновации, инвестиции, риск, фонды.

Инновационная деятельность в Казахстане не интересна для хозяйствующих субъектов из-за сложностей с получением доступа к венчурным инвестициям.

Венчурное финансирование означает вложение денег в перспективный инновационный бизнес, который еще не имеет доступа на фондовый рынок. Для инновационного товара данное финансирование играет решающую роль, начиная с разработки, применения первого образца и начала этапа коммерциализации. Венчурное финансирование не используется на этапе фундаментальных и прикладных исследований и для производства опытного образца.

Венчурное финансирование характеризуют следующие особенности:

- всегда подтверждается правило «одобренного риска»;
- как правило, финансовые вложения рассматриваются на длительный срок;
- только со временем можно определить, насколько доходным и перспективным оказался профинансированный инновационный проект.

Венчурные инвестиции сориентированы, прежде всего, на такие инновационные проекты, которые предназначены для новаторских решений

производственных проблем и для внедрения новейших технологий. Безусловно, успешная реализация высоко рискованных проектов позволяет получать инвесторам и более высокую прибыль. Венчурное финансирование также сопровождается высоким уровнем риска, связанного с вероятностью потерь вложенных инвестиций и гарантии их возврата отсутствуют.

Казахстан заинтересован в создании благоприятного бизнес-климата для инвесторов и улучшению условий ведения предпринимательской деятельности. Так, в рейтинге Всемирного банка «Doing Business 2017» наша страна заняла 35-ю позицию, улучшив свои показатели на 16 пунктов по сравнению с 2016 годом [2].

Ситуация по развитию венчурного финансирования инновационной деятельности в Казахстане характеризуют следующие особенности.

Отметим, что как таковое развитие венчурного финансирования началось в Казахстане с 2003 года. В 2003 году был создан АО «Национальный инновационный фонд» (ныне – АО «Национальное агентство по технологическому развитию» - НАТР). Основной целью данного фонда было заявлено продвижение инноваций через грантовое финансирование и прямые инвестиции. Приоритетными направлениями выделения грантов НАТР стали: инфо - коммуникационные технологии, биотехнологии, энергоэффективность, робототехника. Гранты суммой до 181000 долларов на коммерциализацию технологий, заточенные под hardware-проекты и запуск серийного производства продукта, могут стать казахстанской альтернативой Kickstarter [3]. Гранты на приобретение технологий до трех миллионов долларов США могут выдавать казахстанским предпринимателям на покупку лицензии или патента у российских партнеров. Иностранные компании могут претендовать на инвестиции от НАТР в качестве совместного предприятия с местным бизнесом. В текущий набор акселерационной программы Tech Nation, организованной международным бизнес-акселератором Harry Farm по заказу НАТР, могли подаваться стартапы со всего мира. Собрано 345 заявок из 15 стран [3]. Вышесказанные условия и возможности показывают степень готовности Казахстана к международному сотрудничеству в области новейших технологий и техники.

Сама инфраструктура для развития венчурного финансирования представлена следующими действующими фондами:

- фонд национального благосостояния «Самрук-Казына». Инвестиционный холдинг, миссия которого заключалась в повышении национального благосостояния Республики Казахстан и обеспечении долгосрочной устойчивости будущих поколений. Специализация венчурного фонда - финансирование проведения казахстанских экономических реформ;

- фонд «Singulari Team» с капиталом 100 миллионов долларов. Специализация фонда - инвестиции в искусственный интеллект и робототехнику по всему миру;

- венчурный фонд «Сентрас» одноименной финансовой группы Фонд имеет в своем портфеле 15 проектов и является одним из лидеров венчурного

рынка Республики Казахстан. Специализация фонда - прорывные технологии и и инновационно-технологические проекты;

- венчурный фонд АО «Арекет». Специализация – высокие технологии;

- венчурный фонд «Адвант». Специализация фонда - сервисная поддержка предпринимателей (бизнес-навигатор);

- АО «Венчурный фонд Glotur Technology Fund». Специализированный фонд, который будет осуществлять инвестиции в следующих отраслях: информационные технологии, и электроника;

- венчурный фонд АО «Almaty venture capital» является универсальным фондом;

- венчурный фонд АО «Logusom perspective innovations». Специализация - предоставление инвестиций в виде вклада в акционерный/долевой капитал компаний, зарегистрированных в РК, для финансирования инновационных, высокотехнологических и высокорентабельных проектов в областях информатизации и телекоммуникациях.

Подписано соглашение по созданию российско-казахстанского венчурного фонда нанотехнологий. Фонд создается на 10 лет и призван привлечь средства инвесторов для поддержки перспективных проектов, направленных на развитие нанотехнологий и использование продукции nanoиндустрии в различных секторах экономики Казахстана и России. В свою очередь целями фонда являются обеспечение трансферта передовых технологий, развитие дополнительных инструментов международного сотрудничества и стимулирование развития финансовой инфраструктуры рынка в сфере нанотехнологий.

Планируется создание венчурного фонда Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭС) с участием Белоруссии, России и Казахстана, учредителем данного фонда выступит Российская венчурная компания (РВК), на первом этапе для реализации совместных проектов каждая из сторон внесет по 1 млн.долл. США.

Положительное влияние на развитие венчурного финансирования окажет создание в Казахстане Ассоциации венчурных фондов и прямых инвестиций Kaz-Venture.

Резюмируем: создание венчурных фондов позволит Казахстану закрепить свое присутствие на мировых технологических рынках.

Международная практика показывает, что создание венчурной индустрии в любой стране требует 15-20 лет и при условии государственной поддержки в первые десять лет. Казахстан для решения такой проблемы разработал государственную программу формирования национальной инновационной системы, предусматривающую инвестирование в сферу информационных технологий и интернет-бизнеса за счет средств венчурного капитала. На начало 2019 года совокупный объем венчурного капитала в Казахстане составлял двести шестьдесят миллионов долларов США, а инвестиции Национального инновационного фонда в иностранные фонды составили около сорока миллиона долларов. В республике открыт Парк информационных технологий

Alatau IT City – как платформа для развития IT-бизнеса, созданы три региональных технопарка [3].

Однако, признать успешной проделанную работу нельзя, поскольку действующие венчурные фонды Казахстана, профинансировав проекты в традиционных отраслях (оптово-розничная торговля, строительство (производство щебня, железобетонных конструкций и другие), не достигли цели по привлечению в инновационную деятельность частных инвестиций. Также за последние пять лет все казахстанские фонды в совокупности совершили всего двенадцать-пятнадцать сделок, а должны были пятьдесят-шестьдесят. Согласно международной практики, каждый фонд в течение своего инвестиционного периода и эффективного освоения капитала должен был заключить по десять сделок. Для сравнения: средний размер инвестиций на один проект составил два с половиной миллиона долларов США, тогда как в Европейском союзе в 2018 году венчурными фондами было проинвестировано сорок три миллиарда евро в пять тысяч тридцать три компании (в среднем на одну компанию это составило более восьми миллионов евро). Объем венчурных инвестиций в ряде стран (Швеция, Великобритания, Норвегия) превышает 0,5% от ВВП при среднеевропейском показателе в 0,3% [4].

Кроме того, казахстанские фонды почти по трети проектов получили убытки.

Нельзя обойти стороной и проблему бесконтрольности использования венчурными фондами самих финансовых ресурсов. Сегодня мониторинг венчурных фондов осуществляет АО «НИФ» только на основе отчетов, получаемых от управляющих компаний венчурных фондов, а функцию финансового контроля, задачи стратегической координации не выполняет.

Проблемами развития венчурного финансирования являются: дефицит грамотных инженерных специалистов, менеджеров высокого уровня, отсутствие интересных проектов.

Инновационная активность предпринимательского сектора Казахстана в пять-семь раз ниже аналогичных показателей стран ОЭСР (в Швеции данный показатель составляет пятьдесят семь процентов, в Германии около семидесяти процентов, в Финляндии почти сорок шесть процентов, в Австрии – семьдесят процентов, а в Великобритании шестьдесят два процента). В 2018 году в Казахстане она составляла девять целых три десятых процента. В рейтинге глобального индекса конкурентоспособности Республика Казахстан по индикатору «Инновационный потенциал» занимает восемьдесят четвертое место, а по «Доступности венчурного капитала» - сто второе место [4]. Низкая конкуренция между казахстанскими предприятиями объясняет отсутствие их спроса на инновации.

В ближайшей перспективе будет сдерживать развитие венчурного финансирования крайне низкая емкость фондового рынка Казахстана. Попытки реализации венчурных инвестиций осуществляются сегодня посредством IPO для ограниченного количества проектов.

Представленная проблематика развития венчурного финансирования в Казахстане позволяет сделать следующие выводы и предложения:

- состояние венчурного финансирования в Казахстане можно охарактеризовать, как находящееся на этапе формирования;
- сегодня, казахстанская система венчурного финансирования в целом сориентирована на инвестиции в «бизнес-ангелы» и инновационные стартапы, либо в действующие проекты;
- ниша для финансирования малого и среднего бизнеса не рассматривается в принципе;
- венчурные фонды не учитывают региональные аспекты отечественного бизнеса;
- венчурные фонды желают получать прибыль в четыреста или пятьсот процентов для компенсации рисков, что значительно сужает базу потенциальных инвестиционных проектов;
- нет действенной системы стимулирования спроса на новые технологии, что позволило бы обеспечить развитие частного рынка венчурного финансирования.

Венчурные инвестиции, конечно, достаточно специфический инструмент, обладающий высокой степенью риска, однако, именно они являются индикатором развития новых индустрий. Развитие венчурного инвестирования стало необходимостью развития цифровой экономики в Казахстане. У страны нет выбора – участвовать в этом процессе или нет. Страна должна участвовать в данном процессе, чтобы не отстать от трендов мирового развития. Сегодня Казахстану предстоит найти те ниши реального сектора экономики, в которых сделать это можно быстро.

Перспективой развития института венчурного финансирования в Казахстане может стать развитие региональных венчурных фондов (РВФ), создание которых было предусмотрено Программой развития науки, инноваций и содействия технологической модернизации на 2010-2014 годы. При этом объектами финансовой поддержки должны стать именно те предпринимательские структуры, которые действуют в приоритетных для региона отраслях. Преимуществом обладают те бизнес проекты, которые только подошли к этапу реализации своей продукции. Предполагается, что региональный венчурный фонд будет обеспечивать инновационные проекты финансовыми ресурсами в регионах на постоянной основе как за счет ежегодного привлечения частных инвесторов, так и за счет капитализации средств венчурного фонда. Сразу отметим низкую активность участия государственного капитала в высокорисковых инновационных проектах сегодня.

Другим направлением развития венчурного финансирования могут стать программы государственных гарантий и софинансирования в венчурные проекты непосредственно или через государственные институты развития, инвестиционные агентства, страховые компании.

Следует организовать и информационную поддержку деятельности венчурных фондов, поскольку отсутствует профессиональная консолидация отраслевого опыта и внедрения лучших практик. Возможно снижение значения коэффициента не расположенности к риску у инвесторов в случае увеличения количества положительных историй успеха профинансированных проектов.

Бесперспективно создавать многочисленные венчурные фонды при наличии небольшого количества венчурных капиталистов и в отсутствии активного предпринимательского сектора, выдвигающего потенциально прибыльные инновационные проекты. В данной связи отметим целесообразность развитие инициатив государства по созданию платформ инкубирования стартап-проектов – таких, как: Centras Venture Day, МОСТ, TechGarden, венчурный фонд «100 пудов».

Дальнейшее развитие сектора венчурного финансирования предполагает также воспитание венчурной культуры, предоставление налоговых льгот, разработку регулятивных и контрольных мер самого процесса.

Наибольший интерес для Казахстана представляет сингапурский опыт венчурного финансирования, где ежегодно отмечается высокий рост экономики. Стартапы и новые технологические предприятия становятся там не только новым поколением будущих фирм, но и практическими инновациями бизнес-моделей.

Поскольку глобальная производственно-сбытовая цепь, связавшая Азию и внешний мир, стала отправным пунктом принятия моделей высокого риска для традиционного сектора услуг, то это следует рассматривать как сигнал правительству Казахстана о необходимости обновления не только существующих правил и положений, но и введение новых инвестиционных инструментов. Такими инструментами могут стать: «новые комитеты токенизации», «финансовая песочница», налоговые льготы для корпоративного венчурного капитала, стартап «OSSThailand», «новый отраслевой ускоритель».

Венчурные проекты всегда содержат неопределенность и неполную информацию для полной оценки инвестиций и для принятия решений. Чтобы инвестиции венчурных фондов оказались успешными, стоит следовать следующим правилам:

- необходимо не просто стимулировать спрос на инновации, но сформировать устойчивую мотивацию на инновации у производителей;
- необходимо активнее использовать интеллектуальный потенциал нации для разработки бизнес идей;
- необходима система объективной оценки квалификационной и исполнительной компетенции учредителей;
- необходимо создать республиканскую базу данных о потенциальных участниках высокопрофессиональных управленческих команд;
- обязательно следует проводить рыночную оценку предлагаемой бизнес-модели для решения выявленной рыночной проблемы;
- необходимо разрабатывать стратегические планы по раскрытию потенциала адресуемого рынка;

- необходимо составлять план завоевания конкурентного преимущества компании;

- необходимо реалистичное описание пути выхода с рынка.

Дальнейшее развитие венчурного финансирования выступает ведущим звеном формирования инновационной экосистемы Республики Казахстан.

Список литературы

1 Иода, Е.В. Венчурное финансирование инновационной деятельности/ Е.В. Иода //Вестник ТГУ, №10 (78), 2018. – С.39-43.

2 Агентство по статистике РК. // www.stat.kz

3 Данные Национального Инновационного Фонда РК. // www.nif.kz.

4 Интернет-ресурс: //www.invest.kz/.

УДК 378.147.88

ЭКОНОМИКАЛЫҚ БАҒЫТТАҒЫ КАДРЛАРДЫ ДАЯРЛАУДА ЗАМАНАУИ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ МАҢЫЗЫ

RELEVANCE OF MODERN SOFTWARE PRODUCTS IN ECONOMIC TRAINING

Кулманова А.Б.

Рудный индустриалық институты, Рудный, Қазақстан

kuasba@mail.ru

Kulmanova A.B.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Аннотация: Осы мақалада автор цифрландыру мәселесін, экономикалық бағыттағы кадрларды дайындауда заманауи бағдарламалық қамтамаларды қолдану маңызы, білім беру үрдісінде қолданылатын ақпараттық технологиялардың топтамасы қарастырған.

Түйінді сөздер: цифрландыру, бағдарламалар және бағдарламалық қамтамалар (бағдарламалық өнімдер), білім беру үрдісі, еңбек нарығы, студенттер, экономика саласындағы тәжірибелік дағдысы бар мамандар.

Abstract: In this article the author deals with the issues of digitalization, the importance of using modern software products in the process of training personnel in economic directions, several aspects of the use of information technologies in the educational process are highlighted.

Keywords: digitalization, programs and the software (software products), educational process, labor market, students, the specialist with practical skills in the field of economy.

«Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы, сәйкесті цифрлық экономика, халықта оның жемістерін пайдалануға мүмкіндік беретін цифрлық дағдылардың болуын талап етеді.

Мамандардың цифрлық дағдыларын дамыту арқылы білім берудің мазмұнын толығымен қайта қарастыру қажеттілігі туындады, цифрландыру нәтижесінде, әрбір қызметкердің біліктілігіне қойылатын талаптары артты [6].

Қоғамның барлық саласында болып жатқан өзгерістер, жаһандық бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ететін экономикалық өсімнің жаңа моделін құру, экономиканың жеделдетілген технологиялық жаңғыртылуы, цифрлық технологияны қолдану арқылы құрылатын жаңа индустрияларды өркендету жолында жоғары оқу орны түлегінің алған білімі мен дағдысына, еңбек нарығындағы мамандықтардың құзыреттілік деңгейіне жаңа және жоғары талаптар қойды.

Сонымен қатар өнеркәсіптік өндірістің дамуы, барлық саланы цифрландыру Қазақстан Республикасы экономикасын жетілдірудің басты бағыттарының бірі болып табылады. Өндіріс сапасын анықтаушы маңызды факторлардың бірі, кадрларды дайындау деңгейі болып табылады. Өнеркәсіптік даму бағытындағы прогресс білім беру бағдарламаларын жаңарту, білім беру үрдісінде инновациялық әдістерді қолдану қажеттілігіне байланысты.

Еңбек нарығында бәсекеге қабілетті болу үшін, студент өз мамандығы бойынша білім алумен шектелмей, түйінді бизнес-дағды, коммуникативтік қабілеттілік, стратегиялық ойлауды үйрену қажет.

Бүгінгі күнде есепке алу жүйесі мен басқару үрдістерінің барлық бағыттары автоматтандырылмаған кәсіпорындар жоқ, сондықтан болашақ мамандар алған білімдерін еңбек жолының бастамасында жаңадан оқу және үйренуден емес, тәжірибеде жетік қолданудан бастауы қажет.

Орасан зор ақпараттық ағынды жылдам өңдеу үшін білікті маман компьютер, телекоммуникация және тағы басқада құралдарда сауатты жұмыс жасай білуі тиісті.

Ақпараттық технологиялар барлық қоғамдық өмір саласына толық енді, білім беру жүйесінде әсер етуде және жоғарғы оқу орындарында білім беру сапасын тұрақты жетілдіріп отырудың басты шарты болып табылады [5].

Жұмыстың басты мақсаты – болашақ мамандардың білім сапасын арттыру, экономика саласындағы тәжірибелік дағдысы бар мамандарды дайындауда заманауи ақпараттық және коммуникациялық технологияларды, бағдарламалық өнімдерді тиімді қолдану.

Білім беруші мекемелердің алдында заманауи ақпараттық ортада тәжірибелік дағдысы бар, осы дағдыны кәсіби қызметте қолдана алатын мамандарды дайындау міндеті тұр. Сондықтан мамандарды дайындауда білім беру үрдісінің бірнеше бөлігін арнайы бағдарламалық құралдарды оқытуға бөлінеді.

Еліміздің жоғарғы оқу орындары алдында терең білімді, әлемдік деңгейдегі техника және технология саласында тәжірибелік дағдысы бар инженерлердің жаңа буынын дайындау міндеті тұр.

Экономист-менеджердің жұмысы қаржылық, жоспарлы-экономикалық, ұйымдастыру-басқару, кәсіпкерлікті жүзеге асыру міндеттерін тиімді шешу қажеттілігіне байланысты [1].

Экономист-менеджерді тәжірибелік қызметке дайындаудың басты құраушылары:

- қалыптасқан мәселелерді шешу қабілеттілігін дамыту, міндеттерді анықтау, олардың шешімін табу дағдысын қалыптастыру;

- тәжірибелік міндеттерді шешу үшін қолданылатын арнайы білімдерді игеру;

- теориялық білім және тәжірибелік дағдының бірігейлігі [2].

Компьютерлік технологияларды басқа да интерактивті әдістермен кешенді қолдану, білім беру үрдісін қарқындату студенттердің ұйымдастырушылық – басқарушылық және арнайы құзіреттіліктерінің тиімді қалыптасуын арттырады.

Экономикалық салада ақпараттық технологиялармен қатар арнайы бағдарламалық қамтамалардың кең түрде қолдануы, жоғары біліктілікті мамандарды дайындау үшін білім беруге жаңаша көзқарастар мен әдістерді еңгізуді талап етеді, экономист маман кәсіби міндеттерді шешу барысында ақпараттық технологиялады, салаға байланысты бағдарламалық өнімдерді қолданудың тәжірибелік дағдыларын қалыптастыруды ұштастыру керек.

Әрбір экономика, менеджмент мамандығының түлегі міндеттердің басым бөлігін ақпараттық технологияның көмегімен жүзеге асырады, сондықтан оқыту барысында тәжірибелік міндеттерді атқаруда қажет болатын құзіреттіліктерді қалыптастырумен байланысты болады [4].

Оқыту барысында қолданылатын ақпараттық технологиялардың топтамасы:

- «Жалпы тағайындалған» бағдарламалармен жұмыс - қолданушының қызметтік міндеттерінің әзірлемелерін қолдану мен автоматтандыруға арналған әмбебаптық бағдарламалық өнімдер (мәтіндік және графикалық редакторлар, электрондық таблицалар, мәліметтер базасын басқару жүйесі және т.б.). Мысалы MS Excel бағдарламасы мәліметтерді талдау мен өңдеудің кең мүмкіндіктерін ұсынады, статистикалық, қаржылық, логистикалық есептерді шығаруға болады;

- мамандықтың бағыттарына сәйкесті арнайы бағдарламалық өнімдер: «1С:Бухгалтерия», «Алтын», «Галактика», SPSS Statistics және т.б. SPSS - Statistical Package for the Social Science (әлеуметтік ғылымдарға арналған статистикалық пакет). Түрлі көлемдегі сандық мәліметтерді өңдеу және талдауға байланысты зерттеу саласында (социология, психология, маркетинг, медицина және басқалары) мамандармен кең қолданылады [4];

- оқыту үрдісін ұйымдастыруға арналған бағдарламалық құралдар (электрондық кітаптар, тестілеу өткізуге арналған бағдарламалар,

мультимедиялық курстар, электрондық тасушыларда жазылған дәрістер, тәжірибелік және зертханалық жұмыстар) [3].

Қазіргі кезде жоғары кәсіби біліктілікке жету, пайымдауға негізделген, тиімді шешімдерді қабылдау ақпараттық - компьютерлік технологиялардың жетекші әдістерін, экономикалық процесстерді автоматтандыруға бағытталған арнайы бағдарламаларды меңгерусіз мүмкін емес. Сонымен қатар мамандарды (экономист, менеджер, бухгалтер, аудитор) дайындауда, оқыту барысында арнайы бағдарламалық қамтамаларды қолдану экономикалық процесстерге басқа жағынан қарауға және алған білімдерін тәжірибемен ұштастырып, тереңдету мен жүйелеуге, орындау мерзімін қысқартуға мүмкіндік береді.

Білім беруде қолданылатын кәсіби бағдарламалық қамтамаларды таңдау барысында, бағдарламалық қамтаманың осы жылдардағы танымалдығы, қажеттілігін, ақпараттық технологиялардың даму деңгейіне сәйкестігі және оларды болшақта қолдану деңгейімен ерекшелігін ескерген міндетті [3].

Компьютерлік технологиялар әлемі жылдам өзгеріске түседі. Кез келген жинақталған білім-дағды, тұрақты түрде толықтырылып, жаңартылмаса өзектілігін жоғалтады. Студенттердің бойына жаңа бағдарламалық өнімдерді өзіндік оқуды дағдыландыру, әр жаңа бағдарламаға берілген бағдарламалық өнімнің барлық мүмкіндіктері толық берілген құжаттарды өзіндік қолдануды үйрету қажет.

Болашақ мамандардың кәсіби құзіреттіліктері мен біліктілігін арттырып, тәжірибеге икемделген, бәсекеге қабілетті мамандарды дайындау үшін, оқыту үдерісін ұйымдастырудың жаңа әдістерін енгізу, заманауи бағдарламалық қамтамаларды жасаушы фирмалармен тығыз байланысқа түсіп, оқу үрдістерінде қолданылатын заманауи бағдарламалық өнімдер мен технологиялардың барлық жаңа өзгерістерін біліп отыру маңызды.

Әдебиеттер тізімі

1 Sheppard S., et al. What is engineering practice // International Journal of Engineering Education. – 2016. – Vol.22, №3. – P.429-438.

2 Chunfang Zh. Fostering creative engineers: a key to face the complexity of engineering practice // European Journal of Engineering Education. – 2016. – Vol.37, №4. – P.341-353.

3 Горбачев Ю.Е., Жмакин А.И., Затевахин М.А., Кржижановская В.В., Богданов М.В., Кулик А.В., Офенгейм Д.Х., Рамм М.С. От электронных учебников к виртуальным лабораториям // Дистанционное и виртуальное обучение. – 2017. - № 1. - С. 14 – 17.

4 Информационные технологии в экономике и управлении (эффективная работа в MSOffice 2007): учебное пособие для студентов вузов / Г.М. Киселев, Р.В. Бочкова, В.И. Сафонов. – М.: Дашков и К*, 2017 – 272 с.

5 Пьянкова Л.М. Использование компьютерных технологий в изучении дисциплины «Бухгалтерский учет», 2018;

6 «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасын бекіту туралы Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2017 жылғы 12 желтоқсандағы № 827 қаулысы.

УДК 811.512.122

SEMIOTIKANYŇ TANYMDYQ MÁSELELERI

COGNITIVE PROBLEMS OF SEMIOTICS

Muqaeva N.Q.

*Rýdnyi indystryalyq institýty, Rýdnyi, Qazaqstan
nazko_23_04_90@mail.ru*

Mukaeva N.K.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Anotasia: Semiotika (gr. semeion - belgi, tańba) (semіologia) – tańbalyq belgiler júesi týraly ғылым. Qazirgi kezdegi semiotikter tańbany jeke dara zerttemei, ol tańbanyń qalyptasý sebepteri men qurylymyn zertteidi. Semiotika adamzat qoғamyna qyzmet etetin salalardaғы til, mádeniet, salt-dástúr, kino t.b. tabıgattaғы, janýarlar dúnesindegi kommýnikatsııa nemese adamnyń óz qyzmet-qabiletindegi zattardy kórý, estý arqyly qabyldaý, logikalyq paıymdaý arqyly aqparattyń saqtalýy men qabyldanýyna qatysty ár túrli tańbalyq júelerdiń qurylymy men qyzmetiniń jalpy máselelerin qarastyrady.

Kilt sózder: semiotika, belgi, tańba, frazeologizm, strýktýralizm

Abstract: Semiotics (gr. Semeion-sign, label) (semiology) - the science of a system of symbolic signs. At present, semiotics do not personally study signs, but study the causes and structure of the formation of a sign. Semiotics considers general issues of the structure and activities of various marking systems in the field of language, culture, traditions, and cinema. In areas of the functioning of human society, such as communication in nature, the animal world, the storage and perception of information through logical understanding.

Key words: semiotics, sign, label, phraseological unit, structuralism

Til men mádeniet qatynasynyń mańyzdylyғы mádeni zertteýler ғылыми arqasynda eń joғарғы deńgeige jetti. Til men mádeniet uғymy qashan da egiz uғym bolyp tabylady jáne olar birin-biri tolyqtyryp otyratyn qubylys.

Akademik Á.Qaidar: «Mádenietti tanyp bilýdiń quraly – til. Kez kelgen etnostyń (búgingi ulystyń, halyqtyń ne ulttyń) tilinde onyń basynan ótken búkil ómiriniń órnegi jatyr. Halyqtyń, iaғni etnostyń shyn mánindegi bolmysy men dúnietanymy onyń tilinde ғana saqtalady. Ár túrli zattyń, qubylystyń aty-jóni, syr-sıpaty, qoғamdyq qatynastar, ádet-ғuryp, salt-sana men dástúrler jaily maғlumattardyń bári de keingi býyndaғa tek til faktileri arqyly ғana, iaғni, tildegi

sózder men sóz tirkesteri, frazeologızmder men maqal-mátelder, ańyz-ertegiler arqyly jetip kelýi múmkin» [1, 21b] degen pikirleri dálel bola alady.

Alaıda til men mádeniettiń ózara etene bailanysy, ózara táyeldiligi ғылыми turғыda tek XX ғасыrdan bastap qana qolға alyndy. Gymanitarlyq ilimderde strýktýralızmdik baғыttyń damýymen lingvistika jańa qyrynan zerttele bastady.

Strýktýralistik lingvistika XX ғасыrdyń basynda til biliminde qalyptasqan jáne de XX ғасыrdaғы til biliminiń filosofialyq jáne mádeniettanýshylyq baғыtyn aıqyndağan baғыt boldy. Bul baғыt biz álemge til arqyly qaramyz, sondyqtan, biz kóretin aıqıatty aıqyndaıtyn – til degen gipotezany usyndy. Atalmysh baғыttyń qalyptasýyna sebep bolған eń negizgi eńbek Ferdinand de Sossıýrdiń «Jalpy lingvistika kýrsy». Bul eńbektiń barlyq gymanitarlyq ilimder úshin óte mańyzdy bolғany qazir eshimde de daý týdyрмаidy. Alaıda, osy eńbektiń negizinde qalyptasqan strýktýralistik baғыt ýaqyt talabymen, birshama ózgeristerge ushyrady. Naqtyraq aıtsaq, «1920-1940 jj. strýktýralızmnıń qurylymdyq lingvistika aıasynda qalyptasýyn basynan ótkizgen. Strýktýralızım 50-60 jyldary, ásirese, Fransiada sharyqtap shyqty. Strýktýralızım sol kezeńiniń óktem intellektýaldyq paradıgmasyna aınaldy» [2, 378 b].

Osyndaı qarqyndy damý men jetilýdiń nátijesinde strýktýralızım ғылыми óziniń algashqy ustanymdarynan biraz ózgeriske tústi. Nátijesinde 60-jyldardan keiin poststrýktýralistik, iaғnı strýktýralızımnen keingi, baғыt dep atalatyn ғылыми baғыt paida boldy.

1960 jyldary Fransiadaғы jańa diskýrstyq tásilderdiń kóbeiýyi nátijesinde poststrýktýralistik teoriasy qalyptasty. Poststrýktýralızım burynғы jalpylaý, ýniversaldaý, strýktýralızmnıń ғылыми teoriasyn, semiotikapsihoanalız, Marksızım jáne de basqa teorialardy joqqa shyғaryp, tildiń, sýbekttiń, saıasattyń jáne mádeniettiń jańa zertteý teorialaryn kórsetti. Ózderine deiin qalyptasqan teorialardyń basym bóligin joqqa shyғara otyryp, biraq ta negizinen sol teorialardyń negizine súiene otyryp, poststrýktýralistik qozғalys marksızım, psihoanalız, semiotika, feminizmnıń jańa sintezin týyndatty. Jáne de búkil álemge tarağan jańa teoretikalıyq diskýrstar jarylysyna ákeldi[3, 82 b]. Osylaısha, strýktýralızım óziniń kelesi deńgeii poststrýktýralızımge ótti.

Strýktýralızım belgiler jaıly ғылымды jáne obektivti ғылымды usyndy. Alaıda, poststrýktýralistter strýktýralızmnıń barlyq osy postýrattaryn joqqa shyғaryp, olardy qatań synға aldy.

Poststrýktýralistter: «Maғyna turaqty emes, olar baғynyshty jáne yлғı ózgeriste bolady. Mán tek sózderge, sóilemderge nemese belgili bir mátinge tańylmaidy, al maғyna intermátindik, iaғnı mátinder arasyndaғы bailanys arqyly beriledi», - dedi[3].

IAғnı, strýktýralistter tildegi tańbalar beligili bir maғynany tasýshylar retinde qarastyrsa, poststrýktýralistter maғynany diskýrstyq deńgeide qarastyryp, belgiler men sózderdiń arasyndaғы bailanys shartty degen pikirdi usyndy. Biraq ta, eki baғыtqa da ortaқ uғymdar til men mádeniettiń etene bailanysy jáne belgilerdiń kommúnikatsialyq qyzmetiniń atqaratyn ornyn zertteýi boldy.

Til men mádenietti ózara bailanysta zertteý mádeni zertteýlerde tildi mádeni turғыda zertteýge bailanysty mynadai zertteý tásilderin usyndy. Mádeni zertteýlerde mándik turғыdan zertteý ádisteri semiotika, poststrýktýralizm men derridalyq dekonstrýktsia shaqty ádisterden turady. Osy atalgan ádisterdiń ishindegi semiotika gylymy qazirgi kezde lingvister men mádeniettanýshylar tarapynan óte keń qoldanysta. Mádeni zertteýlerde semiotikalyq talday ádisi qoldanylady.

Semiotika gylymy 1960 jyldarydyń basynda mádeni antropologia gylymy tarapynan qyzyғыshylyq týdyrды. Bul negizinen Rolan Barttyń eńbegimen bailanysty boldy. Ol eńbeginde: «Semiotikanyń zertteý aýqymy tek qana tańbamen ғana emes, tilge jatpaıtyn barlyq ym-ishara, mýzykalyq dybystar nemese osylardyń bárinin qurylymdyq júesin zertteidi», - dep jazdy [4, 3 b].

Rolan Barttyń eńbeginde tańba dep osy atalgandardyń bárin qarastyrý múmkindigi aıtylady. Ǵalym ejelgi grek teatrynan bastap kele jatqan qandai da bolsyn mádeniet túrinin semiotikalyq qyryn kórsetip, oi men ideianyń tilsiz jetkizý joldaryn naqty mysaldarmen dáledep beredi. Mysaly ol rimdikterdiń kinodaғы keipkerler beimesin tańbalyq turғыdan bylai taldaıdy: «TSezardiń ólimi men Mark Antonıdiń sheshendigine tańdangan Rim halqy únemdi túrde óte úlken sheshendikpen óz qaiǵysynyń tereńdigin bir ғana terleý belgisimen kórsetedi...Terleý oilaıdy bildiredi...», - dep [4,75 b.] bir ғana belginiń óte utymdy qoldanylýy múmkin ekenin jáne onyń da sheshen bola ala alatynyn dáleleıdi.

Semiotika (gr. semeion - belgi, tańba) (semiologia) – tańbalyq belgiler júesi týraly gylym, adamzat qoǵamyna qyzmet etetin salalardaғы (til, mádeniet, salt-dástúr, kino t.b.), tabıgattaғы (janýarlar dúnesindegi kommúnikatsia) nemese adamnyń óz qyzmet-qabiletindegi (zattardy kórý, estý arqyly qabyldaý, logikalyq paıymday) aqparattyń saqtalýy men qabyldanýyna qatysty ár túrli tańbalyq júelerdiń qurylymy men qyzmetiniń jalpy máselelerin zertteitin gylym.

«Tańbalar jayındaғы gylym» retinde semiotikanyń algashqy negizgi ustanymdary tabıǵı tildi baiqaýǵa bailanysty CH. Pris pen F. de Sossiýrdiń eńbekterinde aıtylǵan.

Ýmberto Ekonyń anyqtamasyn «semiotka tańba retinde qarastyrılıy múmkin barlyq nárselerdi zertteidi» dep aýdarsaq, qate bolar edi. Óitkeni, joǵaryda atap ótkenimizdeı, tańba degenimiz grafikalyq obektiler, al grafikalyq emes biraq belgili bir mánge ie obektiler belgi retinde qarastyrıla alady. Mysaly, fotoaparattıpen túsilgen sýretter, ym-ishara t.s.s. Al, tańba óz kezeginde belginiń bir túri bola alady. IAǵni, belginiń qamtıtyn aýqymy tańbanyń aýqymynynan keńirek. Alaida, keibir belgilerdiń semantikalyq máni, aqparattyq qyzmeti álsiz bolýy múmkin, al tańbanyń simvolikalyq máni óte joǵary bolyp keledi. Sondyqtan da, semiotika gylymyna belgiler júesin zertteitin gylym dep anyqtama bergen durysyraq bolar edi.

Al Sossiýrdiń ilimi boıynsha semiotika tańbalardyń qoǵamdaғы ornyn zertteidi. Pırs úshin semiotika tańbalardyń resmı doktrinasy boldy. Ol kóbine tańbalardy Logikamen bailanystyrды. Onyń oıynsha, tańba áldebir nárese úshin bir nárseniń ornyna óz bedeli men aýqymdylyǵyna bailanysty qoldanylatyn nárese. Ol árbir oi tańba dep aıtty. Qazirgi kezdegi semiotikter tańbany jeke dara zerttemei, ol tańbanyń qalyptasý sebepteri men qurylymyn zertteidi.

Qazirgi kezde semiotika ғылымы лингвистиканың бір саласы ретінде ғана ұғынылуда. Алайда, semiotika ғылымның аяққымы бір ғылымның шеңберінен кең. Semiotika ғылымында таңбалар лингвистикалық әдістерді қолдана отырып зерттелгенімен, ол таңбаның бойындағы ақпаратты ашық философия ғылымның сұрақтарына жауап береді.

Таңбалар ғылымның негізін салышы ретінде екі ғалым semiotika ғылымның атасы болып есептеледі. Олар швед лингвист ғалымы Ferdinand de Saussure және американдық философ Charles Sanders Peirce. Екі ғалымның да ғылымға енгізген жаңалығы, таңбаның тек қана бір беіне емес, ол – тұнып тұрған мағына екенін ұсынуда. Яғни, біз таңбаны ақпарат тасышы кодталған белгі ретінде қабылдай алатынымызды аталмыш ғалымдар ұсынған арқылы, жаңа бір үлкен semiotika аты ғылымның негізін қалады. Соңында, адамдар бір-біріне қарым-қатынасқа түскенде тек қана тіл арқылы өз ойын жеткізбейді. Тілмен қатар жүретін көптеген таңбалар коммуникация қызметін орындай алады. Яғни, таңбалардың зерттеуіне өте жаңа-жаңа ғылым мен ізденістің қажеттілігі және де оның прагматикалық қажеттілігінің маңыздылығын дәлелденіп отыр. Таңбаларды мағыналық тұрғыдан зерттеу, лингвистика, философия, мәдениеттану сияқты ғылымдардың жаңа арнамен дамуына жол салып берді.

Тілді адам болымысымен, яғни оның мәдениетімен сәбақтастыра зерттеу қажеттігі тұтып отыр. Оның негізгі тұлжырымдары мынадай:

- материалдық және рұхани мәдениет тілде көрінеді;
- кез келген мәдениет ұлтық болып табылады, оның ұлтық сипаты тілде көрінеді;
- ұлтық рұхтың көрінуі оның мәдениетінде;
- тіл – адам мен оны қоршаған әлемді жалғастырышы аралық [5, 28 б].

Бір ұлтың мәдени байлықтары тілде көрініс табатын болса, онда тілді таңбалар жиынтығында қарастыру оның көпқырлылығы мен көпжақтылығын зерттеу болып табылады.

Белгі мен таңбаның айырмашылығы неде? Екеуінің кез келген жағдайда синоним ретінде қолдана аламыз ба? Және қай сөзге басымдырақ рөл беріу керек? Екеуінің семантикалық айырмашылығы неде? деген сұрақтар тұтындайды. Осы сұрақтарға жауап беріу үшін сөздіктерге жүгінейік:

ТАҢБА 1. Белгі, ен, мөп. Атың санындағы әріп. 2. Аяқ. Қайаы, дақ, кек. Аяқ бейне өз таңбасын қалдырған (А. Әбішев) [6].

ТАҢБАДАЙ БАСЫЛДЫ. Ап-айқын бөп көзге түсті. Оның тұр-түсі Ләззат көңіліне таңбадай басылды (Т. Ахтанов) [7, 493 б].

ТАҢБА САЛДЫ. 1. Таңбаларды, белгі ұрды. Қойды бірнеше әдіспен қулағына таңба салы, сырға тағы, мұқизін күндіріп таңба салы, қулағына ен салы арқылы белгілейді (Р. Әбдіғалиев). 2. Ар-уағда қалдырды, сүйекке мин болды [7, 493 б].

Тілімізде *таңба таңба басқандай, таңбалы таңба, таңбасын ойып қалдырды, өз таңбасы бар* деген тіркестер бар да, ал белгіге қатысты *белгі берді, белгі қойды, белгі соқты* деген тіркестер бар. Екі тіркестер қатарын салыстырсақ, таңбаның семантикалық салмағы басымрақ екенін байқаймыз.

Таңба сөзінің таңба, ой сөздерімен қатар келуі – ол ойылып, нақтылап, анықтап өз ізін, өз ерекшелігін, артықшылығын көрсету мақсатында таңба қашаы арқылы түсірілген белгі. Яғни, таңба қашап түсірілгендіктен ол ұзаққа дейін сақталып тұрады және анық бір хабарламаны жеткізу мақсатында қолданылады. Ол хабарламаның аяқындығы соншалық, оны ешқандай да айдармашының, түсіндірудің көмегіне қолданбайды.

birden uǵasyz jáne de sol tańbanyń ózi simvoldyq deńgeidegi belgiler bolyp tabylady. Máselen, qazaq rý-taıpalarynyń ár qaisysynyń ózindik tańbalary bolǵan. Ol tańbalardy simvol emes dep aıta almaımyz. Jáne de ol tańbalardy biz belgili bir dúnietanymdyq bilimimiz bolmasa, ondaǵy aqparattyń mánisin de taldap, anyqtai almaımyz.

Kóshpeli túrkilerde tańba ámbepap qyzmet atqarǵan. Tańba uǵymynyń bastapqy maǵynasynyń ózi «Oilap tabý, taný». Onyń mádeni-rýhanı astary qat-qabat. Tek, yaqyt kóshi alǵa jyljyp, túrli qoǵamdyq-saiası jaǵdailar qalyptasqandyqtan, tańbalardyń buryńǵy «qurııasy», qadir-qasietı umytylyp, qosalqy rý-taıpa tańbasyna, simvolıkalyq belgisine analyp ketken. Sol kezde tańbanyń mal-múliktiń iesin ańǵartatyn maǵynasy ǵana nazarda bolyp, soǵan ǵana mán berilgen. Baiqaýymyzsha, tańbadan «teńge», «tamǵashy – tańbashy» uǵymdary paida bolǵan. Osy sıpaty boıynsha atalmysh tańbalar simvol qataryna jatady degen qorytyndy shyǵarýǵa bolady. Dál sol sıaqty tasta tabylǵan tańbalar da simvoldyq máńge ie. Sonymen, tańba mindetti túrde syzylǵan, jazylǵan nemese qashalǵan grafikalyq obekt bolýy tiis. Jáne de ol simvolıkalyq maǵynasy bar tereń mándi belgi.

BELGI 1. SHapty tańba, en. *Qoıǵa belgi salý kepek*. 2. Bip nápseniń basqadan ózgesheligi. *Malshy maldy túpli belgilepi apqyly ajypatady*. 3. Belgili bip qubylystyń nyshany, syńaıy. *Keshikpei kúz belgisisi kópindi*. 4. Aıpyqsha ataqty bildipetin aıypmashylyq, ózgeshelik, epekshelik nyshan. *Pidjaginiń óhipinde Sovet odaǵynyń batypy belgisi bap* (Á. Hupsharyqov).

BELGI BEPDI [ETTI] - ańǵapty, bildipdi, sendipdi. BELGI QOIDY - tańba saldy, belgiledi. BELGI SALDY [SOQTY] - shapty tańba qoidy [6, 124 b].

Semiotika jaı ǵana grafikalyq obektilderdi zerttemeıdi. Ol mán maǵynany zertteıdi. Qazirgi semiotik ǵalymdardyń biri Ýmberto Eko óz eńbeginde: «semiotika belgi retinde qarastyrylýy múmkin barlyq nárselerdi zertteıdi» [8, 7b] dep anyqtama bereıdi.

Qazaq simvolıkasyn zertteýde Q.T. Qayırbáeva, A.A. Zagıdıllına, Q.S. Dúsipbaeva S. Qondybaı eńbekteriniń orny erekshe. Al batys Eýropa men Amerikandyq belgili semiotik ǵalymdar retinde Rolland Bart, Algırdas Greımas, IÝrıı Lotman, Kristian Mets, Ýmberto Eko jáne Djýlııa Kristevalardy atai alamyz.

Qoryta kele, semiotika – tańbalar ǵylymy, basqasha aıtsaq, simvoldanǵan tańbalar ǵylymy. Simvoldardyń kodyn uǵyný barısy ár qaisymyzda beısanaly turǵyda ózdiginen júreıdi. Al eger ol simvol ulttyq bolymysymyzǵa bailyNSTy bolsa, ol simvoldaǵy kodtalǵan aqparattyń mazmunyn túsini, sol ulttyń mazmunyn túsiniǵe, sol mádenietke jaqynyraq bola túsiniǵe jol ashady. Sondyqtan da, qazirgi jahandaný úrdisi beleń alyp otyrǵan kezeńde simvoldardyń boıyndaǵy aqparatty zertteý, ol simvoldardy ǵylymı turǵydan taldaý bizdiń mádenı identifikasıamyzdy saqtap qalıda alatyn orny zor.

Ádebietter tizimi

- 1 T. Ğabitov, J. Mútálipov, A. Qulsarıeva Mádenıettanı. – A.: Raritet, 2008. – 416 b.
- 2 Jalpy til bilimi. – A.: Dáyır, 2004. – 240 b.
- 3 Bart R. Izbrannye raboty: Semıotıka. – M.: Progress, 1989. – 616 b.
- 4 Qayırbáeva, Q.T. Qazaq tilindegi etnomádenı ataýlardyń sımvoldyq máni. – A., 2004.
- 5 Qazaq tiliniń túsindirme sózdigi. – A.: Daik-Press, 2008. – 968 b.
- 6 Keńesbaev I. Qazaq tiliniń frazeologıalyq sózdigi. – A.: Ğylym, 1977. – 712b.
- 7 Eko Ý. Otsýstsvııýshaa strýktýra. Vvedenie v semıologııú. – M., 1968
- 8 IAtsenko S.A. Znakı-tamgı iranoıazychnyh narodov drevnosti ı rannego srednevekovıa. M.: Vostochnaıa literatýra, 2001
- 9 M.Sergáıev. «Tilim meniń – tinim meniń» - Almaty qalasy., 2013 j.

Мазмұны
Содержание
Content

**СЕКЦИЯ 1. ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ: МИРОВОЕ,
НАЦИОНАЛЬНОЕ, РЕГИОНАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ**

ВЛИЯНИЕ ВИДА И ДОЗИРОВКИ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТОВ ТОО «СТАНДАРТ ЦЕМЕНТ» Таймасов Б.Т., Жаникулов Н.Н., Худякова Т.М.	13
КОНЦЕПЦИЯ «УМНЫЙ ГОРОД» В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ: ОПЫТ РОССИИ И КАЗАХСТАНА Божко Л.Л., Тургель И.Д., Уланова Е.	23
ТЕРМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО КОМПОНЕНТА ЦЕМЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ Мирюк О.А.	40
ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ФОРМОВАНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ Тажибаева Д.М.	51
НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТДЕЛОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Кадникова О.Ю., Торетаев М.О., Алтынбаева Г.К., Айдарханов А.М.	58
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНО-ДИНАМИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ Хабдуллин Ас.Б., Хабдуллина З.К., Хабдуллина Г.А., Хабдуллин Ар. Б.	68
ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА БЕЗ ЗАТРАТНОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И НАГРУЗКИ Хабдуллин Ас.Б., Хабдуллина З.К., Хабдуллина Г.А., Хабдуллин Ар. Б.	76
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКЕ ГЕРМАНИИ (НАПРИМЕРЕ ГОРОДА ОСНАБРЮК) Мауль В.П.	86
КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТОВ НА УПЛОТНЕННОМ ОСНОВАНИИ Шамов В.В.	92
ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЕЙСМОИЗОЛИРОВАННОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ГИБКИМ ВЕРХНИМ ЭТАЖЕМ НА ИСКУССТВЕННО СИНТЕЗИРОВАННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ Дукарт А.В., Олейник А.И., Юнисова С.А., Синявская А.А.	98
О КИНЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ Олейник А.И., Ахмедов К.М., Шамов В.В., Синявская А.А.	107
МОДИФИКАЦИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	

Касперович А.В., Боброва В.В., Шевчик А.В., Валько Н.Г.	115
ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДЕНИЯ СУЛЬФОМАГНЕЗИАЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА	
Мирюк О.А.	122
ТОПИНАМБУР И ПРОДУКТЫ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЯСНЫХ ПРОДУКТАХ	
Кадирова А.М.	134
3D-КАРЬЕР: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ	
Зарубин М., Ыбытаева Г.	139
ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ	
Алипбаев А.Н., Сулейменова М.Ш., Молдагазыева Ж.Ы., Азимова С.Т., Алтынбаева Г.К.	148
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ШИН В РАМКАХ АО «ССГПО»	
Обухова О.Н., Обухов С.А., Штыкова И.В., Брановец Н.Е.	153
ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ДИЭФИРОВ D-ВИННОЙ КИСЛОТЫ	
Жельдыбаева А.А., Азимова С.Т., Алтынбаева Г.К., Кадникова О.Ю., Айдарханов А.М.	161
РАСЧЕТ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОВОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЧИСЛЕННЫМ МЕТОДОМ	
Барулин А.И., Хабдуллина З.К.	164
АНАЛИЗ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ГЛИН В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ МАРГАНЦА И ЖЕЛЕЗА	
Султанбекова Г.И., Алтынбаева Г.К., Улжагулова Г.А., Елубек Н.Р.	169
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАНИПУЛЯТОРОВ ИМПУЛЬСНО-ФОРМИРУЮЩИХ МАШИН	
Смирнов Ю.М., Ураимов М., Смакова Н.С.	174
ИНТЕГРИРУЕМОСТЬ С ВЕСОМ СУММЫ РЯДОВ	
Арпьева С.В.	183
ПОЛУЧЕНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ ДИФОСФАТА НИКЕЛЯ	
Кадникова О.Ю., Торетаев М.О., Алтынбаева Г.К., Айдарханов А.М.	187

**СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС:
ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ И ВЫЗОВЫ НОВОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕРЖАВЕЮЩЕЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ МАРКИ 08X18H10T	
Найзабеков А.Б., Панин Е.А., Лежнев С.Н., Арбуз А.С., Койнов Т.А.	197
АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ЛИСТОВ НА РЕВЕРСИВНОМ СТАНЕ	
Анна Кавалек, Генрик Дия, Кирилл Ожмегов .	204
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ДИССИПАЦИЯ И НЕСТАБИЛЬНОСТЬ СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	
Клибер Я., Шевчак В., Опеля П.	215
НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ	
О.Ю. Шешуков, М.А. Михеенков, И.В. Некрасов, Д.К. Егиазарьян	225
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАРБИДА ТИТАНА И ВОЛЬФРАМА С ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫМИ РАСПЛАВАМИ	
Аникеев А.Н., Чуманов И.В., Седухин В.В.	234
ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ ШАРООБРАЗНЫХ ОСАДКОВ ИЗ СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ТИПА УОТСА	
Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Абу-Ниджим Рамзи	245
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ В ПРОЦЕССАХ КОВКИ КРУПНЫХ ПОКОВОК	
Жбанков Я. Г., Алиева Л.И., Малий К.В.	253
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОЛОС И ПЛИТ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Mg, ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОГО СКАНДИЕМ	
Баранов В.Н., Сидельников С.Б., Зенкин Ю.И., Белоконова И.Н., Лопатина Е.С., Якивчук О.В., Ворошилов Д.С.	262
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ	
Сосенушкин Е.Н., Сосенушкин А.Е., Яновская Е.А., Пряничников М.Ю.	270
ПОЛУЧЕНИЕ НИКЕЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, АРМИРОВАННЫХ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ПОРОШКАМИ	
Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Абу-Ниджим Рамзи	280
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШЕЕК ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ	
Быков В.А., Брык А.В., Глебов Л.А., Радионова Л.В., Самодурова М.Н.	289
ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ЗЕРНА НА ТРАНСФОРМАЦИЮ СТАЛИ 100CR6 В ДИАГРАММЕ DCST	
Войтех Шевчак, Ростислав Кавулок, Иво Шиндлер, Иржи Клибер, Лукаш Пиндор	295
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСНОВНОСТИ ШЛАКА НА МЕЖФАЗНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХРОМА МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО	

МОДЕЛИРОВАНИЯ

- Салина В.А., Жучков В.И., Заякин О.В. 300
- АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ**
Кольцов П.В., Иванов Ю.С., Пыхтеева Н.Ф. 310
- КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО СПОСОБА ДЕФОРМИРОВАНИЯ «РКУ-ПРЕССОВАНИЕ – ВОЛОЧЕНИЕ»**
Найзабеков А.Б., Волокитина И.Е., Панин Е., Лежнев С.Н., Волокитин А.В., Tomasz Garstka, Жумагалиев Д.Р. 317
- МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДРЕССИРОВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ НА ПРИМЕРЕ СТАЛЬНОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ТРАВЛЕННОЙ ЛЕНТЫ ИЗ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ МАРКИ СТАЛИ**
Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Никитенко О.А., Константинов Д.В. 330
- КОМПЬЮТЕРНОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСАДКИ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**
Марков О.Е., Алиев И.С., Алиева Л.И., Грудкина Н.С. 337
- ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ТiC И WС ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ЛИТЬЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛА**
Аникеев А.Н., Чуманов И.В., Седухин В.В. 353
- АГИТАЦИОННОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ТОМТОР» РАСТВОРАМИ СЕРНОЙ И АЗОТНОЙ КИСЛОТ В АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЯХ**
Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Дхар Прашанта 365
- ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБОЛОЧКИ НА ПРОЦЕСС ОСАДКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ**
Логинов Ю.Н., Замаева Ю.В. 374
- МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МАРГАНЦЕВОЙ РУДЫ И ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА МАРГАНЦЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ**
Мяновская Я.В., Пройдак Ю.С., Камкина Л.В., Камкин В.Ю., Токарев С.И. 381
- РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА КОВКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ЗАГОТОВОК СО ВЗАИМНЫМ СМЕЩЕНИЕМ БОЙКОВ**
Волков В.П., Салихьянов Д.Р., Каманцев И.С., Шамшиев А.А. 391
- ЗАВИСИМОСТЬ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ ОТ МАТЕРИАЛА И УСЛОВИЙ ТРЕНИЯ**
Соломонов К.Н., Тишук Л.И. 398
- АПРОБАЦИЯ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА КРУЧЕНИЕ**
Богатов А.А., Шварц Д.Л., Толкушкин А.О., Лежнев С.Н., Найзабеков А.Б. 404
- ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАТОРОВ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОУГЛЕРОДНЫЕ ДОБАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**
Раковец А.С., Куис Д.В., Свидуневич Н.А., Лежнев С.Н. 415
- К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОМД ПРИ АНАЛИЗЕ**

ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ Добров И.В., Семичев А.В., Морозенко Е.П.	421
РЕЦИКЛИНГ МЕТАЛЛОЛОМА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНИСТАНА РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ И ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА Лежнев С.Н., Найзабеков А.Б., Панин Е.А., Волокитина И.Е., Турабаева М.Б., Йорданова Р.М., Салько О.Ю.	433
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ КРУПНОГО СОРТА НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ Матюхин А.Ю., Обдул В.Д., Кулабнева Е.А.	442
РАЗРАБОТКА ПОДХОДА К ВЫБОРУ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ В НОРМАТИВНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ Полякова М.А., Янсаитова М.И.	447
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Рябичева Л.А., Дьяковская О.С.	456
ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ МЕТОДОМ РАСКАТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ Чуманов И.В., Козлов А.В., Матвеева М.А.	463
ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Батышев К.А., Задиранов А.Н., Малькова М.Ю., Куяw Zaya	470
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ КРЕМНИЯ В ФЕРРОСИЛИЦИИ НА СТЕПЕНЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИКЕЛЯ ИЗ СИСТЕМЫ CaO-SiO₂-MgO-Al₂O₃-FeO-NiO МЕТОДОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Салина В.А., Жучков В.И., Заякин О.В.	482
НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПОРОШКОВЫХ ВОЛЬФРАМОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ, МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОМПАКТИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК Барков Л.А., Самодурова М.Н., Радионова Л.В., Латфулина Ю.С.	490
МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ ШВЕЛЛЕРОВ. ПРОСТРАНСТВО КАЛИБРОВ Устинова Е.И., Шварц Д.Л., Михайленко А.М.	497
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕЙКИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ Ерпалов М.В., Нухов Д.Ш., Павлов Д.А.	510
ВЫБОР ВАРИАНТА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ Кузьмин С.Л., Моисеев В.А.	520
МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МНОГОПОЗИЦИОННОЙ ШТАМПОВКИ Орлова Е.П.	530
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАСКАТКИ ПРОШИТОЙ ГИЛЬЗЫ И ПОЛОЙ	

НЕПРЕВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕСШОВНЫХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ

Жакупова А.Т., Богомолов А.В. 538

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ СТАЛЬНОЙ ФУТЕРОВКИ НА РЕЗИНОВУЮ

Скалозубова Г.В. 543

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПОСОБОВ ВОЛОЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СХЕМЫ ПРОТЯГИВАНИЯ ПРОВОЛОКИ

Кривцова О.Н., Тончо Койнов, Панин Е.А., Лутченко Н.А. 549

ИЗУЧЕНИЕ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТКОСОВ ВНЕШНИХ ОТВАЛОВ

Калыбеков Т., Сандибеков М.Н., Рысбеков К.Б., Асылханова С. 560

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КОНТЕЙНЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ В КАРЬЕРАХ

Кузьмин С.Л., Тюрбит А.Н. 567

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЗОНЫ АКТИВНОГО ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД В УСЛОВИЯХ КАРЬЕРА

Искаков Р.Ж. 576

МОДУЛЬНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПАНЕЛЕЙ В КУЗОВАХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Генрик Дья, Ярослав Лулкевич, Шимон Шкудельски, Витольд Полечд, Мацей Радашевски 586

ПРЕДПОСЫЛКИ ВЫБОРА МЕТОДА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Ширяева Е.Н., Полякова М.А., Голубчик Э.М. 596

**СЕКЦИЯ 3. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ, СОЦИАЛЬНОЕ И ДУХОВНОЕ ОБНОВЛЕНИЕ В
КОНТЕКСТЕ НЕОИНДУСТРИАЛЬНОГО И ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

РАЗВИТИЕ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КАЗАХСТАНА В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ Pay A.П	605
КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД В ОРГАНИЗАЦИИ ОСОБЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОН РОССИИ И КАЗАХСТАНА Божко Л.Л., Тургель И.Д., Зиновьева Е.Г.	617
РЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ – ПЕРВЫЙ ЭТАП ЧЕТВЕРТОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ Малашенко В. П.	630
ECONOMIES OF THE FUTURE EMPIRICAL ANALYSIS OF PROBLEMS AND OPPORTUNITIES OF THE CERAMIC INDUSTRIAL DISTRICT OF NOVE – BASSANO (ITALY) Celetti David	639
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ РОССИИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ВЫЗОВЫ ПРАКТИКИ Власова Н.Ю., Титовец А.Ю.	650
КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ КОНСОЛИДАЦИИ Клименко П.Ф., Клименко И.С.	656
DIGITALIZATION OF HIGHER EDUCATION: THE EVOLUTION OF ACTORS' CHARACTERISTICS Molokova E.L.	661
ИССЛЕДОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРРИТОРИИ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА Куликова Е.С., Дурандина О.А.	665
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ, УГРОЗЫ ИЛИ ВЫЗОВЫ? Елисеев А.В., Елисеева И.В.	674
INTERACTION BETWEEN GOVERNMENT, BUSINESS AND SCIENCE AS A WAY OF INNOVATIVE DEVELOPMENT: RUSSIAN EXPERIENCE Lyashenko E.A.	684
СТРАТЕГИЯ ПОДДЕРЖКИ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ В СИСТЕМЕ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕРРИТОРИИ Логиновских А.Ю.	688
ЖИЛИЩНАЯ ПОЛИТИКА В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ Аршкенова А.М	693
БЕНЧМАРКИНГ СОЦИАЛЬНО - ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСКИХ КОРПОРАЦИИ КАЗАХСТАНА С ЗАРУБЕЖНЫМИ РЕГИОНАЛЬНЫМИ ИНСТИТУТАМИ РАЗВИТИЯ Талимова Г.У	699

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО МЕТОДИКЕ TQM Гельманова З.С., Хруслов С.А., Турабаева М.Б., Подгурская Т.О.	706
ПРАКТИКО – ОРИЕНТИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБУЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ГОТОВНОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ КОЛЛЕДЖА К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ Литке А.Е.	717
СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ Магруппова З.М.	722
ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО В КАЗАХСТАНЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ Зарубина В.Р., Зарубин М.Ю.	729
ГОСУДАРСТВО И ДОВЕРИЕ В КАЗАХСТАНЕ Лукманова М.Б.	737
АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КРУПНОГО БИЗНЕСА ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ АО «ССГПО» Нурсултанова К.Р.	742
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ТАУ-КЕН МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ КЕШЕНІНІҢ БӘСЕКЕГЕ ҚАБІЛЕТТІЛІГІН БАҒАЛАУ Ахметов Д.С.	747
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ КЛАСТЕРОВ В СТРАНАХ ЕАЭС Сапанова Р.К.	756
МОЛОДЕЖЬ – БУДУЩЕЕ СТРАНЫ Султангалиева М.Д.	762
НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ ЭКОНОМИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ Колотаева Л.П., Айдарова А.Б.	767
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЕНЧУРНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИЙ В КАЗАХСТАНЕ Олейник Л.В.	773
ЭКОНОМИКАЛЫҚ БАҒЫТТАҒЫ КАДРЛАРДЫ ДАЯРЛАУДА ЗАМАНАУИ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ҚАМТАМАЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ МАҢЫЗЫ Кулманова А.Б.	779
SEMİOTİKANUŇ TANUMDUQ MÁSELELERİ Muqaeva N.Q.	783
КЛАСТЕРНАЯ ПОЛИТИКА В ТУРИЗМЕ, КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РЕГИОНОВ КАЗАХСТАНА Божко Л.Л., Лескова Л.Г., Мукумов А.А.	788

Научное издание

**Рудный индустриялық институтының 60 жылдығына арналған
«Ғылым, технологиялар және білім интеграциясы
саласындағы замануи инновациялар»
мерейтойлық халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының
материалдар жинағы**

**Сборник материалов юбилейной
международной научно - практической конференции
«Современные инновации в области науки,
технологий и интеграции знаний»,
посвященной 60-летию Рудненского индустриального института**

**Collection of materials of jubilee international
research-to-practice conference
«Modern innovations in the field of science,
technology and knowledge integration»
dedicated to the 60th anniversary of Rudny Industrial Institute**

Жауапты редактор: Найзабеков Ә.Б.

Редакциялық алқа:

Мирюк О.А., Хабдуллина З.К., Лежнев С.Н.,
Кузьмин С.Л., Божко Л.Л., Зарубина В.Р.

Басуға 03.10.2019 ж. қол қойылды. Пішімі 21×30/2
Ксероксті техникаға арналған қағаз.
Ксерокстағы басылым. Көлемі 50,4 оқу баспа таңбасы.
Таралымы 500 дана. Тапсырыс №7009

Рудный индустриялық институтының басылымы
РИИ-дің редакциялық баспа орталығы
Рудный қаласы, 50 лет Октября көшесі, 58

