

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

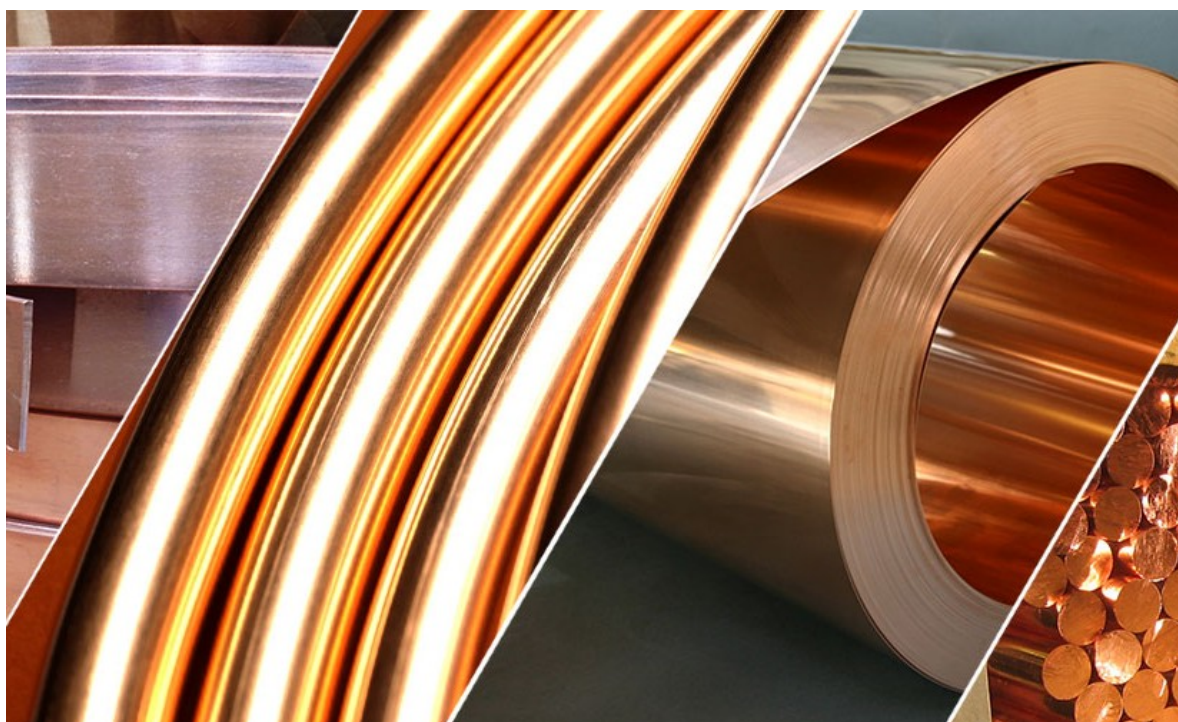
РУДНЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ



**А.Б. Найзабеков, С.Н. Лежнев, С.С. Айнабекова,
Т.А. Койнов, Р.М. Йорданова**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЦВЕТНЫХ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Учебное пособие



Рудный
2019

УДК 621.73/.77 (075)
ББК 34.62 я 73
Т38

Рецензенты:

Соломонов К.Н. – доктор технических наук, профессор, Ростовский государственный университет путей сообщения (Воронежский филиал);
Панин Е.А. – доктор PhD, Карагандинский государственный индустриальный университет.

**А.Б. Найзабеков, С.Н. Лежнев, С.С. Айнабекова, Т.А. Койнов,
Р.М. Йорданова**

Т38 Технология обработки цветных металлов и сплавов: Учебное пособие./
А.Б. Найзабеков, С.Н. Лежнев, С.С. Айнабекова и др. – Рудный: РИИ, 2019. –
101 с.

ISBN 978-601-7994-03-7

В учебном пособии рассмотрены основные способы обработки цветных металлов и сплавов давлением и изложены базовые положения технологических процессов при реализации данных способов обработки давлением. Так же в учебном пособии приведена информация по действующим температурным и технологическим режимам при различных способах обработки давлением различных цветных металлов и сплавов.

Учебное пособие может быть полезным для студентов специальностей: «Машиностроение», «Металлургия», Технология обработки материалов давлением».

Рекомендовано к изданию Ученым Советом Рудненского индустриального института.

УДК 621.73/.77 (075)
ББК 34.62 я 73

ISBN 978-601-7994-03-7

© МОиН РК
© РИИ
© Найзабеков А.Б.
© Лежнев С.Н.
© Айнабекова С.С.
© Койнов Т.А.
© Йорданова Р.М.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И ВИДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	5
2 ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ И ЛЕНТ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	7
2.1 Горячая прокатка полос и листов из цветных металлов	8
2.2 Холодная прокатка полос и фольги из цветных металлов и сплавов	18
3 ВОЛОЧЕНИЕ ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	27
3.1 Теоретические аспекты волочения прутков и проволоки из цветных металлов и сплавов	27
3.2 Волочильное оборудование	32
3.2.1 Оборудование для волочения проволоки	36
3.2.2 Оборудование для волочения прутков, профилей и труб	42
4 ПРЕССОВАНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ	45
4.1 Сущность процесса прессования	45
4.2 Технология прессования цветных металлов и сплавов	49
4.3 Особенности прессования алюминиевых сплавов	67
4.4 Особенности прессования цветных металлов на основе меди, титана, никеля	61
4.5 Термообработка прессовых полуфабрикатов.....	62
5 ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ	63
5.1 Технологические процессы ковки	69
5.2 Технологические процессы штамповки цветных металлов и сплавов ...	80
5.2.1 Штамповка на молотах	80
5.2.2 Штамповка на прессах	80
5.3 Штамповка в закрытых штампах	83
5.4 Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	83
5.5 Штамповка с применением высокотемпературной термомеханической обработки	86
5.6 Смазка при штамповке цветных металлов и сплавов	87
5.7 Калибровка	87
5.8 Очистка поверхности штамповок	89
5.9 Типовые технологические процессы штамповки цветных металлов и сплавов	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	100

ВВЕДЕНИЕ

Использование цветных металлов и сплавов в большинстве случаев становится возможным только после придания им необходимой формы. Тогда из экономической категории «предметы труда» цветные металлы и сплавы переходят в категорию «средства труда» или становятся готовым продуктом.

Существует много способов формоизменения металлов, из которых наиболее распространенными являются литейное производство, обработка металлов резанием и обработка металлов давлением.

Литье – наиболее простой, высокопроизводительный и дешевый способ получения отливок практически из всех металлов и сплавов. Литые изделия отличает разнообразие форм от простых до очень сложных. К последним можно отнести изделия, получаемые художественным литьем. Однако для отливок характерны такие дефекты, как пористость, неметаллические включения, крупнозернистая структура. Кроме того, в результате неравномерного охлаждения отливок в них возникают значительные остаточные напряжения.

Поэтому (чаще всего) литые детали не способны работать при значительных силовых и ударных нагрузках и уступают по уровню механических свойств изготовленным обработкой давлением.

Обработкой резанием получают разнообразные детали, имеющие высокую точность размеров и чистоту поверхности. Но при этом в отход в виде стружки идут миллионы тонн металла. Снизить стружкообразование при резании можно за счет использования заготовок, близких по своим размерам к изделиям.

Обработка металлов давлением (ОМД) способна объединить указанные способы получения изделий из металлов. Так, в качестве заготовок для обработки давлением чаще всего используются отливки. В процессе деформирования меняется их структура: измельчается зерно, завариваются поры, устраняется химическая неоднородность (дендритная ликвация) и т.д. Изменения структуры способствуют повышению уровня механических свойств. Кроме того, обработанная давлением заготовка становится максимально приближенной к готовой детали по своей форме и размерам, что значительно снижает количество отходов при обработке резанием и упрощает технологию этих процессов.

1 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ И ВИДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Обработка металлов давлением основывается на способности черных и цветных металлов и сплавов принимать значительную пластическую деформацию без разрушения. Этот важный технологический процесс металлургического производства обеспечивает не только придание слитку или заготовке необходимой формы и размеров, но и существенно улучшает свойства металлов и сплавов.

В ряду профильных дисциплин обработка металлов давлением наиболее близка к литейному производству и особенно к металловедению. Это закономерно, так как, во-первых, исходными заготовками для обработки давлением чаще всего являются слитки. Во-вторых, обработчики имеют дело с черными и цветными металлами и сплавами, свойства которых определяются их структурой, меняющейся в процессе пластической деформации, обычно протекающей при высоких температурах. Очень эффективным для получения изделий с высокими свойствами является сочетание пластической деформации с термической обработкой – термомеханическая обработка, отражающая связь обработки давлением с металловедением.

В последние годы широкое развитие получили процессы, в которых литье комбинируется с обработкой давлением: прессованием, прокаткой, штамповкой и т.д. Эти способы позволяют повысить свойства изделий и производительность процесса, а также снизить количество отходов.

Как и другие профильные дисциплины, обработка металлов давлением имеет свою теоретическую базу. Теория обработки металлов давлением разрабатывает общие основы рационального построения и анализа технологии всех процессов. В ее задачи входит определение условий деформации, которые обеспечивают:

- наивысшую пластичность обрабатываемых черных и цветных металлов и сплавов и тем самым возможность достижения максимальной деформации в каждой операции обработки;
- получение заготовок или изделий с оптимальным сочетанием физико-механических свойств;
- проведение процесса при минимальном расходе энергии.

Основные направления теории обработки металлов давлением: механико-математическое, физическое и физико-химическое.

Механико-математическое направление изучает напряжения и деформации в пластически деформируемом теле и условия перехода упругой деформации в пластическую. Это направление использует гипотезы об однородности, изотропности и неизменности свойств металлов в процессе деформации. Перечисленное практически исключает применение этого направления для изучения пластической деформации, основной особенностью

которой является непрерывное изменение физических и физико-механических свойств деформируемого металла.

Физическое направление теоретически и экспериментально исследует механизм пластической деформации с учетом анизотропии, характерной для кристаллического строения металлов. При этом учитывается влияние на процесс пластической деформации металлов температуры, скорости и степени деформации, а также внешнего трения.

Физико-химическое направление изучает связь химического состава и фазового состояния металла с процессом пластической деформации.

Физическое и физико-химическое направления теории обработки металлов давлением тесно связаны с металловедением.

Принято различать шесть основных видов обработки металлов давлением (рис. 1.1): прокатка, прессование, волочение, ковка, объемная штамповка (горячая или холодная), листовая штамповка. Часто перечисленные виды делят на две групп. В первую группу включают прокатку, прессование и волочение, которыми получают однотипную длинномерную продукцию, а ко второй – относят оставшиеся виды, объединяя их в кузнечно-штамповочное производство. Дадим определения каждому из перечисленных процессов обработки металлов давлением.

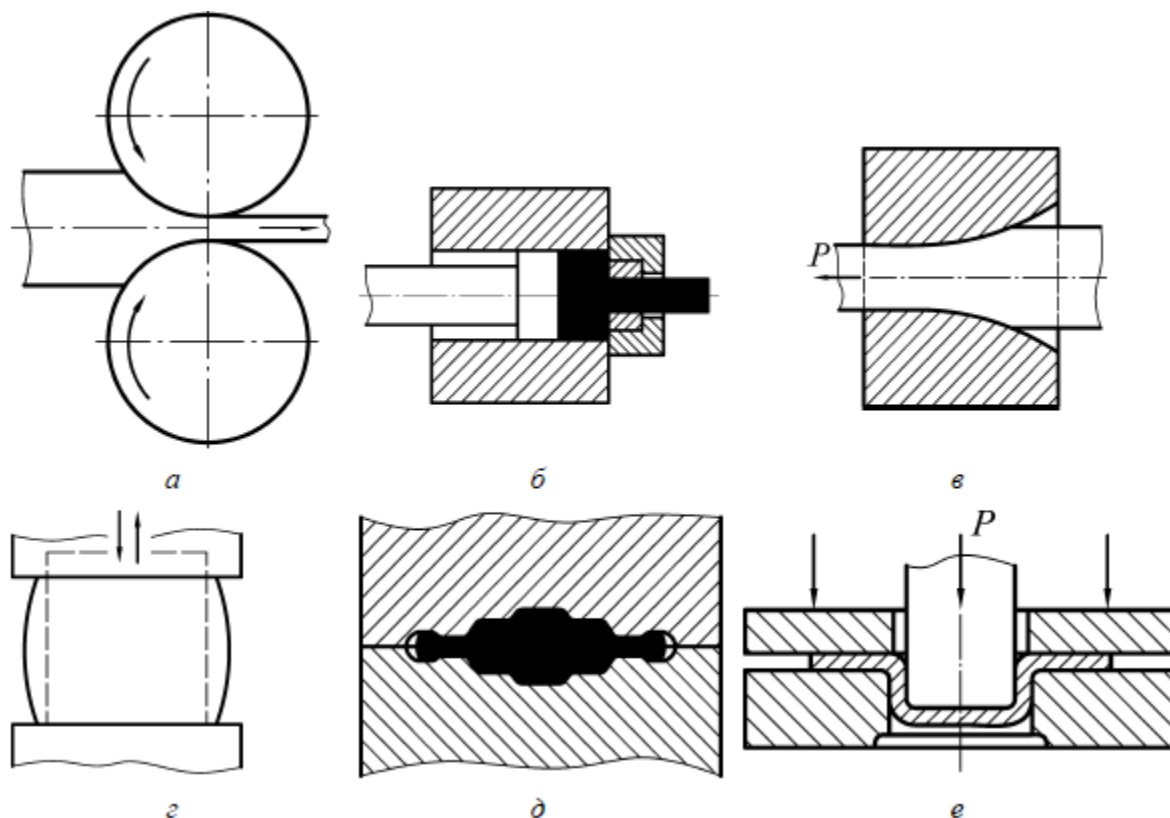


Рис.1.1. Основные виды обработки металлов давлением

Прокатка – пропускание заготовки между вращающимися валками (рис. 1.1, а).

Прессование – выдавливание металла из замкнутого объема через отверстие в прессовом инструменте (рис. 1.1, б).

Волочение – протягивание металла через плавно сужающийся канал волоки (рис. 1.1, в).

Ковка – деформирование металла динамическим и статическим прерывистым воздействием универсального инструмента (рис. 1.1, г).

Объемная штамповка (горячая или холодная) – процесс деформирования металла, при котором его свободное течение ограничено поверхностями ручьев штампов (рис. 1.1, д).

Листовая штамповка – процесс получения изделия из листовой заготовки, толщина которой в процессе деформации практически не изменяется (рис. 1.1, е).

В соответствующих разделах данного учебного пособия данные процессы будут рассмотрены подробнее именно при производстве изделий из цветных металлов и сплавов.

2 ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВ И ЛЕНТ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Прокаткой называется процесс деформации металла путем обжатия исходной заготовки между вращающимися валками с целью уменьшения поперечного сечения заготовки и придания ей заданной формы.

Прокатка – это один из наиболее распространенных видов обработки металлов давлением, которому подвергается приблизительно 80% выплавляемого металла. Широкое применение прокатки объясняется рядом ее преимуществ по сравнению с другими видами обработки давлением (прессованием, волочением), а также высокой производительностью этого процесса и меньшей стоимостью получаемых изделий.

Прокатка является эффективным инструментом для формирования структуры, обеспечивающей повышение эксплуатационных свойств изделий. Поэтому существует много схем термомеханической обработки, включающих прокатку.

В настоящее время широко внедряется совмещение обработки давлением с литейным производством. Примером может служить высокопроизводительный способ непрерывного литья и прокатки стали и сплавов.

Знание основ прокатки позволяет экономистам, специализирующимся в металлургии, активно влиять на технологический процесс прокатки с целью повышения технико-экономических показателей работы прокатных цехов.

Различают три основных вида прокатки: продольная, поперечная и поперечно-винтовая (косая). При продольной прокатке (рис. 2.1), являющейся наиболее распространенной, заготовка 2 деформируется между

вращающимися в разные стороны валками 1, зазор между которыми меньше, чем исходная толщина заготовки. Процесс прокатки считают простым, или симметричным, если его осуществляют в гладких некалиброванных валках с параллельными осями, расположенными в одной плоскости. Оба валка являются приводными, имеют равные диаметры и вращаются в разные стороны с одной окружной скоростью.

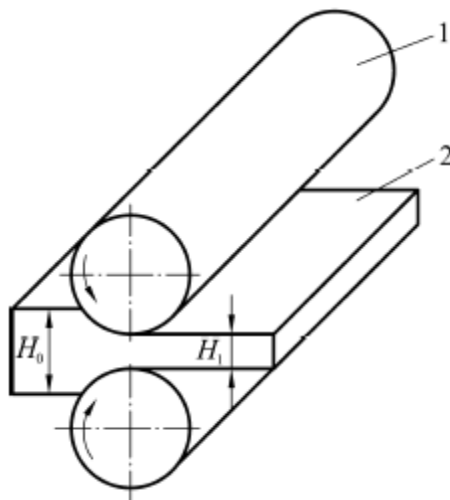


Рис. 2.1. Схема процесса продольной прокатки

Состояние поверхности обоих валков одинаковое, т.е. одинаковы коэффициенты и силы трения на них. Наконец, предполагается, что прокатке подвергают полосу прямоугольного сечения с однородными физико-механическими свойствами по всему объему и на нее действуют силы только со стороны валков.

Листовую прокатку проводят в гладких цилиндрических валках. В зависимости от способа производства и толщины листовой прокат подразделяют на три основные группы: горячекатаные толстые листы толщиной 4 мм и более, горячекатаные тонкие листы толщиной менее 4 мм и холоднокатаные листы всех размеров. Листовой прокат из стали и цветных металлов и сплавов используется в самых разнообразных отраслях промышленности.

2.1 Горячая прокатка полос и листов из цветных металлов

По своей плотности цветные металлы и сплавы условно делятся на легкие (плотность $< 3,6 \text{ г/см}^3$) и тяжелые ($> 3,6 \text{ г/см}^3$). К основным легким цветным металлам относят алюминий, магний, титан и их сплавы; к тяжелым — медь, никель, цинк, олово, свинец и их сплавы.

Прокатка алюминиевых сплавов.

Состав некоторых деформируемых алюминиевых сплавов приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Химический состав алюминиевых сплавов

Сплав	Содержание элементов, %			
	Cu	Mg	Mn	Si, Zn
АМц	-	-	1,0-1,6	-
АМг1	-	0,5-1,8	-	-
АМг2	-	1,8-2,8	0,2-0,6	-
АМг3	-	3,2-3,8	0,3-0,6	0,5-0,8 Si
АМг5	-	4,8-5,5	0,3-0,6	-
АМг6	-	5,8-6,8	0,5-0,8	-
Д20	6-7	-	0,4-0,8	-
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-
Д16	3,8-4,5	1,2-1,8	0,3-0,9	-
ВД17	2,6-3,2	2,0-2,4	0,4-0,7	-
АВ	0,2-0,6	0,45-0,9	0,15-0,35	0,5-1,2 Si
В94	1,8-2,4	1,2-1,6	-	5,9-6,8 Zn
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	5,0-7,0 Zn
В96ц	2,0-2,6	2,3-3,0	-	2,0-9,0 Zn

Для изготовления слитков из алюминиевых сплавов применяют метод непрерывного литья. Основное преимущество этого метода состоит в большой скорости кристаллизации металла, которая является основным фактором, определяющим качество слитка и готовых листов.

При литье заготовки в электромагнитный кристаллизатор, принцип работы которого основан на использовании эффекта отжимания жидкого металла от индуктора за счет взаимодействия вихревых токов; охлаждение слитка происходит непосредственно контактом с охлаждающей жидкостью, слитки получаются с гладкой поверхностью, не требующие механической обработки. При этом структура слитков образуется более однородной и мелкозернистой, а скорость литья слитков повышается на 10 - 30 % в зависимости от сплава и толщины слитка.

В настоящее время существует несколько вариантов технологии, предусматривающих различную последовательность выполнения подготовительных операций перед горячей прокаткой.

Но чаще всего, применяют вариант технологии, включающий следующие операции:

- гомогенизация;
- горячая прогладка на двухвалковом стане с незначительными обжатиями;
- горячая правка на роликовой правильной машине;
- резка сляба на части с обрезкой концов;
- фрезерование;
- наложение плакирующих планшет;
- нагрев перед прокаткой;
- горячая прокатка.

Горячей прокаткой изготавливают листы и плиты толщиной от 5 до 80 мм и шириной от 1200 до 2000 мм, а также полосы толщиной 2,5 - 10 мм в рулонах для дальнейшей холодной прокатки. Для устранения недостатков литой структуры слитки подвергают отжигу - гомогенизации. Температура и время гомогенизации некоторых алюминиевых сплавов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Температура и время гомогенизации некоторых алюминиевых сплавов

Сплав	Д1	Д16	ВД17	Д20	В94	В95	В96ц	АМг6	АМц
t, °С	470-500	500	470-490	515-530	450-460	440-470	460-470	450-460	600-640
τ, ч	8-36	8-36	12-36	12-24	24	24	24	44	8

Гомогенизацию часто совмещают с нагревом перед горячей обработкой давлением. Первую горячую прокатку производят после охлаждения слитков в гомогенизационных печах до температуры прокатки, которая ниже температуры гомогенизации.

При гомогенизации необходим быстрый и равномерный нагрев металла по всему сечению до заданной температуры, кроме того, если слиток после гомогенизации поступает на прокатку, то возникает необходимость снижения температуры. Для гомогенизации обычно применяют электрические шахтные печи.

Затем осуществляют прогладку, правку, резку и фрезерование слябов. В процессе прогладки слитки обжимают в 4 - 5 проходов со средним обжатием 2-4% за каждый проход при температуре 400⁰С (Д1, Д16) и 460 – 470⁰С (АМг3, АМг5). Правку слитков осуществляют в правильной машине за 3 - 5 проходов. После обрезки переднего и заднего концов слитки взвешивают и все имеющиеся на поверхности виды дефектов удаляют фрезерованием. Слой удаляемого при этом металла зависит от химического состава сплава и качества литья и находится в пределах от 3 до 10 мм. Слябы прочных плакируемых сплавов обычно фрезеруют на специальных станках на глубину от 3 до 5 мм.

Следующим этапом технологии является плакирование, т.е. покрытие поверхности листов из прочных легированных сплавов тонким слоем чистого алюминия или коррозионностойким алюминиевым сплавом. Эта операция предохраняет поверхность слябов от разрушения в первых проходах горячей прокатки (технологическая плакировка), защищает основной металл от коррозии (защитная плакировка), придает металлу особые физические или химические свойства.

Плакирование осуществляют горячей прокаткой фрезерованного сляба (толщиной 200 мм) с наложенными на него с обеих сторон планшетами - листами алюминия толщиной около 10 мм. В результате совместного действия высокой температуры, высоких давлений и пластических деформаций основной и плакирующий металлы прочно соединяются посредством взаимной диффузии.

Температурный интервал горячей прокатки зависит от химического состава сплава, массы сляба, температуры нагрева, обжата и скорости прокатки, количества подаваемой эмульсии, от ширины и толщины раската и др. В связи с этим в каждом конкретном случае целесообразно температурный интервал окончательно устанавливать экспериментально.

При выборе температур горячей прокатки в обязательном порядке необходимо учитывать фазовые превращения, которые происходят в сплаве при данных температурах и степенях деформации, чтобы в процессе прокатки рекристаллизация сплава прошла более полно. При этом продолжительность нагрева сплавов должна быть такой, чтобы произошел равномерный прогрев сляба по всему сечению. Более высокая скорость нагрева предпочтительна, так как при этом повышается производительность печей и улучшается качество слитка.

Алюминиевые сплавы обладают большой теплопроводностью, поэтому перепад температуры в процессе нагрева слитков даже при высоких скоростях незначителен. Современные печи с циркуляцией воздуха дают возможность нагревать со скоростями без разрушения слитков.

В процессе нагрева перед деформацией слитки могут окисляться. Окисление тем больше, чем выше температура нагрева и меньше его скорость. Повышенное окисление поверхности сляба особенно опасно для лакируемых сплавов, так как ухудшает качество приварки планшетов, особенно по боковым кромкам.

В таблице 2.3 приведены температурные интервалы прокатки алюминиевых сплавов на полунепрерывном стане.

Таблица 2.3 – Температурные интервалы горячей прокатки алюминиевых сплавов на полунепрерывном стане

Сплав	$t_M, ^\circ\text{C}$			Сплав	$t_M, ^\circ\text{C}$		
	перед прокаткой	перед непрерывной пятиклетевой группой	после прокатки		перед прокаткой	перед непрерывной пятиклетевой группой	после прокатки
АМг2	450-500	450-470	350-360	АМг5	410-450	400-430	360-370
АВ	450-500	450-470	350-360	АМг6	430-470	400-430	360-370
АМг1	450-480	450-470	350-360	Д1	410-450	400-410	340-360
АМг3	410-450	390-420	310-330	Д16	410-450	400-410	340-360

Время нагрева зависит от марки сплава, размеров слитка, конструкции печи и обычно находится в пределах от 2 до 8 ч.

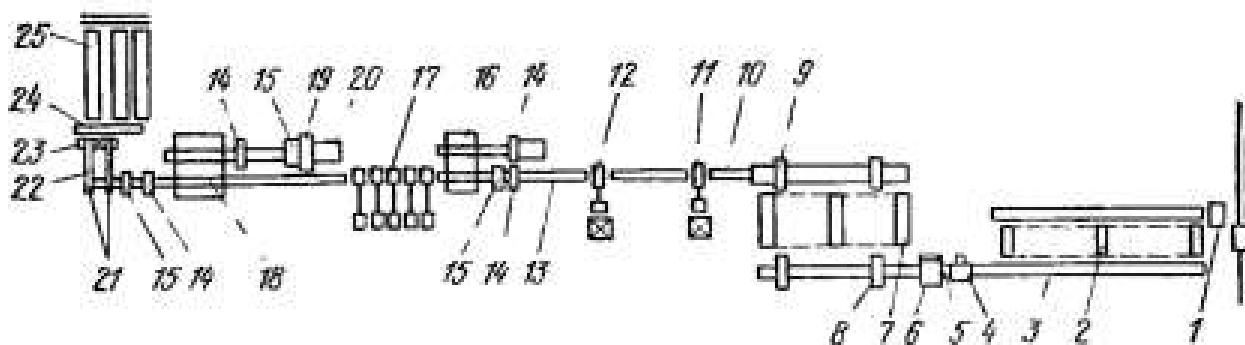
Чаще всего для нагрева слитков алюминиевых сплавов применяют методические конвейерные печи с электрическими или газовым обогревом. Автоматизация же нагревательных печей стабилизирует процесс нагрева, повышает производительность печей и улучшает качество продукции.

С целью предупреждения разрушения слитков по горизонтальной оси при выходе металла из валков применяют профилирование переднего конца

сляба. А растрескивание боковых кромок горячекатаных полос устраняют применением боковых обжатий вертикальными валками. Для устранения же поверхностного растрескивания неплакированных слэбов из прочных сплавов применяют технологическую плакировку.

В настоящее время для горячей прокатки цветных металлов и сплавов большое распространение получили полунепрерывные станы, в состав которых входят одна (реже две) реверсивная черновая клеть и чистовая непрерывная группа из 3 - 6 клеток. Такая схема дает возможность при производительности, значительно большей, чем у двухклетевых станов, выпускать горячекатаные полосы толщиной до 2,5 мм, а также получать продукцию со свойствами отожженного металла благодаря повышению температуры в конце прокатки.

Черновую клеть полунепрерывных и двухклетевых станов, используемую также для производства толстых листов и плит, выполняют часто со значительно большей длиной бочки валков (до 4000 мм), что дает возможность выпускать крупногабаритный прокат.



1 - раскладчик слэбов; 2 - фрезерный станок; 3 - рольганги; 4 - моечно-сушильный агрегат; 5 - укладчик планшетов; 6 - кантователь; 7 - печи для нагрева слэбов; 8 - мостовой вилочный кран; 9 - полупортальный вилочный кран; 10 - рабочая клеть с вертикальными валками; 11 - рабочая клеть 900/1400x2800 мм; 12 - рабочая клеть 750/1400x2800 мм; 13 - рольганги; 14 - гильотинные ножницы с нижним резом (толщина разрезаемого проката 11-15 мм); 15 - дисковые ножницы с кромкокрошителем; 16 - поперечный транспортер плит; 17 - рабочая клеть 650/1400x2800 мм (непрерывная группа); 18 - поперечный транспортер толстых листов; 19 - 13-валковая правильная машинка; 20 - листоукладчик; 21 - намоточное устройство; 22 - весы; 23 - тележка-кантователь рулонов; 24 - конвейер рулонов; 25 - печи для отжига рулонов

Рис. 2.2. Схема расположения оборудования полунепрерывного листового стана 2800 горячей прокатки алюминия и его сплавов

На рисунке 2.2 приведена схема расположения оборудования полунепрерывного семиклетьевого листового стана 2800, предназначенного для горячей прокатки листов из алюминия и его сплавов размерами (6-25)×(1000-2500)×10000 мм, плит размерами (25-60)×(1000-2500)×10000 мм, полос сечением (3-6)×(1000-2500) мм, массой 1500-3000 кг, смотанных в рулоны наружным диаметром до 1200 мм. Весь сортамент прокатывают из слябов размерами (192-210)×(1650-2000)×(1150-2650) мм. Наибольшая масса сляба 3000 кг.

В таблице 2.4 в качестве примера приведен режим обжатий при прокатке слитка шириной 2130 мм из сплава АМг6 на полосу 5×2000 мм на полунепрерывном семиклетьевом стане.

Таблица 2.4 - Режим обжатий при прокатке слитка из сплава АМг6 на полосу 5×2000 мм

Номер прохода	H, мм	h, мм	Δh, мм	ε, %	Номер прохода	H, мм	h, мм	Δh, мм	ε, %
Первая реверсивная клеть									
1	271	270	1	0,4	7	200	185	15	7,5
2	270	264	6	2,2	8	185	170	15	8,1
3	264	245	19	7,2	9	170	155	15	8,8
4	245	230	15	6,1	10	155	140	15	9,7
5	230	215	15	6,5	11	140	125	15	10,7
6	215	200	15	7,0	12	125	110	15	12,0
Вторая реверсивная клеть									
13	110	97	13	11,8	17	60	50	10	20,0
14	97	84	13	13,4	18	50	40	10	25,0
15	84	71	13	15,5	19	40	30	10	33,4
16	71	60	11	16,7	20	30	20	10	25,0
					21	20	15	5	25,0
Пятиклетевая непрерывная группа									
22	15	11	4	26,7	25	6,5	5,5	1,0	15,4
23	11	8,5	2,5	22,8	26	5,5	5,0	0,5	9,1
24	8,5	6,5	2,0	23,6					

Примечание: Перед 5-, 7-, 9-, 11-, 13- и 15-м проходами производят обжатие вертикальными валками в два прохода на 5-7 мм за проход.

В процессе горячей прокатки алюминиевых сплавов валки прокатных станов обильно поливают эмульсией, к которой предъявляют следующие требования:

- хорошая охлаждающая способность;
- предотвращение налипания алюминия на валки;
- способность растворять масла, которые иногда подают на валки для уменьшения налипания; отсутствие вспенивания.

Прокатка магниевых сплавов.

Слитки из магниевых сплавов изготавливают непрерывным или полунепрерывным литым размером 250×(850 -1200)×(1600- 2000)мм.

Химический состав магниевых сплавов (%) приведен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Химический состав магниевых сплавов

Сплав	Содержание элементов, %			
	Al	Mn	Zn	Cd, Zr
MA1	-	1,3-2,5	-	-
MA2	3-4	0,15-0,5	0,2-0,8	-
MA2-1	3,8-5,9	0,4-0,8	0,8-1,5	-
MA8	0,15-0,35	1,5-2,5	-	-
MA9	0,3-0,7	1,0-1,3	-	0,1-0,3 Cd
BM65-1	-	-	5,0-6,0	0,3-0,9 Zr

После отливки слитки проходят гомогенизирующий отжиг по ступенчатым режимам. После этого слитки режут и фрезеруют.

В связи с особенностями деформации магниевых сплавов прокатку ведут по следующей схеме: горячая прокатка, отжиг, теплая прокатка, отжиг, теплая прокатка, отжиг.

В таблице 2.6 и 2.7 приведены режимы обжатию при горячей и теплой прокатке магниевых сплавов MA2-1 и MA8. Температура промежуточного отжига составляет 400-420⁰С и 430-460⁰С соответственно, отжиг осуществляют в течение 6 ч. Температура прокатки магниевых сплавов составляет 425- 500⁰С при прокатке черновой группы и 250-480⁰С при чистовой прокатке.

Прокатку магниевых сплавов осуществляют на одно- и двух- клетевых реверсивных станах.

Таблица 2.6 – Схема обжатию при горячей прокатке слэбов сечением 250×1600×1200 сплавов MA2-1 и MA8 на полосу 5,0×1550 мм

Номер прохода	h, мм	Δ h, мм	ε, %	Эджирование ¹	Номер прохода	h, мм	Δ h, мм	ε, %	Эджирование ¹
1	205	45	18,0	-	8	28	10	28,6	-
2	160	45	22,0	-	9	18	7	30,	2
3	120	40	25,0	-	10	13	5	27,8	-
4	90	30	25,0	2	11	10	3	23,0	-
5	65	25	27,8	-	12	7	3	30,0	-
6	48	17	26,2	-	13	5	2	28,6	-
7	35	13	27,2	2					

¹ Число проходов в вертикальной клетке

Таблица 2.7 – Схема обжатий при теплой прокатке полос 5,0×1050 мм сплавов МА2-1 и МА8 на полосу 0,8×1050 мм

Номер прохода	h, мм	Δ h, мм	ε , %	Номер прохода	h, мм	Δ h, мм	ε , %
1	4,0	1,0	20,0	<i>Промежуточный отжиг</i>			
2	3,2	0,8	20,0	6	1,5	0,5	25,0
3	2,7	0,5	15,6	7	1,1	0,4	26,6
4	2,3	0,4	14,8	8	0,8	0,3	27,2
5	2,0	0,3	13,8				

Прокатка титановых сплавов.

Почти все современные жаропрочные титановые сплавы основаны на системе Т1-А1. Химический состав титановых сплавов (%) приведен в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Химический состав титановых сплавов

Сплав	Содержание элементов, %		
	Al	Mo	Mn, V, Cr
BT1	<i>Технически чистый титан</i>		
BT3	4,0-5,2	-	2,0,-3,0 Cr
BT3-1	4,0-5,2	1,0-20,	1,5-2,5 Cr
OT4	2,0-3,5	-	1,0-2,0 Mn
BT5	4,0-5,5	-	-
BT6	5,0-6,5	-	3,5-4,5 V
BT8	5,8-6,8	2,8-3,8	-
BT14	3,5-4,5	2,5-3,5	0,7-1,5 V
BT15	3,0-4,0	7,0-8,0	10-11 Cr

Температурный режим деформирования титановых сплавов приведен в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Температурный режим деформирования титановых сплавов

Сплав	$t_{и}$, °C	τ , ч	$t_{к}$, °C
BT1	850-950	1,5-2,0	700
BT3	980-1050	2,0-2,5	850
BT3-1	980-1050	2,0-2,5	800-850
BT5	1000-1100	2,0-2,5	850-900
BT6	950-1000	2,0-2,5	800-830
BT8	1000-1100	2,0-2,5	850
OT4	950-1050	2,0-2,5	800
BT14	950-1050	2,0-2,5	850
BT15	1050-1100	3,0-3,5	850

Для прокатки тонкого титанового листа в большинстве случаев применяют реверсивные станы горячей прокатки. Типичный реверсивный ленточный стан горячей прокатки имеет две клетки - обжимную реверсивную универсальную двухвалковую клетку (с вертикальными валками) и отделочную реверсивную четырехвалковую клетку с моталками, расположенными в печах. Кованные слябы, предварительно нагретые до температуры прокатки, прокатывают до толщины около 25 мм в обжимной клетке и по рольгангу передают к отделочной клетке. Первый этап отделочной прокатки толстой полосы производят с выдачей полосы на рольганги.

При толщине полосы 10-13 мм ее заправляют на одну из моталок, находящихся в печи. Прокатанная лента, смотанная на моталку, выходит из валков, но не выпускается из натяжных роликов, размещенных между клеткой и моталкой. Стан реверсируют, и задний конец ленты заправляют на вторую моталку. При этом операцию подачи ленты в моталки осуществляют с помощью откидных заслонов, встроенных в рольганги стана под моталками. После нескольких проходов лента толщиной 0,7-1,5 мм выходит из моталки на рольганг и поступает по нему к сматывающему устройству.

Наличие подогревательных печей над моталками позволяет производить горячую прокатку очень тонких титановых лент (толщиной 0,5-0,7 мм) с большими обжатиями и хорошим качеством боковой кромки, так как в процессе прокатки металл почти не остывает. А применение заднего и переднего натяжений на горячем реверсивном стане позволяет получать тонкую ленту с хорошей планшетностью.

Прокатка тяжелых цветных металлов и их сплавов.

К основным тяжелым цветным металлам и сплавам, из которых изготавливают прокат, относятся сплавы на основе меди (латуни и бронзы) и никелевые и медноникелевые сплавы (монель-металл, мельхиор, нейзельбер, константан и др.). Латунь - сплав меди с цинком (Л62, Л68 содержат соответственно 62 и 68 % Cu). Специальные латуни содержат добавки свинца или олова (ЛС59-1, ЛС59-3, ЛС62-1).

Бронзы разделяют на оловянистые и безоловянистые. К оловянистым бронзам относят бронзы марки БрОФ6,5-0,15 (6,5% Sn, 0,15 % P), БрОЦС4-4-2,5 (4% Sn, 4% Zn, 2,5% P). К безоловянистым бронзам относят БрКМц3-1 (3% Si, 1% Mn), БрБ2 (2% Be).

К никелевым и медноникелевым сплавам относят монель-металл (28% Cu, 2,5% Fe, 1,5% Mn), мельхиор (70% Cu, 30% Ni), нейзильбер (65% Cu, 15% Ni, 20% Zn) и константан (60% Cu, 38,5% Ni, 1,5% Mn).

Слитки из тяжелых цветных металлов и сплавов отливают непрерывным и полунепрерывным литьем с различными типами кристаллизаторов, а также в горизонтальные и вертикальные изложницы. Нагревают слитки в камерных методических, электрических печах сопротивления и индукционных до температур, представленных в таблице 2.10. Выбор температурного интервала горячей прокатки осуществляют на основании изменения механических

свойств металлов и сплавов при различных температурах. Рекомендуется температуру начала горячей прокатки принимать 0,85-0,95 от температуры плавления $t_{пл}$, а температуру конца прокатки (0,65-0,7) $t_{пл}$. Температурный интервал горячей прокатки некоторых латуней и бронз представлен в таблице 2.11.

Таблица 2.10 – Режим нагрева слитков в методической печи

Сплав	$t_{н}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{н}, \text{ч}$
Медь	940-960	1,5-2,0
Л90	890-910	1,75-2,0
Л70	810-840	3,0-3,3
Л68	820-840	2,5-3,0
Л63	760-800	3,0-3,3
ЛС59-1	690-700	2,0-2,3
ЛО62-1	750-800	2,3-3,0
МНЦ15-20	880-920	3,5

Таблица 2.11 – Температурный интервал горячей прокатки некоторых латуней и бронз

Сплав	$t_{н}, ^\circ\text{C}$	$t_{к}, ^\circ\text{C}$
Латуни		
Л96, Л90, Л090-1	850-870 (900) ^{*1}	700 (650) ^{*2}
Л80, ЛН65-5	830-800 (870)	700 (650)
ЛК80-3, Л72, Л70, Л68, ЛА85-0,5	820-840 (860)	750 (700)
Л63, Л062-1	800-820 (840)	700 (650)
ЛС59-1	750-780 (800)	700
Бронзы		
БрА5, БрА7	840-860 (870)	650
БрАМц9-2	820-840 (850)	650
БрБ2, БрБ2,5	780-800	650 (600)
БрКМц3-1	820-840 (850)	650
БрОЦ4-3	730-750	650

^{*1}Верхний предел интервала пластичности.

^{*2}Нижний предел интервала пластичности.

Горячую прокатку слитков из тяжелых цветных металлов и сплавов проводят, как правило, на одноклетевых реверсивных станах. Обжатия при горячей прокатке меди, никеля и их сплавов рассчитывают, исходя из максимальной производительности стана, планшетности и минимальной разнотолщинности полосы на выходе из валков.

2.2 Холодная прокатка полос и фольги из цветных металлов и сплавов

Холодная прокатка алюминия и его сплавов.

Заготовками для станов холодной прокатки служат горячекатаные полосы толщиной от 4 до 12 мм, длиной от 50 до 100 м и шириной от 1200 до 2500 мм, полученные на реверсивных станах горячей прокатки, и полосы толщиной от 2,5 до 3,5 мм, полученные на полунепрерывных станах горячей прокатки. Перед холодной прокаткой горячекатаные полосы (в рулонах) почти всех алюминиевых сплавов подвергают отжигу. При этом отжиг проводят при температуре выше температуры рекристаллизации, а затем медленно охлаждают со скоростью не выше 10 град/с до 250 °С.

Холодную прокатку листов из алюминия и его сплавов проводят на высокопроизводительных одноклетевых реверсивных или многоклетевых (2-5 клеток) станах. Специфика производства листов из легких сплавов заключается в том, что поверхность их чрезвычайно подвержена механическим повреждениям, поэтому требования к исполнительным механизмам прокатных станов значительно выше, чем к оборудованию для прокатки стальных полос.

Реверсивные станы применяют в том случае, когда изготавливают широкий размерный сортament сплавов. При изготовлении же узкого сортамента устанавливают многоклетевые непрерывные станы, которые обеспечивают высокую производительность процесса прокатки.

Техническая характеристика типовых станов холодной прокатки алюминия и его сплавов дана в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Техническая характеристика типовых станов холодной прокатки алюминия и его сплавов

Тип стана	D _{раб} , мм	D _{оп} , мм	L, мм	N, кВт	v, м/с	H, мм	h, мм
Одноклетевой реверсивный	650	1400	2800	4000	4,0	6-4	3-0,5
То же	500	1250	1700	2200	5,0	12-6	3-0,5
Непрерывный двухклетевой	650	1400	2800	2х4000	10-4,0	10-4	3-0,5
Непрерывный трехклетевой	456	1240	1680	3х960	10,8	4,0	0,254
То же	550	1300	2040	3х450	18,0	8-2	3,5-0,4
Непрерывный пятиклетевой	560	1410	1676	I, V клетки - 2200; II, IV - 2600	20,0	3,8	1,8-0,15

Наибольшее же распространение при холодной прокатке алюминия и его сплавов получили четырехвалковые станы с длиной бочки 1700 и 2800 мм.

Обжатия за проход при холодной прокатке алюминия и его сплавов определяют следующими основными факторами:

- прочностными и пластическими характеристиками сплавов и качеством исходной заготовки;
- заданными механическими свойствами;
- требованиями к качеству поверхности, геометрии и выкатке;
- составом и мощностью установленного оборудования;
- максимальной производительностью станов.

В процессе холодной прокатки происходит упрочнение металла, в результате чего его пластические свойства уменьшаются. Начиная со степени деформации 45-55 % величина относительного удлинения у большинства алюминиевых сплавов примерно одинакова и составляет 3-6 %. Однако способность к дальнейшей холодной прокатке у сплавов различная. Следовательно, величина относительного удлинения не может служить критерием для назначения режима обжатий. Таким критерием является величина деформации, при которой происходит образование трещин по кромкам. При небольших обжатиях за проход суммарная деформация $\sum \varepsilon$ может достигать 90-92 % при прокатке твердых сплавов и свыше 95 % при прокатке мягких сплавов. Однако малые деформации ухудшают качество поверхности, выкатку и резко снижают производительность станов. При холодной прокатке с целью предотвращения образования трещин по кромкам после определенной суммарной деформации для некоторых сплавов применяют промежуточный отжиг.

Примеры режимов обжатий и усилия холодной прокатки различных алюминиевых сплавов приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Режимы обжатий, усилия и давления прокатки алюминиевых сплавов

Сплав	b, мм	H, мм	h, мм	Число проходов	$\sum \varepsilon$, %	$P_{\max}$, МН	p, МПа
А1	1525	10	1,38	6	87,0	7,35	139/255
А1	1525	8	1,37	6	82,5	6,86	150/247
АМц	1525	7,8	1,1	8	86,0	8,9	269/453
Д16	2045	6	1,85	6	69,0	10,7	230/403
Д16	2045	2,35	1,1	4	53,0	7,75	279/346
Д16	2045	2,0	0,9	4	55,0	9,3	285/452
АМг6	2045	5,7	3,5	4	38,5	11,7	329/447

Примечание: Значение p в числите даны минимальные, в знаменателе - максимальные.

Холодную прокатку алюминия и его сплавов проводят обязательно с применением смазочно-охлаждающих эмульсий и технологической смазки, в состав которой входит керосин (5-25 %), веретенное или индустриальное масло (25-75 %) с добавкой олеиновой кислоты (0,5-15 %). Для получения высококачественной поверхности листов в большинстве случаев в качестве технологической смазки применяют легкие минеральные масла с присадками.

Листы из алюминиевых сплавов поставляют в отожженном, нагартованном и полунангартованном состоянии. Для алюминиевых сплавов широкое распространение получили три вида термической обработки: отжиг (полный и неполный), закалка и старение. Термонеупрочняемые сплавы (алюминий, сплавы системы Al-Mn и Al-Mg) подвергают полному или неполному отжигу. Алюминиевые листы толщиной 6 мм подвергают отжигу при температурах 300-500⁰С в течение 2-10 мин с последующим охлаждением на воздухе для получения максимальной пластичности и пониженной прочности и отжигу при температурах 150-300⁰С в течение 1-3 ч с последующим охлаждением на воздухе для обеспечения достаточной прочности.

Для получения мягких полуфабрикатов из сплава АМц (система Al-Mn) применяют отжиг при температурах 450-470⁰С. При этом время выдержки зависит от температуры нагрева и толщины материала (например, для листов толщиной до 3 мм выдержка составляет 2-5 мин, а для листов толщиной 3-6 мм выдержка составляет 7-10 мин).

Листы в полунангартованном состоянии можно получить двумя основными способами:

- неполной нагартовкой отожженных листов (применяют для листов средней толщины от 1,0 до 4,5 мм);
- неполным отжигом нагартованных листов (применяют для тонких листов толщиной от 0,6 до 0,8 мм).

Режимы неполного отжига в значительной степени зависят от содержания примесей железа и кремния. При этом температуру отжига изменяют в пределах от 210 до 360⁰С.

Листы из сплавов системы Al-Mg применяют в отожженном и нагартованном состоянии в зависимости от состава и назначения сплава. Для частичного повышения пластичности сплавы АМг1 и АМг2 достаточно нагреть до температуры 150-180⁰С в течение 1-2 ч, сплавы АМг5 и АМг6 достаточно нагреть до температуры 310-325⁰С в течение 0,5-3 ч в зависимости от толщины. Для получения максимальной пластичности материалов из сплавов АМг1, АМг2 и АМг3 применяют отжиг при температурах 350-420⁰С в течение 2-10 мин при толщине до 6 мм, а при большей толщине в течение 10-30 мин, а затем охлаждают на воздухе.

К термоупрочняемым сплавам относятся сплавы системы Al-Mg-Cu (дюралюмин). Листовые полуфабрикаты из дюралюмина на практике подвергают закалке и в большинстве случаев естественному и искусственному старению. Отличительная особенность термической обработки сплавов данной системы - необходимость жесткого соблюдения рекомендованной температуры нагрева перед закалкой, так как при неравновесной кристаллизации образуются неравновесные структурные составляющие.

Температура нагрева дюралюминов Д1, Д16, Д19, ВАД1, ВАД 17 составляет 500 ± 5⁰С, для сплавов Д18, В65 составляет 565 ± 5⁰С.

Большое влияние на показатели прочностных и коррозионных свойств полуфабрикатов из дюралюмина оказывает скорость охлаждения после

закалки. Поэтому во избежание повышения склонности к межкристаллитной коррозии дюралюмины при закалке следует охлаждать в холодной воде при минимальном времени переноса нагретых полуфабрикатов из печи в воду. При закалке дюралюмина фиксируют состояние пересыщенного α -твердого раствора. Все закаленные дюралюмины, за исключением низколегированного Д18, интенсивно упрочняются при естественном старении. Время достижения максимальных прочностных характеристик зависит от отношения Mg/Cu (чем больше это отношение, тем медленнее идет старение). Сплавы Д1 и Д16 максимальной прочности достигают через 4 суток, Д19 - через 5 суток, а ВАД1 - через 10 суток.

Естественное старение дюралюминов обеспечивает сочетание высоких значений предела прочности и относительного удлинения. При искусственном же старении предел прочности практически не меняется по сравнению с естественным старением, предел текучести значительно увеличивается при снижении характеристик пластичности. Так как более стабильное состояние сплавы достигают именно после искусственного старения, последнее обычно применяют к изделиям из сплавов Д16, Д19, ВАД1, предназначенных для работы при повышенных температурах (125-200 °С). Изделия из сплавов Д16 и ВАД1 подвергают искусственному старению при 190 °С с выдержкой 6-12 и 12 ч соответственно. Этот режим значительно повышает предел текучести, не снижая коррозионной стойкости изделий по сравнению с естественным старением. Так же хочется отметить, что сплав Д16 при комнатной температуре обладает наиболее высокой прочностью по сравнению с другими дюралюминами. Дополнительное повышение прочности листов из сплава Д16 может быть достигнуто искусственным старением, нагартовкой, или сочетанием того и другого.

В таблице 2.14 приведены механические свойства листов из сплавов типа дюралюмина после закалки и естественного старения.

Таблица 2.14 - Механические свойства листов из сплавов типа дюралюмина после закалки и естественного старения

Сплав	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Д1	410	240	20
Д16	440	330	18
Д19	430	30	18

Основной операцией для отделки листов из термически неупрочняемых сплавов является правка на правильной машине, а для закаленных листов - правка на правильной машине, прогладка (нагартовка) на прогладном стане с суммарным обжатием 0,5-1,0% (5-7 %), растяжение на правильно-растяжной машине с удлинением 2-3 %.

Холодная прокатка тяжелых цветных металлов и сплавов.

В зависимости от степени деформации при холодной прокатке холоднокатаные полосы и листы делят на следующие виды: мягкие (М) - отожженные, степень деформации после отжига равна нулю; четверть твердые (Ч) - степень деформации после отжига составляет 5-10 %; полутвердые (ПТ) степень деформации после отжига составляет 15-25 %; твердые (Т) степень деформации после отжига составляет 35-50 %; особотвердые (ОТ) степень деформации после отжига составляет 50 %.

В зависимости от предельных отклонений по толщине лент и полос при холодной прокатке различают ленты нормальной (Н), повышенной (П) и высокой (В) точности изготовления.

После горячей или холодной подготовительной прокатки перед дальнейшей холодной обработкой полосы в большинстве случаев подвергают фрезерованию. Толщина фрезеруемых полос составляет 8-15 мм, полосы меньшей толщины, как правило, не фрезеруют из-за большого отхода металла в стружку. При этом глубину фрезерования выбирают такой, чтобы выявленные дефекты были полностью удалены. Одновременно фрезеруют кромки полос. Применяют одно- и двухстороннее фрезерование. Хочется отметить, что в процессе качественного фрезерования продольная разнотолщинность полос может быть уменьшена на 20-20 %.

Уже давно доказано, что для достижения максимальной производительности современных станов холодной прокатки целесообразно прокатывать рулоны массой 5-8 т. Однако при горячей прокатке слитков на реверсивных станах из-за температурных условий прокатывают слитки массой 1-2 т. Поэтому в этом случае одним из путей повышения производительности станов холодной прокатки является сварка полос для получения рулонов большей массы. В настоящее время сварку полос из латуней, меди, нейзильбера, мельхиора и бронз проводят аргонно-дуговым способом. Но на некоторых заводах для сварки медных и латунных полос применяют автоматическую сварку под слоем флюса.

Из-за продольной и поперечной разнотолщинности свариваемых полос качество сварного шва часто не обеспечивает последующую холодную прокатку без обрывов. Анализ обрывов полос из сплава Л90 показал, что около 10% рулонов рвутся по сварному шву при прокатке на непрерывном стане и 30 % рвутся по сварному шву при прокатке на реверсивном стане. При этом механические свойства шва ниже свойств основного металла. Это в первую очередь относится к относительному удлинению, которое у сварного шва в несколько раз меньше, чем у основного металла. Наличие же косого шва на полосе благоприятно сказывается на условиях прокатки. Из-за ненадежности сварных швов при холодной прокатке приходится снижать скорость, что в свою очередь приводит к уменьшению производительности станов и к снижению выхода годного.

Холодную прокатку проводят обязательно с использованием технологических смазок. При этом степень деформации при холодной

прокатке тяжелых цветных металлов и сплавов зависит от прочностных и пластических характеристик металлов и сплавов, качества подката, требуемых механических свойств проката, качества его поверхности и ограничена прочностью элементов рабочей клетки и мощностью электропривода.

При холодной прокатке тяжелых цветных металлов и сплавов относительная деформация за проход составляет от 2 до 45 %. При этом обжатие в первом проходе не должно превышать 30 %. А величина обжатия в последнем проходе должна обеспечивать высокое качество полос. При поставке полос в твердом и полутвердом состояниях обжатия в последнем проходе зависит от необходимой степени наклепа материала. Суммарная степень деформации $\sum \varepsilon$ при прокатке тяжелых цветных металлов и сплавов составляет 70-90 %.

Процесс холодной прокатки на непрерывных и реверсивных станах ведут с передним и задним натяжениями, которые составляют 0,2-0,4 от предела текучести металла.

Общим свойством цветных металлов и сплавов является их повышенная склонность к налипанию на валки в процессе прокатки. Поэтому при холодной прокатке тяжелых цветных металлов и сплавов используют смазочно-охлаждающие жидкости и технологические смазки. Такими смазками являются смеси минерального масла с олеиновой кислотой и с добавками, предотвращающими налипание металла на валки.

Пример типовых режимов обжатий на одном из станов холодной прокатки представлен в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Типовые режимы обжатий на непрерывном трехклетевом стане 1000 холодной прокатки (375/1000×1000 мм)

Сплав	Ширина полосы, мм	Допуск на толщине подката, мм	Толщина полосы по проходам, мм	Допуск по толщине проката, мм
М1	645-745	0,30	6,6-5,65-4,7-4,5	0,24
	645-745	0,30	6,6-5,75-3,7-3,5	0,20
	645-745	0,30	6,6-4,25-2,7-2,5	0,18
	645-745	0,30	6,6-3,9-3,2-2,0	0,16
Л90	700	0,30	6,0-4,45-3,2-2,6	0,18
	700	0,30	6,0-4,25-3,0-2,3	0,12
	700	0,30	6,0-3,55-2,4-1,9	0,11
Л68	645-745	0,30	6,55-5,20-4,5-4,35	0,30
	645-745	0,30	6,0-4,5-3,7-3,0	0,20
	645-745	0,20	2,5-1,9-1,2-1,0	0,10
Л63	645-745	0,30	6,5-4,5-3,7-3,2	0,15
	645-745	0,15	3,2-1,85-1,45-1,3	0,07
	645-745	0,15	3,2-1,85-1,35-1,10	0,06
МНЦ15-20	645	0,25	6,0-4,5-3,7-3,5	0,16
	645	0,25	5,5-4,0-3,2-3,0	0,12
	645	0,25	5,5-3,5-2,7-2,5	0,12

При производстве листов, полос и лент из тяжелых цветных металлов и сплавов их подвергают отжигу, закалке, отпуску. При этом наиболее распространенной операцией является отжиг для восстановления пластических свойств. При отжиге металл нагревают до температуры не ниже температуры рекристаллизации данного сплава. Эту температуру выбирают по кривым зависимости механических свойств сплава от температуры отжига. Отжиг проводят в течение определенного времени, которое зависит от вида сплава, размеров полос и массы рулонов. Выдержка при отжиге необходима для прогрева всей садки до заданной температуры. После отжига листы, полосы и ленты из тяжелых цветных металлов и сплавов охлаждают на воздухе либо в воде. Охлаждение в воде возможно, если во время остывания металл не претерпевает структурно-фазовых превращений, сопровождающихся уменьшением пластичности. Не допускается охлаждение в воде таких сплавов как латунь ЛС59-1.

Температуры отжига полос тяжелых цветных металлов и сплавов в зависимости от их толщины представлены в таблице 2.16. Продолжительность отжига меди и ее сплавов в среднем составляет 0,4-1,0 ч.

Таблица 2.16 – Температура отжига подката и готового проката из тяжелых цветных металлов и сплавов

Сплав	Температура отжига (°C) при толщине полос, мм				
	5	1-5	0,5-1,0 (подкат)	0,5-1,0	0,6
М1, М2, М3	650-700	620-670	520-620	480-550	380-480
Л90	650-720	600-680	580-650	580-620	580-620
Л68	580-650	540-600	520-580	500-550	480-530
Л63	650-700	600-680	560-620	520-600	520-580
БрА5, БрА7, БрАМц9-2	700-740	680-720	620-680	620-680	620-680
БрОФ6,5-0,15	630-650	600-630	500-620	500-600	500-600
Никель	700-800	700-800	700-800	700-800	700-800
НМЖМц28-2,5-1,5	800-850	800-850	800-850	800-850	780-790
МН19	700-780	650-750	650-750	600-700	600-700
МНЦ15-20	700-750	700-750	680-750	680-730	680-730

Для удаления окалины с поверхности листов, полос и лент после их термической обработки в окислительной атмосфере применяют травление в растворах серной кислоты, серной кислоты и хромпика при температурах 20-40 °C, 40-70 °C соответственно.

Процесс отделки проката из тяжелых цветных металлов и сплавов заключается в резке металла на гильотинных и дисковых ножницах, а также в правке проката, на роликовых правильных машинах или на правильно-растяжных машинах при удлинении листов на 1-2 %.

Прокатка алюминиевой фольги.

Фольгу изготавливают из алюминия технической чистоты от марки АО (99,0 %) до А25 (<99,85 %).

Алюминиевую фольгу прокатывают рулонным способом на специальных фольгопрокатных станах, приспособленных для прокатки алюминиевой ленты (заготовки) с толщиной от 0,3 до 0,8 мм на фольгу толщиной от 0,005 до 0,2 мм.

При этом размеры полосового подката для прокатки фольги зависят от типа фольгопрокатных станков и объема производства. Типичные размеры подката приведены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 - Типичные размеры подката для прокатки фольги

h, мм	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7-0,8
b, мм	1040	480	640	1040	840-1700
m, кг	100-200	150-250	300-500	700-2000	1700-5000

Для прокатки фольги применяют заготовительные (черновые), промежуточные и отделочные (чистовые) прокатные станы, различающиеся как скоростью прокатки, так и шероховатостью поверхности валков. Скорость прокатки фольги в среднем составляет 16-25 м/с. При этом регулировка толщины прокатываемой фольги скоростью прокатки является одной из характерных особенностей прокатки фольги на скоростных станах.

Схему прокатки фольги выбирают в зависимости от состава оборудования и размеров подката. Технологическая схема изготовления фольги толщиной 0,007 мм при ширине 480-670 мм приведена в таблице 2.18.

Прокатанную фольгу для удаления продуктов смазки и предотвращения слипания фольги при сдвигании ее перед прокаткой на меньшую толщину часто промывают авиационным бензином на промывном стане. Фольгу же, прокатываемую на современных скоростных станах, не промывают, так как применяемые для охлаждения валков легкие масла с низкой вязкостью и низкой температурой вспышки полностью выгорают при отжиге фольги.

Перед прокаткой на толщину 0,010 мм и менее фольгу сдвигают и подвергают отжигу при температуре 280 °С и выдержке 40-45 минут или при температуре 380 °С с выдержкой 20-25 мин. При этом при прокатке сдвоенной фольги температура валков не должна превышать 35-50°С, иначе ленты свариваются и становятся трудно разделимыми. После раздвигания рулона фольгу режут на необходимую ширину и отжигают при температуре 450-510 °С.

Прокатка фольги на высокоскоростных станах существенно отличается от прокатки на станах с обычной скоростью. Широкое применение получили четырехвалковые фольгопрокатные станы, позволяющие вести прокатку со скоростью до 16 м/с при массе рулона от 2 до 5 тонны и ширине 1000 мм.

Таблица 2.18 - . Технологическая схема изготовления фольги толщиной 0,007 мм

Номер операции	Операция	H, мм	h, мм	ε, %	v, м/с
1	Прокатка на четырехвалковом стане 160	0,5	0,19	62,1	1,0-1,2
2	То же	0,19	0,09	52,6	2,0-2,3
3	>>	0,09	0,048	46,6	3,5-4,0
4	>>	0,048	0,025	47,8	4,0-4,2
5	Прокатка на двухвалковом стане 320	0,025	0,013	48,0	3,0
6	Промывка	0,013	-	-	-
7	Сдавливание	0,013x2	-	-	-
8	Отжиг	0,013x2	-	-	-
9	Прокатка на двухвалковом стане 320	0,013x2	0,007x2	46,1	2-2,5
10	Раздавливание	0,007x2	0,007	-	-
11	Резка на части	0,007	-	-	-
12	Отжиг	0,007	-	-	-
13	Разбраковка	0,007	-	-	-
14	Упаковка	0,007	-	-	-

При скоростной прокатке фольги необходимо применять легкие масла, быстро отводящие тепло, образующееся в процессе деформации металла. При заготовительной и промежуточной прокатке подката, идущего для изготовления тонкой фольги, рекомендуется применять шлифованные валки, что позволяет повысить скорость при отделочной прокатке. Скорости прокатки фольги на современных станах зависят от толщины прокатываемой фольги и колеблются в широких пределах. Прокатку фольги на четырехвалковых станах с толщины от 0,7 до 0,007 мм чаще всего ведут со скоростями, указанными в таблице 2.19.

Фольгу выпускают:

- блестящую с обеих сторон (прокатка на полированных валках);
- матовую с обеих сторон (прокатка на шлифованных валках);
- блестящую с одной стороны и матовую с другой (прокатка сдвоенной фольги).

Тонкую алюминиевую фольгу (0,002-0,025 мм) можно получить прокаткой карточным способом, складывая несколько слоев фольги в пачку и прокатывая на двухвалковых станах.

Наиболее часто в качестве смазки при прокатке фольги применяют минеральные масла, керосин, бензин. В технологические масла часто добавляют поверхностно активные вещества, например, олеиновые,

стеариновые и пальмитиновые кислоты, растительные масла и синтетические спирты (эфиры).

Таблица 2.19 – Скорость прокатки по проходам в зависимости от толщины фольги при ширине 1000 мм

Тип стана	мм	h, мм	v, м/с
<i>Четырехвалковый стан 254/610×1220 мм</i>			
Заготовительный	0,7	0,35	1,6-2,5
Заготовительный	0,35	0,18	3,5-4,0
Промежуточный	0,18	0,09	5,0-6,5
Промежуточный	0,09	0,04	6,5-8,5
Отделочный	0,04	0,02	10,0-13,5
<i>Четырехвалковый стан 165/400×1200 мм</i>			
Отделочный с двумя разматывателями	0,048х2	0,025х2	2,0-3,0
Отделочный	0,018х2	0,009х2	4,0-5,0
Отделочный для конденсаторной фольги шириной 700 мм	0,015х2	0,007х2	1,6-3,2

Отжиг алюминиевой фольги проводят не только для повышения пластических свойств, необходимых при использовании ее в качестве упаковочного материала, но также для удаления с ее поверхности технологической смазки и обеспечения стерильности. Фольгу отжигают в рулонах на шпулях или металлических втулках при высоких температурах и длительной выдержке, обеспечивающих полное удаление смазки. Температура отжига составляет 400-500 °С, выдержка составляет 6-12 ч.

При этом около 30% фольги выпускают в отделанном состоянии. К отделочным операциям относят тиснение, окрашивание и лакирование фольги, нанесение на ее поверхность цветной, многокрасочной печати, склеивание фольги с бумагой, пленкой, текстильными материалами и др. Полученные в этом случае материалы имеют новые свойства. Хочется отметить, что отделка алюминиевой фольги является особой областью производства и в данном пособии мы не будем ее подробно рассматривать.

3 ВОЛОЧЕНИЕ ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ ИЗ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

3.1 Теоретические аспекты волочения прутков и проволоки из цветных металлов и сплавов

Волочение является распространенным процессом производства проволоки, прутков, профилей и труб, как из черных, так и цветных металлов

и сплавов. При волочении заготовку постоянного поперечного сечения протягивают через волоку или неприводные ролики. При этом внешнюю нагрузку прикладывают к протягиваемому металлу, и на поверхности контакта металл-инструмент возникают контактные напряжения.

Схема процесса представлена на рисунке 3.1. Деформация происходит в относительно коротком очаге длиной l_δ . Характерной геометрической величиной для очага деформации является угол конусности 2α или соотношение:

$$l_\delta/d_{cp} = 2 l_\delta/(d_0 + d_1). \quad (3.1)$$

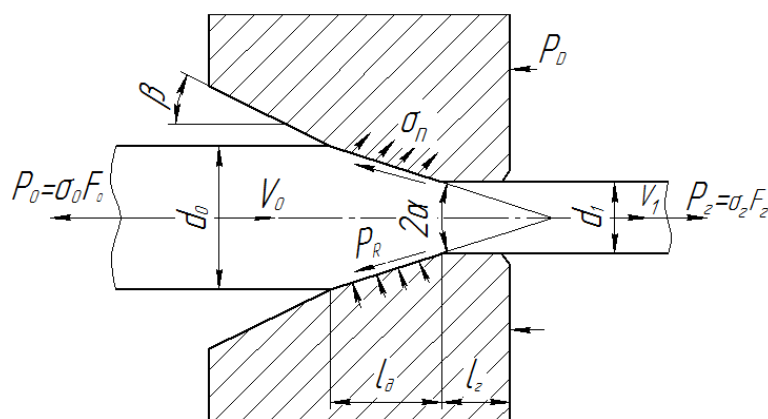


Рис. 3.1. Схема процесса волочения

В процессе волочения не происходят изменения во времени напряжения и деформации, то есть он является стационарным. При волочении проволоки, чаще всего концы заготовок сваривают, поэтому процесс волочения становится непрерывным. При волочении же прутков и профилей из-за ограниченности длины агрегатов процесс квазистационарный.

Так как слои металла при волочении перетекают из радиального в осевое направление. Это определяет нестационарный характер скорости деформации в очаге деформации. Средняя скорость деформации принимает значения в интервале от 10^1 до 10^5 1/с и повышается с уменьшением диаметра проволоки и длиной очага деформации.

Волочение, как правило, применяют для обработки цветных металлов и сплавов в холодном состоянии. Только в некоторых случаях для труднодеформируемых металлов и сплавов применяют горячее или теплое волочение. Теплое волочение проводят в узком интервале температур в районе рекристаллизации с тем, чтобы в процессе деформации полностью или частично восстановились прочностные свойства металла. В таблице 3.1 представлены наиболее употребляемые обжатию при волочении некоторых цветных металлов и сплавов. Обжатие (уменьшение поперечного сечения) при холодном волочении за один проход достигает 55 % и зависит от свойств металла и условий трения. Величина суммарных обжатий зависит от

пластичности металлов и изменяется от 30 до 95 %. Промежуточный отжиг восстанавливает пластические свойства металлов.

Таблица 3.1 – Обжатие при волочении, %

Материал	Единичные	Суммарные
Медь чистая	14-35	98
Сплав меди	12-30	94
Алюминий и его сплавы	12-40	98

В процессе волочения получают проволоку с диаметром от 0,005 до 40 мм, прутки диаметром от 5 до 50 мм и профили различной формы поперечного сечения. Проволоку, получаемую волочением, подразделяют на группы по размеру. Это разделение носит условный характер и поэтому не является одинаковым для всех заводов. Принято считать проволоку диаметром более 3 мм толстой, от 1 до 3 мм - средней, от 0,05 до 1 мм - тонкой, от 0,01 до 0,05 мм - тончайшей и менее 0,01 мм - микронной толщины.

При реализации процесса волочения повышение скорости волочения означает повышение производительности станов. Однако существуют и границы повышения скорости волочения. Они носят технический (динамические нагрузки), технологический (царапины, прочность швов) и теплотехнический (повышение температуры, возможность охлаждения) характер.

В таблице 3.2 приведены применяемые скорости волочения (м/с) изделий из различных материалов.

Таблица 3.2 - Применяемые скорости волочения (м/с) изделий из различных цветных металлов и сплавов

Материал	Скорость волочения, м/с
Алюминиевая и медная тончайшая проволока	70
Алюминиевая и медная тонкая проволока	40
Алюминиевая и медная проволока средних размеров	25
Прутки, профили из цветных металлов и сплавов	2,5

При волочении усилие, необходимое для деформации, прикладывают к деформируемому металлу, прочностные свойства которого ограничивают параметры процесса волочения. Расчет параметров деформации, например единичного обжатия и переходов волочения, основан на различных методах решения задач пластичности, из которых большое распространение получил метод линий скольжения. Для определения же напряжений наибольшее распространение получил метод тонких сечений.

Усилие волочения без натяжения зависит от геометрических параметров и условий трения в очаге деформации. При этом для каждого обжатия

существует угол волоки, при котором усилие волочения минимально. Как видно из рисунка 3.2 с повышением обжатия оптимальный угол волоки также увеличивается. Аналогично влияет на усилие волочения и повышение коэффициента трения и наоборот улучшение условий трения уменьшает усилие. При гидродинамическом трении представляется возможным применять относительно большие обжатия.

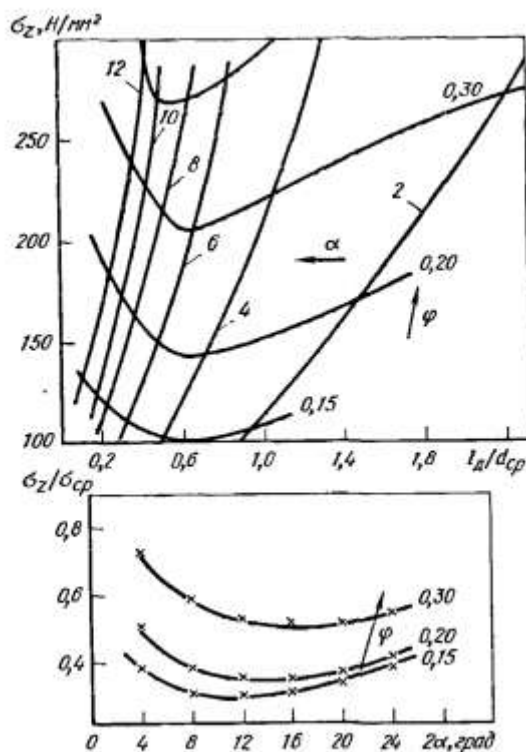
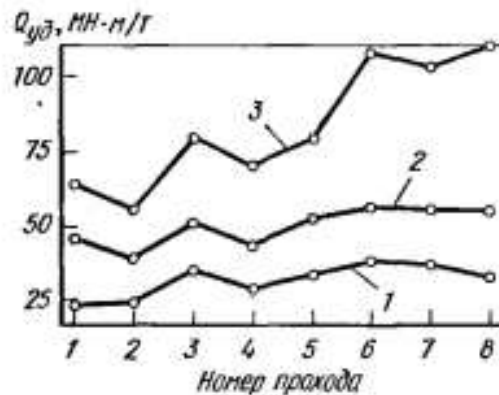


Рис. 3.2. Влияние геометрии и сопротивления деформации на σ_z

Влияние скорости и диаметра проволоки на усилие волочения были изучены экспериментально. Данные исследования показали, что с увеличением скорости усилие волочения снижается, а при увеличении диаметра и при прочих равных условиях усилие волочения увеличивается из-за увеличения затрат энергии на преодоление сил трения. Абсолютные значения усилия волочения изменяются в широких пределах. При волочении прутков оно достигает 250 кН, а при волочении микронной и тончайшей проволок - 0,1кН. При волочении проволоки с маленькими поперечными сечениями даже незначительные отклонения усилия могут привести к обрыву проволоки и поэтому волочение особенно металлов с пониженными прочностными свойствами затруднительно. Это следует иметь в виду на нестационарных этапах (начало процесса, ускорение) при получении тонкой и тончайшей проволоки. Кроме того, нужно предусмотреть гарантированную подачу смазки в очаг деформации.

Удельная работа деформации при волочении пропорциональна напряжению волочения. Она состоит из работы, идущей на поперечную

деформацию, деформацию в осевом направлении, преодолении сил трения, натяжения, а также ускорения. Влияние технологических параметров на работу, затрачиваемую для волочения, аналогично их влиянию на усилие волочения. На рисунке 3.3 представлены составляющие затрат энергии при волочении медной проволоки диаметром 5 мм из заготовки диаметром 10 мм за 8 проходов. Потери энергии в редукторе и двигателе учитывают при определении полной затраты энергии.



- 1 – энергия поперечной деформации;
- 2 – энергия поперечной деформации в осевом направлении и трения;
- 3 – тоже и потери энергии в двигателе привода

Рис.3.3. Удельный расход энергии $Q_{уд}$ при многократном волочении

Из приведенных в таблице 3.3 данных для заготовки диаметром 8 мм видно, что с точки зрения затрат энергии волочения с большими обжатиями за меньшее число проходов более экономично, чем волочение малыми обжатиями за большее число проходов.

Таблица 3.3 - Затраты энергии волочения проволоки из заготовки диаметром 8 мм

Число проходов п	Относительное обжатие ϵ	Общий расход энергии $Q_{общ.}, \text{МН}\cdot\text{м}$	Расход энергии на поперечную деформацию $Q_{п.д.}, \text{МН}\cdot\text{м}$
2	0,35	1600	1160
3	0,25	1755	1160
5	0,16	1900	1160

При горячем и теплом волочении добавляются затраты энергии на индукционный нагрев заготовок.

Волочение при повышенных температурах позволяет исключить промежуточные отжиги. Однако энергия, затрачиваемая на нагрев больше, чем на деформацию.

Для каждой комбинации параметров волочения существуют углы конусности волокни, при которых усилие, напряжение и потребная энергия принимают минимальные значения. Оптимальный угол определяют по формулам:

$$\alpha_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{3}{2} \mu \Phi} \quad \text{или} \quad \alpha_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{3}{4} m \Phi}. \quad (3.2)$$

Кроме того, существует зависимость оптимального угла $\alpha_{\text{опт}}$ от скорости волочения и свойств обрабатываемого материала. Рекомендуемые значения оптимальных углов приведены в таблице 3.4. При высоких скоростях волочения, небольших обжатиях и гарантированном поступлении смазки в очаг деформации значения оптимальных углов волокни уменьшают. Разработаны специальные конструкции волок, которые позволяют вести процесс волочения различных размеров круглых профилей при оптимальных углах волокни.

Таблица 3.4 – Рекомендуемые углы 2α рабочего конуса полок, град

Материал	Волочение с эмульсией	Волочение сухое
Отожженная медь	12-24	-
Упрочненная медь	10-16	-
Алюминий	10-24	-
Серебро, золото	12-24	10-20

3.2 Волочильное оборудование

Для получения продукции волочения, называемой тянутыми изделиями, используются специализированные оборудование и инструмент.

Основной инструмент для волочения – это волокни разнообразной конструкции. При получении волочением полых изделий к волочильному инструменту относятся также оправки. Волокни обычно включает обойму 1 и собственно волокни 2 (рис. 3.4).

Волочильный канал состоит из пяти зон: входной I, обжимающей II, переходной III, калибрующей IV и выходной V. Из этих пяти зон в контакте с деформируемым металлом в процессе волочения находятся только три: обжимающая, калибрующая и очень короткая переходная между ними. Поэтому на силу и напряжение волочения оказывает влияние продольный профиль только этих зон, который представляет собой ломаную линию из двух участков: наклонного к оси и параллельного ей, соединенных радиусным переходом. Совокупность этих зон часто называют деформационной зоной.

Следует также отметить, что в обжимающей зоне осуществляется основная деформация заготовки при волочении, а в калибрующей зоне сечению заготовки придаются окончательная форма и размеры.

Особенно заметно на силу и напряжение волочения влияет угол наклона образующей обжимающей зоны к оси канала волокни, или угол волокни α .

Существует зона оптимальных углов, при которых сила и напряжение волочения имеют минимальные значения. Увеличение α (сверх оптимальных значений) приводит к уменьшению контактной поверхности металла с волокой, что снижает силу трения и силу волочения. Одновременно повышается давление металла на поверхность волочильного канала, выжимается смазка из деформационной зоны, растет коэффициент трения и усилие волочения.

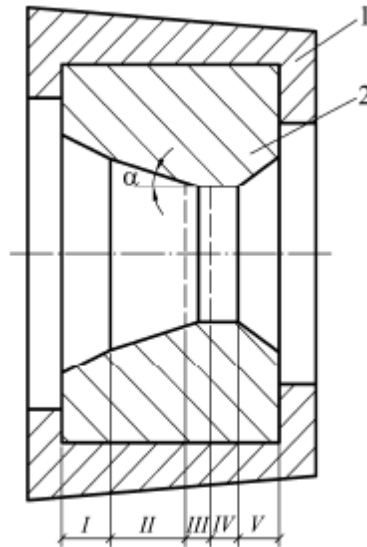


Рис. 3.4. Волока в обойме: I–V – зоны волоки

Кроме того, на преодоление дополнительных сдвигов из-за увеличения степени деформации требуется дополнительная сила. При значениях α меньше оптимальных увеличивается контактная поверхность металла с волокой, т.е. растет сила трения, но снижается степень деформации.

Наличие двух групп факторов, оказывающих противоположное влияние на силу волочения, и обуславливает существование зоны оптимальных углов, которая обычно находится в интервале от 5 до 18°.

Для изготовления волок используют три группы материалов: сталь, твердые сплавы и алмазы. Для стальных волок в зависимости от характеристики протягиваемого материала применяют стали трех групп: нелегированные марок У8-У12; хромомолибденовые марок Х12М; инструментальные разных марок: ШХ15, 40Х5Т и т.д.

При производстве проволоки из цветных металлов и сплавов в качестве волочильного инструмента так же применяют природные и синтетические алмазы.

В процессе волочения волоки испытывают относительно высокие механические и термические нагрузки, что приводит к значительному износу, который сопровождается явлением адгезии, усталости и абразивного воздействия на волоки. Интенсивность износа по длине очага различна и зависит от кинематических соотношений, материалов протягиваемой заготовки и волоки, размеров, геометрических и технологических параметров

(обжата, скорости, температуры, способа волочения). Наибольший износ волок наблюдается во входной зоне из-за наличия шероховатости и рисков на заготовках.

Смазки материала и геометрии волок, оказывают решающее значение на их стойкость, ход процесса волочения и качество изделий. В качестве материала для изготовления волок применяют закаленные легированные стали с последующей полировкой, твердые сплавы, например, 85-94 % карбида вольфрама и 6-15 % кобальта, нанесение на стальные волокна тонкого слоя нитридов, карбидов и боридов, естественные и искусственные алмазы. В каждом конкретном случае руководствуются механическими и теплотехническими свойствами материалов (таблица 3.5). Волокна из твердых сплавов запрессовывают в люнеты, которые изготавливают из стали, латуни или бронзы. Стальные люнеты используют при отсутствии в смазках присадок и кислот. В противном случае люнеты изготавливают из латуни или бронзы. Основными геометрическими параметрами волок являются смазочный конус ($2\beta=20\div40^\circ$) при волочении с погружением в эмульсию, рабочий конус, длина калибрующего пояска ($0,2\div1,0$ от диаметра проволоки) и выходной угол ($2\gamma=60\div70^\circ$).

Таблица 3.5 – Свойства и области применения материалов для изготовления волок

Характеристики	Сталь	Твердые сплавы	Естественные алмазы	Искусственные алмазы
Модуль упругости, ГПа	210	630	964	848
Предел прочности на растяжение, МПа		1800	2600	1200
Предел прочности на сжатие, МПа		4500 - 5000	8680	7610
Твердость	800	1800	10000	
Теплопроводность, Вт/м ² К	29-39	58-80	800-900	500-600
Рекомендуемые размеры, мм	Волочение профилей	>0,6	<2,5	<8

Так же большое применение в волочильном производстве нашли и роликовые волокна. При волочении в роликовых волокнах в качестве инструмента используют неприводные ролики, которые образуют калибр необходимой формы. Относительная скорость в очаге деформации между роликами и заготовкой, а, следовательно, силы трения невелики. Ролики образуют закрытый калибр и металл может уширяться. Такие волокна чаще всего применяют при волочении профилей. Для круглых сечений применяют роликовые волокна чаще всего только в двух проходах. Технические проблемы

состоят в установке роликов с необходимой точностью и в жесткости всей системы. На таких волоках получают проволоку диаметром более 2 мм.

Волоочильные машины классифицируют по принципу волочения, расположению тянущих шайб, числу волок, системам управления и числу одновременно протягиваемых проволок (рис. 3.5).

В зависимости от расположения и конструкции барабанов станы могут быть с горизонтальными и вертикальными барабанами, которые, в свою очередь, могут быть цилиндрическими или ступенчатыми. В случае ступенчатых барабанов их диаметры выбирают с учетом увеличения в результате обжата скорости волочения. Применяют такого типа машины в основном при производстве проволоки диаметром более 0,03 мм. Для увеличения износостойкости рабочих поверхностей барабанов в последнее время применяют хромистые стали и керамические материалы. Барабаны либо обильно поливают смазочно-охлаждающей эмульсией, либо полностью погружают в ванну с эмульсией.

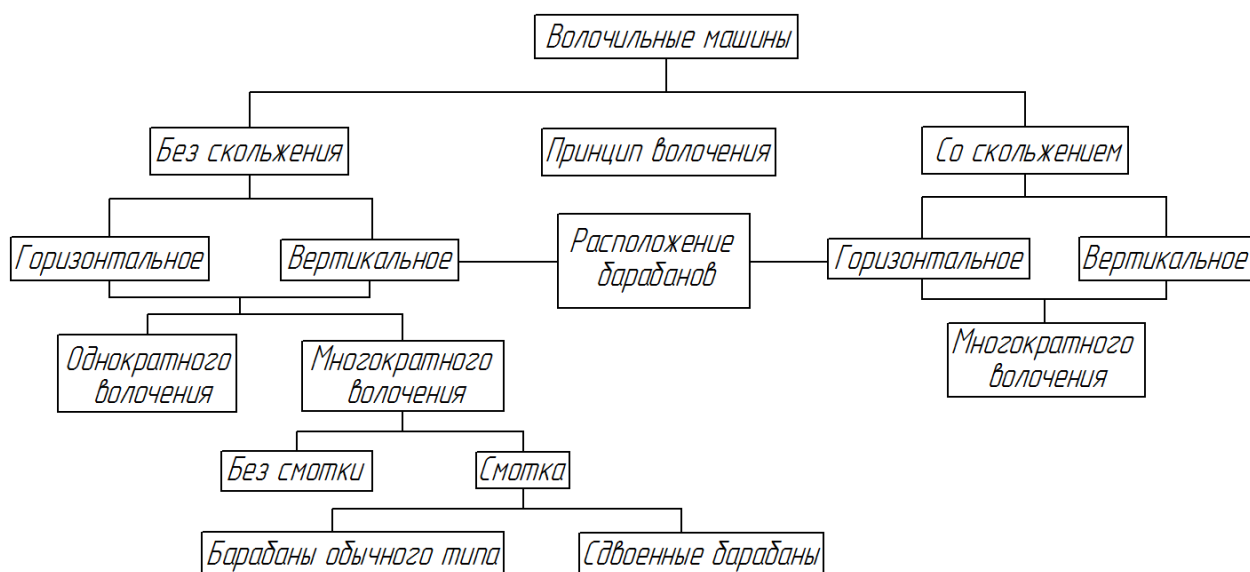


Рис.3.5. Классификация волоочильных машин

Существуют машины, на которых обрабатывают одновременно до 10 проволок в 10-25 проходов. Современные волоочильные машины снабжают устройствами заправки, сматывания и правки проволоки. Заготовку подают к стану специально уложенной или в бунтах массой до 2, редко до 10 т. Масса бунтов, их форма, материал заготовки и требования поставки готовой проволоки определяют состав вспомогательного оборудования. Сматывают готовую проволоку, как правило, на шпули.

Станы прямолинейного волочения включают в себя рабочий стол, задающее устройство, станины, волокодержатель, тележку, тяговые цепи или трос, привод и карман для готовых прутков. Заготовку заостряют, вводят в волоку и захватывают клещами тележки. Волочение осуществляют за счет движения тележки, которая соединена с цепью, тросом или приводом гидравлического типа. Длина готовых прутков на станах прямолинейного

волочения ограничена 40 м, а усилие волочения достигает 1000 кН. Наряду с однократным волочением существуют станы, на которых одновременно можно протягивать до трех прутков. В качестве привода используют двигатели постоянного тока. Волочилыные станы непрерывного действия снабжены двумя или тремя тележками, которые совершают возвратно-поступательное движение и обеспечивают непрерывное волочение путем перехвата заготовки зажимными устройствами. Длина прутков в этом случае не ограничена. Кроме того, такие станы снабжают отрезными устройствами.

3.2.1 Оборудование для волочения проволоки

Для волочения проволоки используют машины однократного и многократного волочения.

Машины однократного волочения (через одну волоку) в основном применяют для волочения проволоки крупных размеров, когда необходимо провести один или два перехода, в основном при калибровке проволоки, а также для изготовления сложных профилей, поставляемых в небольших количествах.

В зависимости от конструкции приемного устройства или расположения приемного барабана однократные машины можно подразделить на пять типов:

- с горизонтальным приемным барабаном;
- с вертикальным приемным барабаном;
- с перевернутым приемным барабаном;
- с приемом проволоки непосредственно на катушку;
- с приемом проволоки на катушку через тяговую шайбу.

На машине с горизонтальным тяговым барабаном (рис. 3.6, а) после заправки проволоки в волоку, размещенной в волокодержателе, выступающий конец проволоки зажимают клещами, прикрепленными к тяговому барабану так, что они могут скользить по его поверхности. При намотке протягиваемой проволоки на барабан первый виток ее ложится на конусную поверхность опорной части барабана и затем сдвигается по радиусной переходной части. Второй виток сдвигает первый в сторону до тех пор, пока не займет его место. То же самое повторяется с третьим и последующим витками. Вместе с первым витком движутся и клещи. Значительно реже встречаются горизонтальные барабаны с перемещающейся вдоль их оси волокой. В этом случае намотку проволоки осуществляют без перемещения ее по барабану, так как за каждый оборот барабана волока передвигается на расстояние, равное шагу намотки, что способствует предохранению профиля и поверхности витков от повреждений. Поверхность тягового барабана должна быть достаточной для расположения в один ряд всех витков протянутой проволоки. Это также уменьшает повреждение поверхности проволоки.

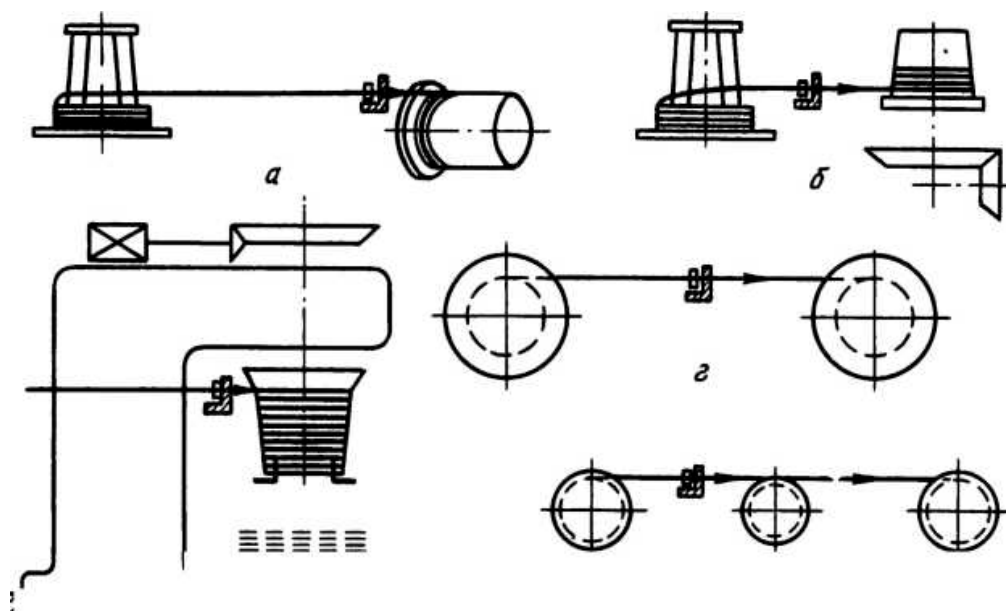


Рис. 3.6. Схемы однократных волочильных машин

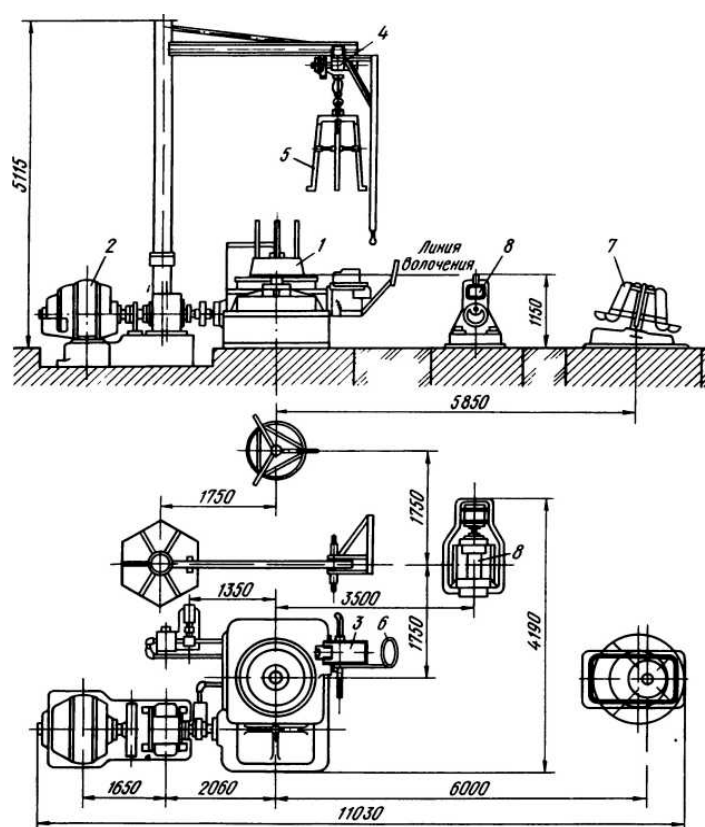
Машины с вертикальным тяговым барабаном (рис. 3.6,б) отличаются тем, что на них можно наматывать практически любое число витков. Заготовку в виде бухты укладывают на фигурку. Конец заготовки зажимают клещами, прикрепленными к барабану. Протягиваемая проволока наматывается на барабан так, что последующие витки располагаются на нем выше предыдущих. Намотка при этом возможна только в один ряд, поэтому после намотки 5- 6 витков машину останавливают, освобождают передний конец бухты от клещей и закрепляют в верхней части барабана, а сами клещи снимают со стана или убирают в специальное гнездо. После такого перехватывания переднего конца бухты и вторичного запуска барабана расположение витков на нем изменяется таким образом, что последний виток всегда находится внизу барабана и передвигает вверх предыдущие витки. Благодаря конической форме барабана витки проволоки, поднимаясь, на некоторой высоте отходят от его поверхности и начинают укладываться в бухты с числом витков, во много раз превышающим соответствующее одному ряду на поверхности барабана.

Так же существуют станы с вертикальным расположением оси барабана, но со съемом мотка снизу барабана (рис. 3.6, в), которые эффективны при наличии бунтов большой массы или при возможности проведения сварки следующих друг за другом бунтов проволоки без остановки или замедления скорости стана. При таком расположении принятая на стан бухта проволоки падает вниз и легко снимается с машины. В отличие от горизонтальных станов проволока снимается по одному витку; остальные витки, необходимые для создания тягового усилия, прижимаются к барабану специальными роликами. Это приемное устройство может служить для размотки с него проволоки при последующих операциях, куда оно передается вместе с проволокой. Стан останавливают только для смены приемного устройства после его заполнения.

Машины с приемом проволоки непосредственно на катушку (рис. 3.6, г)

и на катушку через тяговую шайбу (рис. 3.6, д) применяют преимущественно для среднего и тонкого волочения круглой и плоской проволоки. Использование промежуточной тяговой шайбы (рис. 3.6, д) исключает влияние раскладочного механизма на перекося проволоки, выходящей из волоки, и тем самым повышает стабильность процесса.

Станы однократного волочения имеют широкое распространение и в зависимости от сечения и качества протягиваемого материала рассчитаны на силы волочения 0,05-100 кН при скорости волочения 0,3- 5 м/с. Общий вид однократной волочильной машины типа ВМА 1/750 (с вертикальным барабаном) приведен на рис. 3.7.



- 1 - барабан; 2 - электродвигатель; 3 - волокодержатель; 4 - кран-балка;
5 - грейфер; 6 - кольцо; 7 - фигурка; 8 - острильное устройство

Рис. 3.7. Общий вид и схема волочильной машины ВМА 1/750

Многократными волочильными машинами называются такие волочильные машины, на которых обрабатываемый металл одновременно протягивается через несколько последовательно расположенных волок. При многократном волочении отпадает необходимость в съеме с тягового барабана всего мотка проволоки и переноса его на разматыватель (как это происходит на машинах однократного волочения), экономится время рабочего, увеличивается производительность оборудования, уменьшается занимаемая им площадь и количество вспомогательных устройств. Кроме того, на многократной машине значительно повышается выходная скорость волочения за

счет ее постепенного увеличения от предыдущей волоки к последующей.

Кратность волочения на данных станах устанавливают в зависимости от протягиваемого материала и требуемых конечных размеров и механических свойств протягиваемой проволоки. Кратность может изменяться от 2 до 33. В том случае, если через каждые три-четыре прохода необходимо производить промежуточный отжиг, как, например, при волочении ряда алюминиевых сплавов, кратность машины следует брать близкой к числу переходов между промежуточными отжигами. При волочении высокопластичных металлов фактором, ограничивающим кратность машин, является стремление эффективно использовать первые ее барабаны.

Машины многократного волочения подразделяются на машины многократного волочения без скольжения и машины многократного волочения со скольжением.

На машинах многократного волочения без скольжения протягиваемая проволока наматывается на тянущий ее барабан так же, как при однократном волочении. Проскальзывания проволоки по барабану не происходит. Различают два основных типа машин многократного волочения без скольжения:

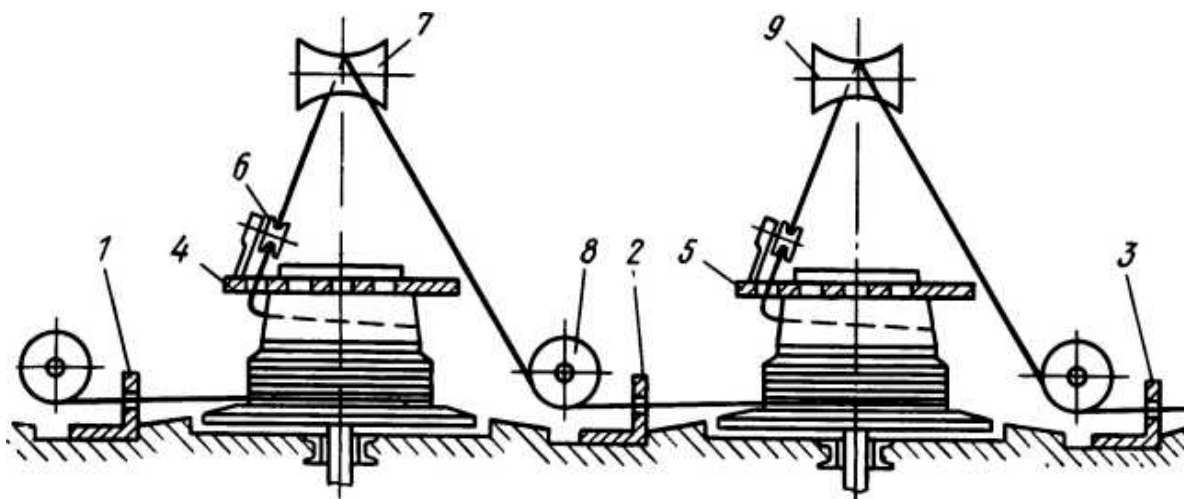
- "магазинного типа" - с большим количеством витков проволоки на каждом барабане;
- машины с автоматическим регулированием скоростей промежуточных барабанов и противонатяжением.

Для волочения проволоки из цветных металлов и сплавов применяют только машины магазинного типа, представляющие собой комбинацию машин однократного волочения с индивидуальным или общим приводом (рис. 3.8). Объясняется это тем, что подавляющая масса проволоки из цветных металлов и сплавов, обрабатываемых на машинах магазинного типа, имеет профиль круга, и небольшое скручивание профиля, происходящее на данных машинах, не имеет практического значения. Сами же машины данной схемы проще по конструкции и в обслуживании.

Здесь каждый тяговый барабан выполняет роль промежуточного приемника проволоки. С помощью специального поводка и системы роликов проволока подается в волокодержатель следующего тягового барабана. Недостаток данного типа машин заключается в том, что каждый снимаемый с барабана виток проволоки может оказаться скрученным, если соотношение скоростей соседних барабанов отличается от вытяжки металла в волоке между барабанами.

Машины без скольжения применяют для волочения толстых, иногда средних размеров проволоки из никелевых и медноникелевых сплавов, бронз, алюминия и его сплавов, некоторых марок латуней и других сплавов. В основном это проволока, требования к качеству поверхности которой высоки, а твердость поверхности недостаточна, чтобы использовать более производительные машины со скольжением. Наиболее широко машины без скольжения применяют при производстве стальной проволоки. Рассматриваемые машины позволяют получать проволоку, поверхность

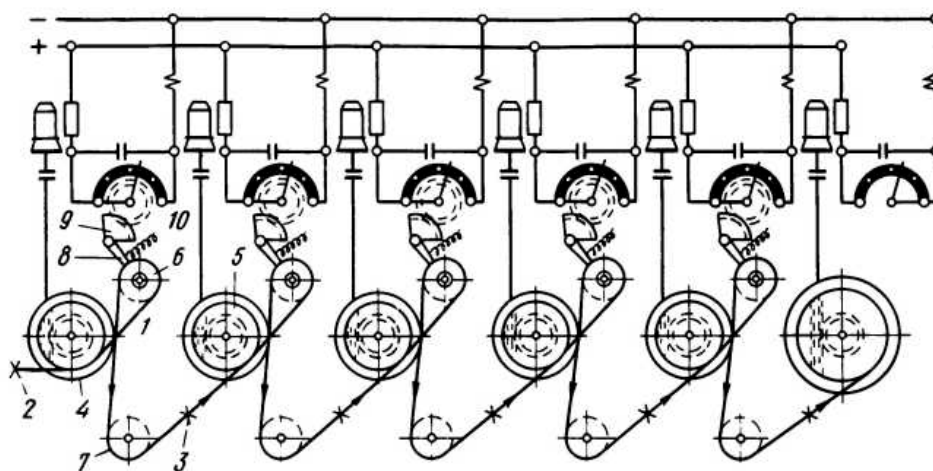
которой не имеет рисок, царапин, потертости и других дефектов.



1-3 - волокни; 4, 5 - кольца с прорезью; 6-9 – ролики

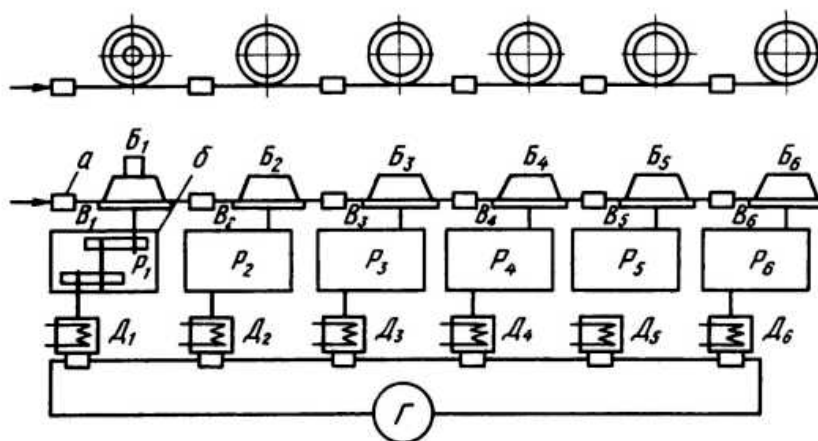
Рис. 3.8. Схема машины магазинного типа для волочения проволоки без скольжения

Машины многократного волочения без скольжения, работающие с автоматическим регулированием скоростей промежуточных барабанов, изготавливают двух разновидностей: петлевые и прямоточные. На петлевых волочильных машинах проволока передается с одного барабана на другой, огибая находящийся между ними ролик и образуя при этом петлю (рис. 3.9). На прямоточных волочильных машинах проволока движется непосредственно от барабана к барабану, минуя поводковые и натяжные роликовые устройства (рис. 3.10). При этом проволока должна находиться в натянутом состоянии перед поступлением ее в волокни.



1 - проволока; 2 - первая волока; 3 - вторая волока; 4 - первая тяговая шайба; 5 - вторая тяговая шайба; 6 - подвижный натяжной ролик; 7 - неподвижный натяжной ролик; 8 - уравнивающий рычаг; 9 - зубчатый сектор; 10 – пружина

Рис. 3.9. Схема волочильной машины петлевого типа



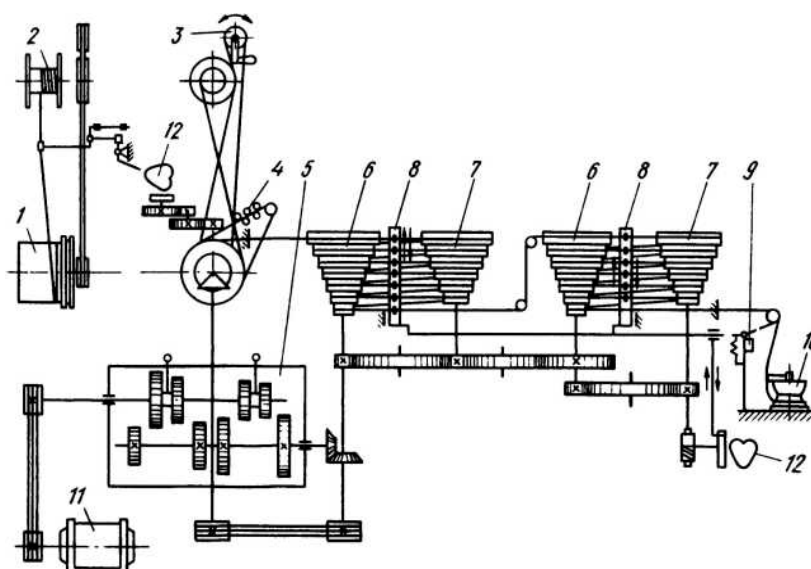
Г - общий генератор; Д_х-Д₆ - электродвигатели барабанов; Р_х-Р_ь - редукторы барабанов; В₁-В_ь - валы барабанов; Б₁ - Б₆ - волочильные барабаны; а - волока; б - разрез редуктора

Рис. 3.10. Схема волочильной машины прямоточного типа

На машинах со скольжением (рис. 3.11) скорость движения проволоки в нормальном режиме волочения меньше окружной скорости тяговых роликов, т.е. проволока скользит по их поверхности. Величина скольжения, определяемая отношением скорости тяговых роликов к скорости проволоки, не должна превышать в среднем 2- 4 %, иначе резко возрастает износ роликов. При скольжении же менее 2 % в случае неравномерного износа волок изменится вытяжка металла так, что скольжение исчезнет, нарушится основное и обязательное условие нормальной работы машин со скольжением (постоянство объема металла, проходящего через волоки в единицу времени), и произойдет обрыв проволоки.

Сила волочения на машине со скольжением создается за счет сил трения между тяговым роликом и охватывающей его проволокой. Количество проволоки при этом ограничивается от одного – до четырех витков на каждом ролике, причем меньшему диаметру проволоки соответствует меньшее число витков.

При работе машин со скольжением оба конца проволоки (входящей в волоку и выходящей из нее), находятся под действием сил, направленных в противоположные стороны. Со стороны входа в волоку проволока находится под действием силы противонапряжения от предыдущей проволоки, а со стороны выхода проволока находится под действием силы, совершающей протяжку проволоки через волоку. Такое действие сил уменьшает давление металла на волоку и тем самым повышает ее стойкость, но вместе с тем уменьшает обжатие за переход.



1 - чистовой ролик; 2 - катушка для намотки проволоки; 3 - натяжной ролик привода катушки; 4 - рихтовальный аппарат; 5 - коробка скоростей; 6 - рабочие ступенчатые тяговые ролики; 7 - направляющие ступенчатые ролики; 8 - волокодержатель; 9 - концевой выключатель; 10 - неподвижная размоточная фигурка; 11 - электродвигатель; 12 - кулачок

Рис. 3.11. Схема волочильной машины со скольжением

Конструктивно машины со скольжением менее сложны и значительно проще и удобнее при заправке проволоки, так же они имеют гораздо меньшие габариты, чем машины без скольжения. А прямое, без лишних изгибов движение проволоки и лучшие условия смазки и охлаждения проволоки и волок позволяют достичь на машинах со скольжением более высоких скоростей волочения. Поэтому машины многократного волочения со скольжением применяют главным образом для волочения из цветных металлов и сплавов проволоки средней прочности, не повреждающейся при скольжении по тяговому ролику и в то же время не изнашивающей его поверхность при длительной работе.

3.2.2 Оборудование для волочения прутков, профилей и труб

Станы для волочения прутков, труб и профилей по виду движения обрабатываемого изделия подразделяют на два основных типа:

- с прямолинейным движением (линейные);
- с круговым движением (барабанные).

На линейных станах возможно получение изделий ограниченной длины, на барабанных же станах длина протягиваемого изделия может достигать сотен метров, поэтому скорости волочения на барабанных станах в 10 и более раз выше, а отходы металла на захватки и концевую обрезь значительно ниже. Но при этом при волочении с навивкой на барабан необходимы дополни-

тельные силы для изгиба протягиваемого изделия, которые тем больше, чем меньше диаметр барабана и больше диаметр изделия. Кроме того, при волочении фасонных, особенно тонкостенных, профилей и тонкостенных труб в процессе навивки на барабан возможно искажение формы поперечного сечения протягиваемого изделия. Поэтому станы барабанного типа применяют в основном для волочения прутков диаметром не более 12 мм и труб диаметром не более 50 мм при минимальной толщине стенки 3 мм. При уменьшении толщины стенки до 1,5 мм диаметр трубы не должен превышать 25 мм. Для волочения остального сортамента изделий все-таки применяются станы линейного волочения.

Для волочения прутков и профилей применяют цепные волочильные станы или станы барабанного типа.

Цепные волочильные станы наибольшее распространение получили для линейного волочения прутков и профилей. Данные станы представляют собой высокомеханизированные установки (рис. 3.12).

Стандартная конструкция цепного стана состоит из трех узлов: приемного стеллажа 7, на который укладывают прутки, подготовленные к волочению; передней стойки 2, в которой расположены волокодержатель с волоками 3 и механизм 4 для проталкивания прутков в волоки, позволяющий исключить предварительное изготовление захваток; рабочей линии, включающей главный привод 5, волочильную тележку 6, тяговую цепь 7, механизм ускоренного возврата тележки 8, рычаги 9, сбрасывающие прутки после волочения в карман 10.

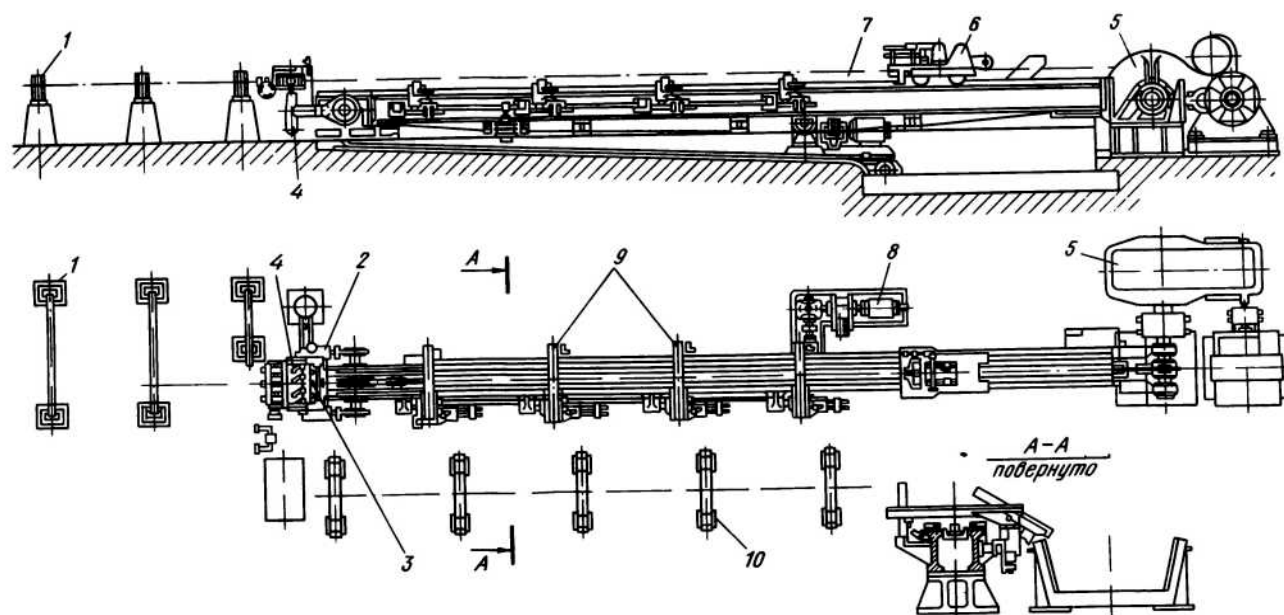


Рис. 3.12. Трехниточный цепной стан для волочения прутков

Процесс обработки на механизированном цепном волочильном стане заключается в следующем. Один - три прутка с приемного стеллажа подаются

в проталкиватель. Плашки каретки проталкивателя зажимают прутки, и при движении каретки вперед проталкивают их в волоку. Волоочильная тележка механизмом возврата подается к волокодержателю и автоматически захватывает выступающие из волок концы прутков. При этом крюк тележки опускается и автоматически зацепляется с тянущей цепью - начинается процесс волочения. При движении волочильная тележка поворачивает рычаги сбрасывателя, и они устанавливаются под протянутыми прутками. После выхода задних концов прутков из волок крюк тележки вследствие резкого падения силы натяжения цепи отцепляется от цепи, губки тележки расходятся и освобождают прутки, которые падают на сбрасыватели. Последние, поворачиваясь в вертикальной плоскости, скатывают прутки в приемный карман.

Станы барабанного типа применяются для волочения круглых, квадратных и шестигранных прутков малых и средних размеров поперечного сечения (рис. 3.13).

При волочении на барабанных станах захватку исходной заготовки получают путем обкатки в ковочных вальцах или на ротационно-ковочной машине. Затем захватку вставляют в волоку 7, установленную в волокодержателе 2, и зажимают в клещах 3, закрепленных на барабане. После этого включают стан, и протягиваемый пруткок навивается на барабан. При волочении каждый последующий виток перемещает предыдущий вдоль образующей барабана, клещи также перемещаются вдоль оси барабана. Таким образом, направление волочения постоянно совпадает с осью волоки. Для увеличения длины протягиваемых прутков их перед волочением часто подвергают стыковой сварке.

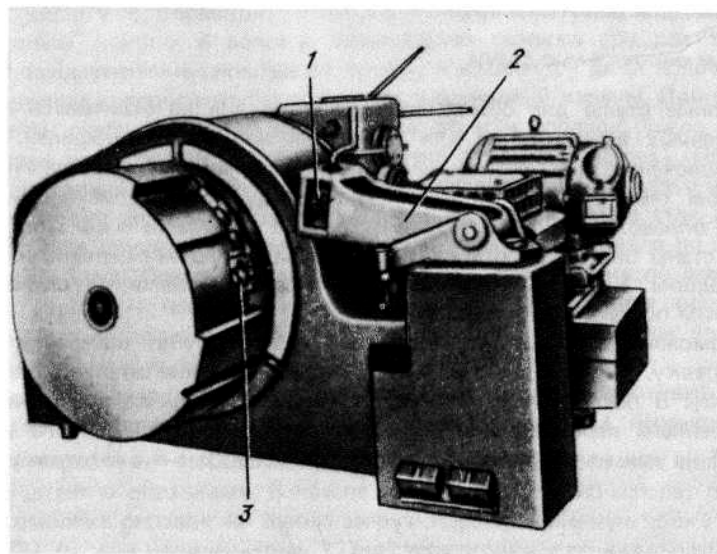


Рис. 3.13. Волочильный стан барабанного типа

Для волочения труб так же применяют цепные волочильные станы и барабанные трубоволочильные станы. Станы барабанного типа для волочения труб из цветных металлов и сплавов изготавливают и с горизонтальным, и с вертикальным барабаном.

4 ПРЕССОВАНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

4.1 Сущность процесса прессования

Прессование – это один из наиболее прогрессивных процессов обработки металлов давлением, позволяющий получать деформированные изделия – профили из черных и цветных металлов и сплавов, отличающиеся экономичностью и высокой эффективностью при использовании в конструкциях.

Рассмотрим сущность процесса прессования (рис. 4.1). Заготовка 1, нагретая до температуры прессования, помещается в контейнер 2. С выходной стороны контейнера в матрицедержателе 3 размещается матрица 5, формирующая контур изделия 4. Через пресс-штемпель 7 и пресс-шайбу 6 на заготовку передается давление от главного цилиндра пресса. Под действием высокого давления металл истекает в рабочий канал матрицы, формирующий заданное изделие. Описанная схема относится к процессу прямого прессования. Кроме прямого, существуют еще такие виды прессования, как обратное, совмещенное, с боковым истечением, полунепрерывное, непрерывное и др.

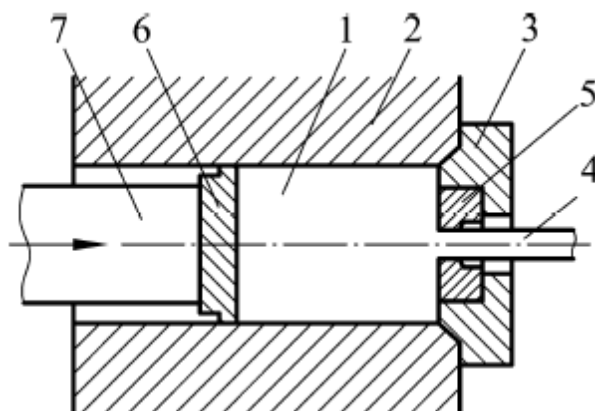


Рис. 4.1. Схема процесса прямого прессования

Широкое развитие прессования объясняется благоприятной схемой напряженного состояния деформируемого металла – всесторонним неравномерным сжатием. В настоящее время прессованием получают несколько десятков тысяч наименований пресс-изделий из различных металлов и сплавов на прессах с номинальным усилием до 200 МН. При этом процесс ведут в широком интервале температур, выбор которых определяется главным образом величиной сопротивления деформации.

Горячее прессование более распространено, чем холодное. Однако область применения последнего расширяется для металлов и сплавов, имеющих невысокое сопротивление деформации, с ростом производства высокопрочных инструментальных сталей и в результате создания высокопроизводительного специализированного оборудования. Прессование

организовано как периодически повторяющийся процесс, однако в настоящее время нашли промышленное применение способы прессования в непрерывном и полунепрерывном режимах.

По сравнению с конкурирующими процессами, которыми в данном случае являются горячая сортовая прокатка и прокатка труб, прессование имеет определенные преимущества.

Если при прокатке на многих участках пластической зоны возникают большие растягивающие напряжения, понижающие пластичность обрабатываемого металла, то при прессовании реализуется схема неравномерного всестороннего сжатия, позволяющая изготавливать различные пресс-изделия, вообще не получаемые прокаткой или получаемые, но за большое число проходов. Область применения прессования особенно расширяется, когда степени деформации за переход превышают 75 %, а коэффициент вытяжки имеет значение более 100.

Прессованием можно получать изделия практически любых форм, а прокаткой – профили и трубы сравнительно простых конфигураций поперечного сечения.

При прессовании быстрее осуществляется перевод процесса получения одного типоразмера пресс-изделия на другой – достаточно только заменить матрицу.

Пресс-изделия точнее по размерам, что обусловлено замкнутостью калибра матрицы. Точность изделия определяется качеством изготовления матрицы, ее материалом и видом термообработки.

Меньшие затраты на переналадку оборудования при прессовании позволяют рекомендовать его для производства любой серийности.

Высокие степени деформации при прессовании, как правило, обеспечивают высокий уровень свойств изделий.

Наряду с перечисленными преимуществами, прессование имеет следующие недостатки:

- необходимость низких скоростей прессования, требующихся для получения бездефектной продукции из ряда металлов и сплавов;
- низкий выход годного из-за больших технологических отходов, достигающих более 15%, за счет необходимости оставления больших пресс-остатков и удаления слабдеформированного выходного конца пресс-изделия;
- ограничение длины заготовки, обусловленное прочностью пресс-штемпелей, силовыми возможностями прессы и устойчивостью заготовки при распрессовке;
- повышенную неравномерность деформации, влияющую на неравномерность распределения свойств в изделии по различным направлениям;
- сравнительно низкую стойкость инструмента и его высокую удельную стоимость из-за тяжелых условий нагружения, а также необходимости использования для его изготовления дорогих легированных сталей.

Сопоставление преимуществ и недостатков процесса позволяет прийти к выводу о том, что наиболее целесообразно применять прессование при

производстве толстостенных и тонкостенных профилей и труб сложной формы, прессуемых с высокими скоростями истечения; при обработке труднодеформируемых и малопластичных металлов и сплавов; при получении полуфабрикатов сложной геометрии, повышенной точности размеров, а также для производства тонкой проволоки из черных и цветных металлов и сплавов, не подвергающихся волочению. Кроме того, прессование, в отличие от прокатки, рентабельно в среднем и мелкосерийном производстве.

Существует достаточно большое количество схем прессования, но основными из них следует считать прямое и обратное.

При прямом прессовании направление выдавливания изделий совпадает с направлением движения пресс-штемпеля (см. рис. 4.1). Этот способ прессования наиболее распространен и позволяет получать сплошные и полые изделия в широком диапазоне размеров, вплоть до размеров изделия, близких к размеру контейнера. Особенность способа – обязательное перемещение металла заготовки относительно неподвижного контейнера.

Прямое прессование дает возможность получать изделия с высоким качеством поверхности, поскольку при прессовании этим способом у матрицы образуется большая по высоте упругая зона металла, практически исключая попадание дефектов из зоны контакта заготовки с контейнером на поверхность изделия.

В результате сил трения на поверхности заготовки появляются высокие сдвиговые деформации, способствующие обновлению слоев металла, формирующих периферийные зоны профиля.

Однако при прямом прессовании необходимы высокие затраты энергии на преодоление трения металла о поверхность инструмента. В отдельных случаях доля усилия, затрачиваемая на это, может достигнуть 40–60 % от полного усилия прессования. Кроме того, большая неравномерность деформации на протяжении всего процесса приводит к неравномерности структуры и механических свойств пресс-изделий. Низкий выход годного из-за большого пресс-остатка и большой обрезки слабodeформированной части выходного конца пресс-изделия также является недостатком прямого прессования.

При обратном прессовании истечение металла в матрицу происходит в направлении, противоположном движению пресс-штемпеля. На рисунке 4.2 приведена одна из схем обратного прессования: металл 1 выдавливается из неподвижного контейнера 2, закрытого заглушкой, пресс-шайбой 3 через матрицу 4. Передача усилия от приводного гидроцилиндра осуществляется на полый матрицедержатель 5.

При обратном прессовании слиток не перемещается относительно контейнера и общее усилие прессования снижается из-за отсутствия затрат энергии на преодоление сил трения между контейнером и прессуемым металлом.

К достоинствам обратного прессования можно отнести снижение усилия прессования, позволяющее увеличивать коэффициент вытяжки и уменьшать температуру прессования, и повышение скорости истечения металла из-за

большой равномерности его течения по сечению очага деформации, а следовательно, и увеличение производительности процесса. Этот способ дает возможность формировать, вследствие монотонного характера истечения металла, равномерную структуру и механические свойства пресс-изделий.

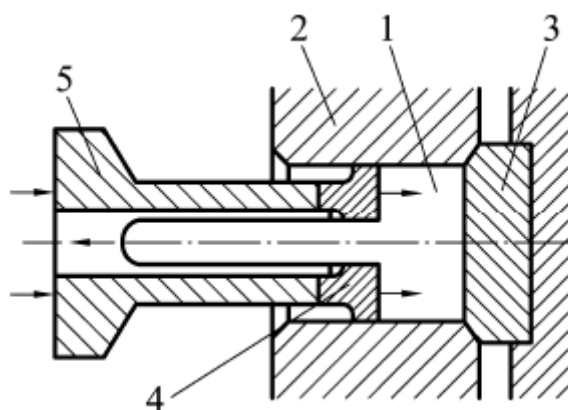


Рис. 4.2. Схема процесса обратного прессования

Обратное прессование характеризуется ростом выхода годного за счет уменьшения толщины пресс-остатка и снижения глубины распространения пресс-утяжины в изделие, а также увеличением срока службы контейнера из-за неподвижного контакта с заготовкой.

Однако при этом виде прессования наблюдается уменьшение возможного поперечного размера пресс-изделия и числа одновременно прессуемых изделий по сравнению с прямым прессованием из контейнера того же размера, в связи с сокращением размера проходного отверстия в матричном блоке.

Кроме того, для получения профилей с хорошим качеством поверхности необходимо применять заготовки с хорошим состоянием поверхности, что достигается предварительной обточкой, скальпированием заготовок или отливкой слитков в электромагнитном кристаллизаторе. И, наконец, при обратном прессовании ограничивается номенклатура пресс-изделий из-за недостаточной прочности удлиненного матричного узла, а также увеличивается стоимость гидропрессов и вспомогательного времени цикла.

По характеру силовых и деформационных условий процесс прессования можно разбить на четыре последовательные стадии.

I стадия – распрессовка слитка в контейнере и заполнение металлом всего объема контейнера.

II стадия – начало истечения, соответствующее выходу металла через канал матрицы с одновременным зонообразованием и потерей устойчивости металла.

III стадия – условно установившееся течение, при котором происходит истечение основной массы металла.

IV стадия – завершающее истечение, соответствующее началу прессования зон затрудненной деформации.

Каждой стадии любого процесса прессования соответствует свой характер течения металла, который имеет решающее значение для прогнозирования закономерностей формирования структуры и свойств пресс-изделий.

К основным факторам, влияющим на течение металла, относятся: природа материала, способ деформирования, величина и направленность внешнего контактного трения на поверхности заготовки и инструмента, степень и скорость деформации и т.п.

При прессовании обычно имеет место неравномерное течение металла, заключающееся в более интенсивном вытекании средних слоев заготовки по сравнению с наружными, что приводит к образованию в задней части прессованного изделия неплотности, называемой пресс-утяжиной. На характер течения металла, а следовательно, на пресс-утяжину влияют контактное трение, температура металла и контейнера, состояние поверхности контейнера и матрицы, длина заготовки, профиль матрицы, скорость и степень деформации, смазка.

Установлено, что при длине заготовки, превышающей ее диаметр, характер течения металла и вид очага деформации полностью зависят от контактного трения, перепада температуры и смазки. Таким образом, изменяя тепловой режим прессования и условия трения металла о стенки контейнера и матрицы, можно изменять характер его течения, а также влиять на равномерность механических свойств изделия.

4.2 Технология прессования цветных металлов и сплавов

Чаще всего из цветных металлов и сплавов прессованию подвергаются сплавы алюминия, меди и титана. Заготовкой для прессования служит либо слиток (литая заготовка), либо предварительно продеформированная заготовка (заготовка).

Заготовки, как правило, бывают сплошными или полыми цилиндрическими с круглыми поперечными сечениями. В редких случаях используют заготовки отличные от круглых (прямоугольные) для прессования специальных профилей (панелей) из профилированного (плоского) контейнера. Полые заготовки применяют в основном для прессования труб на игле для прессования полых профилей. Для получения полых профилей из алюминиевых сплавов используют сплошные заготовки, которые прессуют через так называемые комбинированные матрицы.

Размеры заготовки определяют качество пресс-изделий и технико-экономические показатели процесса. С увеличением диаметра и длины заготовки увеличивается ее объем, а следовательно и длина прессуемого профиля. Увеличение длины профиля позволяет уменьшить долю металла, которая обрезается от переднего конца профиля, что повышает выход годного.

Однако стремление к увеличению объема заготовки за счет увеличения ее диаметра приводит к увеличению объема пресс- остатка.

Существует определенная зависимость между диаметром контейнера и длиной пресс-остатка.

Диаметр слитка подбирают умножением площади поперечного сечения пресс-изделия на допустимую величину коэффициента вытяжки λ . Считается, что минимальная величина вытяжки для хорошей проработки металла слитка должна быть не менее 10, однако в последние годы появились исследования, в которых отмечается, что величина λ может находиться в пределах от 3 до 4.

Слитки для прессования профилей и труб имеют обычно отношение длины к диаметру равное 2-3,5 и 1-2,0. Применение более длинных слитков для изготовления труб приводит к значительному росту их разностенности, а также к увеличению усилия прессования.

Диаметр холодного слитка принимают на 5-10 мм меньше диаметра контейнера (Φ_k) для того, чтобы после нагрева слиток свободно входил в контейнер.

В таблице 4.1 приведены размеры слитков из медных и алюминиевых сплавов, которые используются в промышленности. Масса слитка определяется массой готового пресс-изделия и массой отходов. Отходы при прессовании можно разделить на возвратные и безвозвратные.

Таблица 4.1 – Размеры прессуемых слитков

Усилие пресса, МН	Дк, мм	Размеры слитка Dc×L мм для	
		трубы	прутка
Вертикальный пресс			
0,6	85	83х(100-120)	-
	100	97х(100-140)	-
	115	112х(120-150)	-
10	130	125х150	-
	150	145х200	-
	180	175х250	-
Горизонтальный пресс			
10-20	155	147х250	147х300
	180	173х300	173х(350-400)
	205	197х(300-550)	195х500
	255	247х(350-400)	245х(300-450)
25-35	205	197х(300-400)	195х(500-700)
	255	247х(300-450)	245х600
	306	297х405	297х600
	408	396х(400-550)	-
50-80	300	290х(500-600)	290х(700-900)
	360	350х600	350х(600-8000)
	420	410х700	410х(700-1000)
120-200	650	635х1100	-
	800	780х(1200-1500)	-
	1000	980х(1500-1700)	-

Безвозвратные отходы связаны с потерей металла, вызванной и его окислением в нагревательных печах перед прессованием. В методических газовых печах угар достигает 0,2 % массы слитка, а в индукционных печах 0,1 %.

Основной объем при прессовании составляют возвратные, так называемые геометрические отходы: пресс-остаток, пробка при прессовании труб из сплошного слитка с прошивкой на прессе, обрезы переднего и заднего конца пресс-изделий и др.

Длина пресс-остатков при прессовании профилей из алюминиевых сплавов приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Длина пресс-остатков при прессовании профилей из алюминиевых сплавов

Диаметр контейнера, мм	95	130	170	230	270	360	420
Длина пресс-остатка, мм	25	30	40	50	60	80	10

Для прессования прутков и труб из тяжелых цветных металлов величина пресс-остатков приведена в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Величина пресс-остатка при прессовании цветных металлов на горизонтальных прессах

Сплав	Изделие	Толщина пресс-остатка, мм при диаметре контейнера, мм					
		155	180	205	255	306	408-420
Медь	Трубы	25-30	20-25	20-35	20-45	20-45	30-35
	Прутки, профили	25-35	30-35	30-40	30-40	30-40	35-40
Л63	Трубы	30-35	25-40	40-45	40-45	40-45	35-40
	Прутки, профили	-	25-45	40-45	40-45	40-45	35-40
ЛС59-1	Трубы	30-35	25-40	30-40	35-40	35-50	35-60
ЛЖМц59-1-1	Прутки	30-35	30-35	25-45	30-40	30-40	35-40
Л68, ЛО70-1	Трубы	30-35	30-35	25-45	30-40	30-40	35-40
ЛОМШ, ЛАМШ	Болты	-	-	35-40	40-45	40-45	45-50
БрАЖ, БрАЖМц	Трубы	-	-	35-55		40-70	40-70
	Прутки	35-40	40-45	40-45		45-50	50-65
МН95-5	Трубы	-	До 40	35-40		35-40	35-40
МНЖ5-1	Трубы	30-35	-	35-40		40-45	45-55

В качестве заготовок для прессования в большинстве случаев используется слиток, полученный полунепрерывным литьем через кристаллизаторы. В настоящее время для слитков из алюминиевых сплавов получил широкое распространение способ литья в электромагнитный кристаллизатор, что позволяет получать слиток с высоким качеством поверхности. При этом отпадает необходимость в обточке слитков перед прессованием.

Слитки из титановых и медных сплавов, используемые для производства пресс-изделий ответственного назначения, подвергают обточке перед нагревом под прессование. В последние годы вместо обточки слитков перед нагревом под прессование применяют горячее скальпирование, т. е. проталкивание горячей заготовки через специальные матрицы, снимающие поверхностный слой металла. Скальпирование осуществляется либо на отдельных установках, расположенных между нагревательным устройством и прессом, либо непосредственно на прессе. Скальпирование в горячем состоянии позволяет убрать не только дефекты литейного происхождения, но и слой окарины, возникающий при нагреве.

При прессовании слитков из сплавов титана, а также некоторых сплавов на основе меди и тугоплавких металлов подготовка заготовок к прессованию проводится особенно тщательно, так как при прессовании используется смазка. Одним из эффективных способов поверхностной обработки крупногабаритных слитков из тяжелых металлов является холодное отслаивание.

При обработке холодным отслаиванием поверхностный слой слитка удаляют инструментальным роликом при сочетании вращательного движения заготовки и инструмента (роликов) с их поступательным перемещением вдоль обрабатываемой поверхности.

Процесс прессования проводится, как отмечалось выше, с использованием сплошной или полый заготовки на вертикальных и горизонтальных гидравлических прессах. Как правило, заготовки перед прессованием нагревают в печах, хотя в некоторых случаях применяется холодное прессование без нагрева заготовки. Типовая схема производства пресс-изделий приведена на рисунке 4.3. В зависимости от способа прессования, вида пресс-изделия и материала возможны видоизменения типовой схемы, однако операции нагрева заготовок прессования и отделки готовых полуфабрикатов являются необходимыми.

В качестве устройств для нагрева слитков перед прессованием используются индукционные печи и печи сопротивления, а так же методические газовые печи.

Прессование цветных металлов и сплавов производится в широком температурном интервале: от комнатной температуры до температуры 1200⁰С. При этом температура нагрева слитков зависит от свойств обрабатываемых сплавов и сортамента пресс-изделий. Многие сплавы имеют узкий температурный интервал прессования, нижний предел которого определяется

высоким уровнем сопротивления деформации (прочностных свойств), а верхний - потерей пластичности при повышенных температурах.

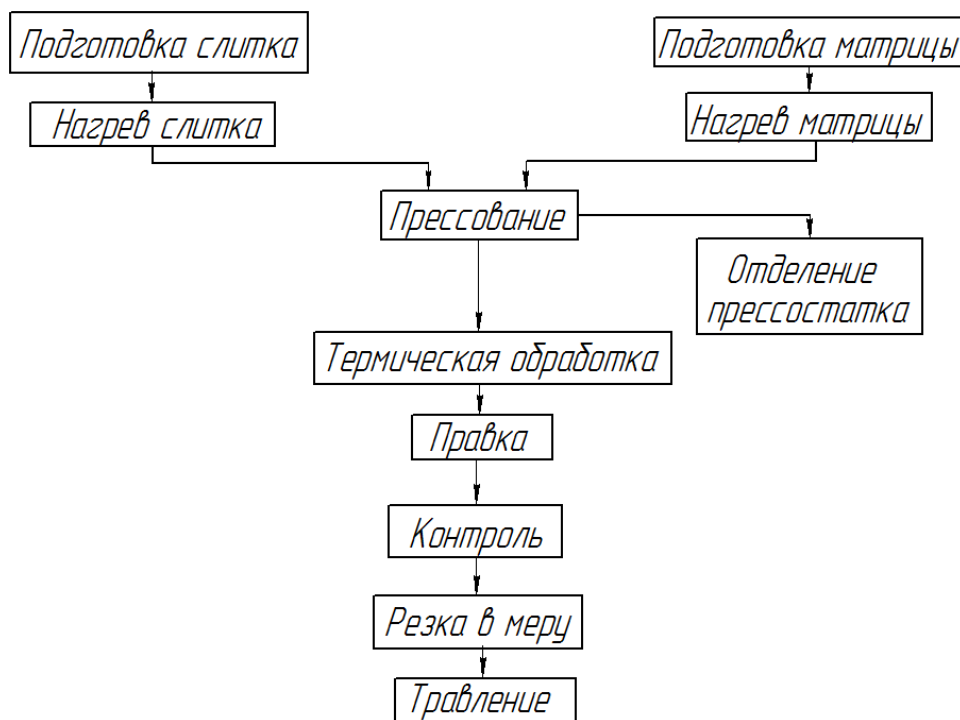


Рис. 4.3. Типовая схема производства пресс-изделий

При выборе температуры нагрева слитков под прессование нужно учитывать следующие факторы:

- необходимо максимально снизить сопротивление деформации для уменьшения нагрузок на инструмент и энергозатрат;
- обеспечить наибольшие скорости истечения;
- стремиться к достижению максимальной пластичности;
- соблюдать режим нагрева для обеспечения работы инструмента при прессовании в оптимальных условиях;
- необходимо обеспечить получение заданных свойств пресс-изделий.

Следует отметить, что соблюдение всех условий практически невозможно, так как многие из них являются противоречивыми. В общем, температура нагрева слитков устанавливается на основе свойств прессуемых металлов и сплавов, размеров слитков и пресс-изделий, а также мощности прессовой установки.

В таблице 4.4 приведены температуры нагрева слитков при прессовании труб, прутков и профилей из наиболее распространенных цветных металлов и сплавов.

Выделение большого количества тепла происходит в процессе прессования, что приводит к повышению температуры металла в очаге деформации, так как инструмент, как правило, также нагревается перед прессованием. При этом повышение температуры существенно зависит от

скорости прессования. Поэтому температура металла при прессовании и скорость истечения по существу определяют процесс прессования, свойства, структуру и качество пресс-изделий.

Таблица 4.4 – Температура нагрева слитков из цветных металлов и сплавов для прессования

Материал	Изделие	D _{вн} , мм	t, °C
1	2	3	4
Медь	Трубы с толщиной стенки, мм:		
	2,5	83-97	575-625
	2,5	83-97	600-650
	3	150	825-875
	3	150	775-825
	4,5	175	800-850
	4,5	175	775-825
	Прутки, полосы	200	775-825
Л63	Профили	250	800-850
	Толстостенные трубы	300	825-875
	Трубы с толщиной стенки 2-2,5 мм	83-97	625-675
	Прутки, профили	150	652-725
	Трубы с толщиной стенки, мм:		
	6	200	700-750
	6	250	700-850
	12,5	300	775-825
ЛС59	15	400	700-750
	Трубы всех размеров	83-97	600-650
МНЖБ-1	Прутки, профили	200-400	700-750
	Трубы	175-400	880-930
ЛК80-3	Прутки	175-300	825-875
ЛО90-1	Трубы	175-250	750-875
ЛО90-1	То же	175-250	650-670
Л68	>>	83-97	700-750
ЛО70-1	>>	83-97	650-750
БрОФ-4-0,25	>>	83	700-780
МНЖМц30-1,0-1,0	>>	83	823-850
БрА10	Прутки и трубы	175-250	800-850
БрАЖ9-4	То же	175-250	750-850
БрАМц9-2	>>	175-250	750-850
БрАЖМц30-1,0-1,0	>>	175-300	775-825
БрАЖН10-4-4	>>	175-300	825-875
БрБ2	>>	150-200	700-780
БрКМц3-1	>>	175	800-850

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4
БрОФ6-0,15	>>	150-250	650-750
Алюминий	Трубы	145-175	340-380
	Профили	145-175	380-420
	Прутки, трубы	200-250	350-380
АВ	Профили	150-250	250-500
АМг	>>	150-250	300-440
Д1, Д16, В65, ВД17, Д19		150-1000	350-480
АД31, АД33, АД35	Прутки, профили	150-500	480-500
В92, В93, В94, В95, В96	Профили, трубки	650-1000	360-430
АМг2, АМг3, АМг4	Трубы, прутки, профили	150-500	450-520
АМг5, АМг6	Трубы, прутки, профили	150-1000	400-450
Никель	Трубы	83-97	950-1100
	>>	150-250	1100-1200
	Прутки	175-400	900-950
Магний, МА1, МА4, МА8	Трубы, прутки, профили	150-360	280-410
Цинк, ЦАМ10-5, ЦАМ25	То же	150-250	220-270
ВТ3-1, ВТ6, ВТ90	Прутки, профили	240-360	900-970
ВТ5, ВТ14, ВТ20	Трубы, полые профили	95-300	1110-11550
ВТ22	Прутки	95-360	850-950
ВТ22	Профили	270-360	950-1030
ВТ4-1	Профили тонкостенные	95-300	1000-1100
Олово	Прутки, трубы	60-200	Комнат
Свинец	То же	300-100	Комнат

Поэтому строгое соблюдение температурно-скоростного режима является необходимым условием получения изделий высокого качества. Особенно важно такое соблюдение для прессования алюминиевых сплавов, которые прессуются с ограниченными скоростями ввиду образования характерного дефекта - «елочки». Для предупреждения образования трещин приходится снижать скорость истечения некоторых сплавов с ограниченной пластичностью.

В настоящее время оптимальные температурно-скоростные параметры прессования определяются пока еще опытным путем. Следует отметить, что от температурно-скоростных условий существенно зависят энергосиловые

параметры процесса прессования, так как эти параметры в значительной степени определяются величиной сопротивления деформации.

При этом сопротивление деформации как характеристика материала зависит от свойств материала, скорости и степени деформации; а также от температуры. Так как прессование в большинстве случаев проводится при повышенных температурах, то материалы можно считать вязкопластическими, т. е. существенно зависящими не от степени деформации, а от скорости и от температуры.

В таблице 4.5 даны значения температуры прессования, средней скорости деформации $\varepsilon_{\text{ср}}$ и значения сопротивления деформации при этих условиях.

Таблица 4.5 – Значения температуры прессования, средней скорости деформации и сопротивления деформации

Материал	t, °C	ε , с ⁻¹	σ_s , МПа	Материал	t, °C	ε , с ⁻¹	σ_s , МПа
Al99,5	400	1	30	CuAl5	750	10	170
	500	1	18		850	10	115
AlMn	400	0,7	45	CuAl10Fe	700	10	76
	500	0,7	27		800	10	53
AlMn1	450	1	47	Mg58CuZn	650	10	50
					750	10	52
AlMn3	400	1	100	Mg63CuZn	700	10	88
	500	1	60		800	10	32
AlMn5	400	1	140	CuNi30	1000	2	145
	500	1	75				
AlMgSi0,5	400	100	40	CuNi30Cr3	1000	0,9	123
	500	10	26				
AlMnSi1	450	1	48	NiCr20Ti	100	2,5	280
	500	1	40		1200	2,5	150
AlZnMg1	450	1	44	NiCr20TiAl	1000	2,5	320
					1200	2,5	150
AlCuMg1	450	1	68	Sn	20	0,01	35
	480	1	60				
AlCuMg2	450	1	72	Pb	20	0,01	200
	480	1	62				
AlZnMgCu1,5	400	1	93	Mg	350	0,01	30
	450	1	75				
E-Cu	800	1	55	In	20	1	2,3
	900	1	45				
Sb-Cu	900	3	63	X15Cr3	1000	400	225
					1200	400	190
CuSn2	800	3	155	X15Cr13	1000	400	235
					1200	400	195

При прессовании алюминиевых сплавов, как уже отмечалось выше, величина скорости прессования ограничивается появлением в изделиях трещин. В последнее время в литературе появилась величина, характеризующая так называемую прессуемость различных алюминиевых сплавов. Сплавом, обладающим прессуемостью 100 баллов, взят сплав АД31. В таблице 4.6 приведены значения прессуемости наиболее распространенных алюминиевых сплавов.

Таблица 4.6 – Прессуемость некоторых промышленных алюминиевых сплавов

Сплав	v, м/мин	σ_s , МПа	Прессуемость, баллы		
			пруток полоса	простой профиль	сложный профиль
Легкопрессуемые сплавы					
АД0	75	18	200	160	120
АМц	60	20	180	145	110
Среднепрессуемые сплавы					
АД31	30	35	100	80	60
АМг3	7	60	50	40	30
Труднопрессуемые сплавы					
Д1	4,5	75	35	28	21
Д16	2,5	100	18	14	11
В95	2,0	110	13	11	8
АМг6	1,7	120	10	8	6

4.3 Особенности прессования алюминиевых сплавов

Сортамент прессованных полуфабрикатов является наиболее широким. В настоящее время насчитывается более 50 тысяч типоразмеров прессованной продукции. Наиболее распространенными алюминиевыми сплавами являются АДО, АД1, АМг2, АМг3, АМг6, Д1, Д16, В95, АД31. Все многообразие пресс-изделий можно разделить на три группы: прутки, профили, трубы.

Прутки прессуют в основном трех видов: круглые, квадратные, шестигранные. Диаметр описанной вокруг поперечного сечения прутков окружности находится в пределах от 10 до 400 мм.

Профили условно можно разделить на четыре вида: сплошные, полые, переменного сечения, панели. Площадь поперечного сечения сплошных профилей составляет от 0,4 до 500 см², габаритные размеры сечений вписываются в окружность диаметром от 10 до 750 мм, длина профилей достигает 15м.

Сплошные профили переменного сечения состоят из профильной части, переходной и законцованной части отличающиеся по конфигурации от

основной. Длина законцованной части составляет от 100 до 600 мм при общей длине профилей от 1 до 15 м.

Полые профили могут иметь одно или несколько круглых отверстий или отверстий произвольной формы. Условно эти профили можно разделить на профили коробчатого типа, для которых площадь сечения отверстия больше площади сечения металла, и петельного типа, для которых площадь отверстия меньше.

Панели могут быть как сплошными, так и полыми и их отличает значительное превышение одного из размеров поперечного сечения. Панели как правило прессуют из плоского контейнера.

Трубы выпускают диаметром от 18 до 280 мм и с толщиной стенки от 1,5 до 32,5 мм.

Заготовки из алюминиевых сплавов перед прессованием нагревают в индукционных печах промышленной частоты, или в электрических печах сопротивления с воздушной циркуляцией.

Время нагрева заготовок диаметром более 300 мм из сплавов В95 и Д16 во избежание их растрескивания должно быть не менее 40-50 мин. Время нагрева других заготовок определяется временем прессования и числом заготовок одновременно находящихся в печи.

При прессовании алюминиевых сплавов производят нагрев инструмента втулки контейнера, матрицы, подкладного диска, матрицы держателя, прессшайбы до 250-400 °С. Время нагрева инструмента зависит от его габаритов и мощности печи и составляет не менее 2 часов. В таблице 4.7 приведены температуры нагрева заготовок и контейнера при прессовании профилей и прутков с прямым и обратным истечением.

Как отмечалось выше, при выборе температуры нагрева заготовок необходимо удовлетворить двум противоположным условиям: обеспечить максимальную пластичность металла, которая лежит в определенном интервале температур и скоростей деформации; обеспечить минимальную величину сопротивления деформации, которое уменьшается с увеличением температуры и растет с увеличением скорости деформации.

Существенным ограничением на скорости деформации при прессовании алюминиевых сплавов является образование трещин на поверхности и внутри пресс-изделий. В таблицах 4.8, 4.9 приведены допустимые скорости истечения при прессовании различных алюминиевых сплавов.

Повышения скорости истечения при прессовании алюминиевых сплавов можно достигнуть следующими путями:

- снижением температуры нагрева заготовки;
- проведением гомогенизации литых заготовок;
- применением смазок;
- применением специальных конструкций инструмента.

Таблица 4.7 – Температура нагрева заготовок и контейнера при прессовании профилей с прямым и обратным истечением

Сплав	Назначение или способ изготовления профилей	Температура контейнера, °С	Температура заготовки, °С	Предельно допустимая температура, °С
Д16	Сплошные и полые профили общего назначения	350-430	400-460	490
	Профили повышенной прочности	380-430	430-460	490
	Профили прессуемые со смазкой	300-350	250-320	490
	Прутки прессуемые обратным методом	370-390	380-400	490
Д1, АК6	Все профили	350-430	400-460	490
АК4, АК41	Все профили	350-430	400-460	535
АМг6	Профили прессуемые прямым методом	350-430	400-450	490
	Профили прессуемые обратным методом	360-400	380-420	490
АД0, АД1	Все профили	350-430	400-450	550
АД31	Без закалки на прессе	350-430	370-500	550
	С закалкой на прессе	400-450	450-520	550
В93	Все профили	300-320	320-350	550

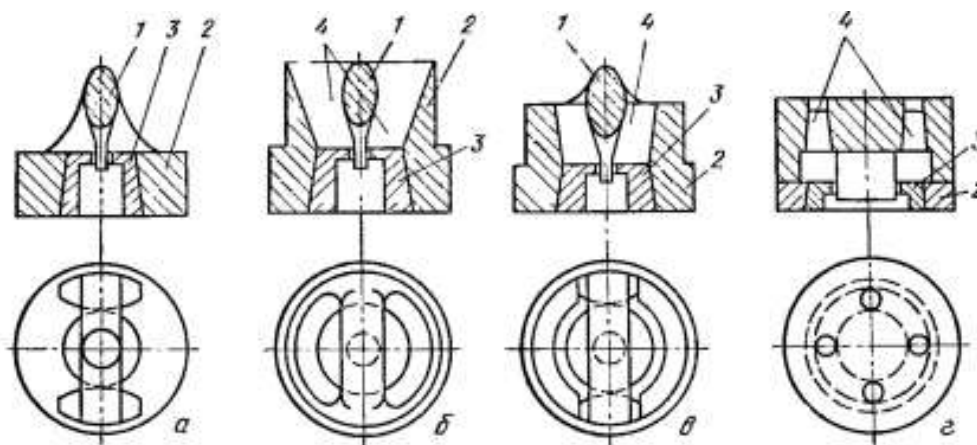
Таблица 4.8 – Скорости истечения при прессовании профилей на прессе усилием 12 МН

Сплав	Дк, мм	Скорость истечения, м/мин при длине заготовки, мм			
		360	400	450	500
АД1	115	11,6	10,7	9,0	9,0
АМ4.5Кд	130	9,0	8,5	8,0	7,5
АД31	115	7,2	6,4	5,7	5,0
АМг-2	130	5,5	5,0	4,5	4,0
Д16	115	1,75	1,45	1,2	1,0
	130	1,1	1,35	1,1	0,9
АМг-6	115	1,10	0,95	0,80	0,7
	130	1,0	0,75	0,63	0,55

Таблица 4.9 – Скорости истечения при прессовании профилей на прессе усилием 50 МН

Сплав	Dк, мм	Скорость истечения, м/мин при длине заготовки, мм			
		800	900	100	1100
АД1	300	8,0	7,5	7,0	6,5
АМ4.5Кд	360	6,0	5,5	5,0	4,5
АД31	300	3,4	3,1	2,8	2,5
АМг-2	360	2,0	2,4	2,2	2,0
Д16	300	1,0	0,9	0,8	0,7
	360	0,55	0,49	0,44	0,4
АМг-6	300	0,85	0,80	0,70	0,60
	360	0,5	0,45	0,39	0,35

В последние годы в строительстве и других отраслях промышленности помимо сплошных профилей все большее распространение получают полые профили из алюминиевых сплавов. Большую часть этих профилей получают прямым прессованием из сплошного слитка с использованием, так называемых комбинированных матриц (рис. 4.4).



а - матрица с выступающим гребнем; б – матрица с утопленным гребнем; в - матрица с полуутопленным гребнем; г - камерная матрица; 1 – гребень; корпус матрицы; 3 – втулка матрицы; 4 – карман.

Рис. 4.4. Типы комбинированных матриц:

Основная отличительная особенность этого процесса - разделение металла заготовки с помощью рассекателя (гребня, мостика) на отдельные потоки с последующей их сваркой. В соответствии с числом потоков в профиле образуются сварные швы. При этом основными факторами, определяющими качество сварки в данном процессе, являются степень деформации и объем металла в камере сварки.

4.4 Особенности прессования цветных металлов на основе меди, титана, никеля

Номенклатура полуфабрикатов из меди и ее сплавов, получаемых прессованием, значительно меньше номенклатуры полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Сплавы на медной основе условно разделяются на три группы:

- легкопрессуемые (латуни ЛС59-1, ЛОМНА, меднофосфористые сплавы) с температурой прессования от 570 до 680 °С;
- среднепрессуемые (латуни Л63, Л68, ЛО70-1) с температурой прессования от 700 до 820 °С;
- труднопрессуемые (медь, алюминиевые бронзы, медной и никелевые сплавы) с температурой нагрева от 850 до 970 °С.

Из меди и ее сплавов чаще всего прессуют прутки диаметром от 5,8 до 140 мм и трубы диаметром от 20 до 280 мм, а также профили. Трубы прессуют на вертикальных прессах из полый заготовки и на горизонтальных с прошивкой на прессе.

Температура нагрева инструмента при прессовании изделий из меди и ее сплавов не превышает 250-350 °С, что создает условия для интенсивного нагрева слитка особенно в начале прессования. Прессование на горизонтальных прессах ведут, как правило, без смазки контейнера.

Полуфабрикаты из медных сплавов после прессования не подвергаются термообработке. Исключение составляет ограниченное число специальных сплавов, подвергаемых закалке для повышения пластичности.

Из титана и его сплавов прессуют прутки, трубы, сплошные и полые профили. Прессование данных сплавов в большинстве случаев производится со смазкой. А в ряде случаев между заготовкой и матрицей устанавливается стеклянная шайба. На поверхность матрицы во избежание теплового удара наносится двуокись циркония плазменным напылением. Однако такое покрытие, как правило, выдерживает только одну прессовку. Скорости истечения при прессовании титановых сплавов достигают 0,5-2 м/с. Температура нагрева титана и его сплавов перед прессованием составляет 900-1150 °С.

Сплавы никеля, обрабатываемые прессованием, условно делят на три группы: жаропрочные никелевые сплавы с алюминием, хромом, молибденом, вольфрамом; сплавы никеля с медью; технический никель.

Сплавы первой группы прессуют при температуре 1100-1300 °С на прессах усилием 30-70 МН с применением стеклянных смазок и смазок на основе доменных шлаков. Из сплавов никеля второй и третьей групп получают трубы диаметром от 35 до 200 мм с толщиной стенки от 3 до 15 мм и прутки диаметром от 6 до 50 мм. Технология прессования этих сплавов аналогична технологии прессования медных сплавов.

Тонкостенные трубы из никеля и его сплавов прессуют на вертикальных прессах усилием 6 МН из полых заготовок диаметром около 80 мм. В качестве смазки в данном случае используют смесь масла с графитом. Скорости

истечения составляют 0,1-0,12 м/с. Толстостенные трубы из никеля и прутки диаметром свыше 20 мм прессуют на горизонтальных прессах с использованием стеклянных смазок аналогично прессованию титана.

4.5 Термообработка прессовых полуфабрикатов

Основную массу полуфабрикатов из алюминиевых и титановых сплавов после прессования подвергают термической обработке, которая определяет свойства полуфабрикатов. Изделия из медных и медноникелевых сплавов, как правило термообработке не подвергают. А прутки и профили из титановых сплавов в основном подвергаются отжигу.

Алюминиевые сплавы делятся на две группы:

- термически не упрочняемые (АМг2, АМг6, АД1), которые подвергаются только отжигу;
- термически упрочняемые (Д16, АД31, В95), которые подвергаются отжигу и закалке с последующим естественным или искусственным старением.

Таблица 4.10 – Режимы отжига прессованных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов

Сплав	t _{отж} , °С	τ _{выд} , мин	Условия охлаждения
АД00, АД0, АМц	380-420	10	На воздухе
АМг2, АМг3	380-420	10-90	То же
АМг5, АМг6	310-420	30-180	>>
Д1, Д16, АК4, АК4-1, АК6	380-420	60-120	В печи до 200 °С со скоростью 30 °С/ч, затем на воздухе
АД31, АД33, АВ	380-420	60-120	На воздухе
1915, 1925	320-350	90	В печи до 200 °С со скоростью 30 °С/ч, затем на воздухе
ВТ5, ВТ5-1	800-850	20-60	На воздухе
ВТ20	700-850	20-60	То же
ВТ18	900-950 (1) 550-650 (2)	20 2-8 ч	На воздухе до 550-650 °С На воздухе
ВТ6	850 (1) 750 (2)	20 30	С печью до 750 °С На воздухе
ВТ3-1	870-920 (1) 600-650 (2)	20 2ч	С печью до 600-650 °С На воздухе
ВТ22	670-820	20-60	С печью до 450 °С со скоростью 2-4 град/мин, затем на воздухе
ВТ15	790-810	20-60	На воздухе

Примечание: римскими цифрами в скобках обозначены стадии отжига.

Отжиг прессованных полуфабрикатов, состоящий в нагреве их до определенной температуры, выдержке и медленном охлаждении до комнатной температуры, обеспечивает мелкозернистую рекристаллизованную структуру и максимальную пластичность полуфабрикатов. Режимы отжига прессованных полуфабрикатов приведены в таблице 4.10.

Для получения необходимых механических свойств полуфабрикатов из термически упрочняемых сплавов их подвергают закалке и старению. Закалка состоит в нагреве до определенной температуры, выдержке и быстрому охлаждению в воде. В таблице 4.11 приведены режимы нагрева под закалку для ряда алюминиевых сплавов.

Таблица 4.11 - Режимы нагрева под закалку для ряда алюминиевых сплавов

Сплав	АД31	Д1	Д16	В95
Температура, °С	515-530	495-505	485-503	465-475

Время выдержки при температуре закалки в зависимости от минимальной толщины стенки профиля приведено в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Время выдержки при температуре закалки в зависимости от минимальной толщины стенки профиля

Толщина профиля, мм	2,5	2,5-5	5-10	10-15	15-30
Время выдержки, с	20	30	40	45	60

Профили из алюминиевых сплавов нагревают под закалку в вертикальных электрических печах сопротивления с воздушной циркуляцией, в которых изделия находятся в подвешенном состоянии над баком с водой. Скорость погружения нагретых изделий в бак составляет 0,4-0,6 м/с.

Особенностью алюминиевых сплавов является то, что они приобретают максимальную прочность не сразу после закалки, а с течением времени. Такое замедленное упрочнение закаленных алюминиевых сплавов называется естественным старением. У некоторых сплавов такой процесс протекает очень медленно и поэтому их подвергают старению при повышенных температурах, то есть подвергают искусственному старению.

5 ТЕХНОЛОГИЯ КОВКИ И ШТАМПОВКИ

В связи с высокой стоимостью сплавов цветных металлов форма и размеры исходных заготовок должны быть максимально приближены к формам и размерам штамповок, что позволит свести к минимуму так называемые неизбежные технологические потери и главным образом потери металла на облой.

Исходным материалом для производства поковок и штамповок из сплавов цветных металлов служат прессованные, катаные, кованые полуфабрикаты, которые применяют в состоянии после горячего

деформирования, без термической обработки. Иногда при изготовлении крупных поковок и штамповок (за исключением медных сплавов) применяют литые заготовки (слитки) развесом от 500 до 4000 кг диаметром соответственно от 350 до 850 мм. Слитки перед ковкой подвергают механической обработке.

Поверхность прутков, используемых для штамповки заготовок в особенности с необрабатываемыми поверхностями, так же необходимо подвергать механической обработке (обтачивать до полного удаления дефектного поверхностного слоя).

Для изготовления поковок и штамповок предпочтительно применять катаные прутки, затем прессованные и в последнюю очередь кованные, так как именно катаные прутки по сравнению с прессованными и коваными имеют лучшую поверхность и более однородные структуру и механические свойства. Кованные прутки же применяют для изготовления поковок и штамповок больших размеров, только в том случае если получение прутков для них прессованием или прокаткой затруднительно.

Кованные прутки неоднородны по структуре и нестабильны по механическим свойствам. Поэтому в качестве исходного материала они не удовлетворяют полностью требованиям, предъявляемым к качеству штамповок. Чтобы получить высокое качество кованных полуфабрикатов, необходимо применять наиболее высокие степени обжатия. Неоднородная структура кованных прутков при изготовлении из них крупных ответственных поковок и штамповок вызывает образование трещин в металле и большое количество брака изделий.

Необходимо отметить, что форма и размеры исходной заготовки при штамповке должны обеспечить получение качественных штамповок с минимальным перемещением металла в полости штампа в процессе формообразования. Это особенно важно для штамповок из алюминиевых и магниевых сплавов, на поверхности которых обычно образуются дефекты при сложных перемещениях металла в процессе штамповки.

Исходные материалы из алюминиевых, магниевых и медных сплавов режут на заготовки на дисковых пилах, токарноотрезных станках, механических ножовках и быстроходных горизонтально-фрезерных станках. Резка на пресс-ножницах не допускается в связи с возможностью образования у мест среза микротрещин, которые при дальнейшем деформировании могут привести к значительным дефектам.

Нагрев заготовок перед ковкой и штамповкой должен обеспечить: равномерный нагрев металла на заданную температуру по всему сечению в минимальное время; минимальное насыщение нагреваемого металла газами (водородом, кислородом, азотом); недопущение трещин за счет резких температурных перепадов по сечению нагреваемого металла; избежание длительных процессов рекристаллизации, и следовательно, минимальный рост зерна; точное выполнение заданного режима нагрева по температуре, скорости и времени нагрева.

Для нагрева исходных заготовок из цветных металлов и сплавов перед деформированием предпочтительно использовать печи с непрерывной загрузкой, обеспечивающие определенный ритм производства, а следовательно, более высокую производительность и позволяющие лучше использовать электроэнергию. Но при мелкосерийном или единичном производстве (крупные поковки) возможность использования печей непрерывного действия ограничена, поэтому чаще всего в этом случае приходится применять камерные печи с периодической нагрузкой. В крупносерийном и массовом производстве, где за определенными производственными агрегатами (молотами, прессами, ковочными машинами) закрепляется небольшое количество однотипных деталей, уже давно успешно применяют автоматизированные печи с непрерывной загрузкой.

Для нагрева под ковку и штамповку заготовок небольшого сечения или сложной формы при незначительном объеме производства, а также в случаях, когда предъявляются особо высокие требования к качеству нагрева (большая степень равномерности температуры в рабочей камере, высокая точность регулировки температуры и т. п.) целесообразнее всего применять электрические нагревательные печи сопротивления.

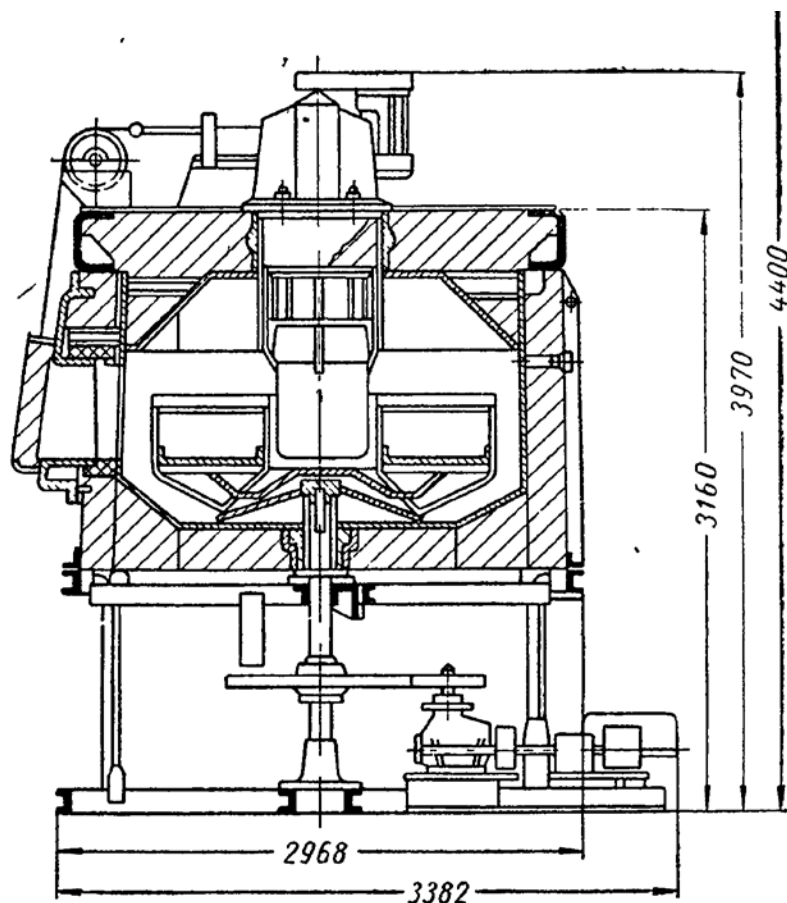


Рис.5.1. Электродпечь

Наибольшее применение нашли электрические печи сопротивления, камерного типа с экранированными нагревательными элементами, с при-

нудительной циркуляцией воздуха и с автоматическим регулированием температуры. Преимуществом этих печей являются возможность обеспечения любого температурного режима и легкость автоматического регулирования этого режима.

Загружаемые в печь заготовки должны быть очищены от масла, металлической пыли, заусенцев и других загрязнений. Необходимо так же строго следить за тем, чтобы в печи не оставались стальные заготовки и загружаемые заготовки не соприкасались с нагревательными элементами печи. Заготовки нагреваемой партии надо размещать в печь так, чтобы обеспечивался их равномерный прогрев. При размещении заготовок на поду печи в один ряд, необходимо укладывать их с некоторым интервалом.

Заготовки надо загружать в предварительно разогретую до заданной температуры печь (согласно режимам, установленным для данной марки сплава). В тех случаях, когда в печи нагревались заготовки при более высоких температурах, необходимо предварительно охладить печь ниже заданной температуры примерно на 50-100° С, затем повысить температуру до заданной для данного сплава и только после 20 - 30 минут выдержки производить загрузку заготовок новой партии. При этом заготовки диаметром свыше 150 мм следует кантовать через каждые 30 мин.

При изготовлении деталей ответственного назначения из титановых сплавов с малыми припусками, нагрев заготовок под штамповку следует производить в печах с защитной атмосферой. Применение защитной среды в виде технического аргона предохраняет от образования значительной окалины и уменьшает величину альфированного и переходного слоев. Однако полной защиты технический аргон не создает. Только применение очищенного аргона является более эффективной защитой.

Предохранить от образования окалины и уменьшить величину альфированного слоя позволяет и применение защитных покрытий в виде эмали, состоящей из окислов SiO_2 , BaO , TiO_2 , MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 , CaO , Na_2O_3 , V_2O_3 . Эмали хорошо защищают металл при нагреве до 1000—1050° С. При этом необходимо учитывать и тот факт, что защитные покрытия (эмали) реагируют при нагреве с самим металлом, отдавая ему кислород, поэтому с увеличением температуры и времени нагрева альфированный слой увеличивается. В процессе деформирования защитные эмали одновременно являются смазкой.

Допустимое время пребывания заготовок из сплавов цветных металлов в печи при ковочной температуре должно соответствовать данным, приведенным в таблицах 5.1-5.6. При ковке слитков из титановых сплавов диаметром 350 - 400 мм на прутки или перековке прутков на другие размеры необходимо руководствоваться данными, приведенными в таблице 5.7.

Таблица 5.1 - Время нагрева алюминиевых, магниевых и медных сплавов

Сплавы	Диаметр или толщина заготовки в мм		
	До 50	Св 50 до 100	Св.100
	Время (в мин) нагрева 1 мм, диаметра (толщины)		
Алюминиевые и магниевые	1,5	$T=1,5-0,01(d-50)$	2,0
Медные	0,75	$T=1,0-0,06(d-50)$	1,0

Таблица 5.2 - Время нагрева магниевых сплавов

Сплав	Температура нагрева в °С	Время нагрева в часах	Температура нагрева в °С	Время нагрева в часах
МАЗ	400	5	450	3
МА8	400	4	420	2
ВМ17	400	3	420	2
ВМ65-1	400	6	450	3

Таблица 5.3 - Допустимое время пребывания в печи подогрева заготовок из титановых сплавов

Максимальное сечение заготовки в мм	Время нагрева в часах	Максимальное сечение заготовки в мм	Время нагрева в часах
До 50	1,0	Св.140	2,5
Св. 50	1,5	До 200	
До 70		Св.200	3,0
Св.70	2,0	До 250	
До 140		Св. 250	4,0
		До 350	

Таблица 5.4 - Время нагрева заготовок на титановых сплавов до температурыковки

Толщина или диаметр заготовки в мм	Время нагрева до температурыковки по показанию самопишущего потенциометра в мин (не более)	Время нагрева при температурековки в мин (не менее)
400	50	160
350	40	130
300	40	120
250	35	100
225	35	90
200	30	80
180	30	70
160	25	60
140	25	55
120	20	50
100	20	45

Таблица 5.5 - Максимально допустимое время пребывания в печи заготовок из титановых сплавов

Толщина или диаметр заготовки в мм	Максимально допустимое время пребывания заготовки в печи при ковочной температуре в мин
400-350	240
350-250	210
250-200	150
200-150	120
150-100	90
100-60	75
60-30	60
30-10	50

Таблица 5.6 - Режим нагрева некоторых медных сплавов

Сплав	Сечение заготовк и в мм	Развес в кг	Темпера тура в печи в °С	Продолжительность нагрева в печи с температурой °С				Продол житель ность выдер жки в часах	Общее время нагрева в часах			
				700- 750	800	850	900					
ЛТ90	d=120 250x250	35-50 400	900	-		-	0,65 2,5 3,0	0,35 0,5	1,0 3,0			
Л62	300x300	700	850			0,55		0,5	3,5			
	d=120 250x250	35-50 400			-	2,5 3,0		0,35 0,5	0,9 3,0			
ЛН65-5	300x300	700			0,5	0,5		3,5				
	d=120 250x250	35-50 400			2,25 2,75	0,25 0,5		0,75 2,75				
	300x300	700			4,0	0,5		3,25				
	ЛЖМц 59-1-1	d=400			1400	800		0,5	-	0,65	4,65	
d=120 250x250		35-50 400			2,5 3,0			0,5 0,5		0,85 3,0		
300x300		700						0,5		3,5		
d=120 250x250		35-50 400			-			0,35 0,5		1,0 2,5		
300x300		700			0,65 2,0 2,5					0,5 0,5	3,0	
ЛМц58 -2					750							

Таблица 5.7 - Примеры режимов нагрева заготовок из титановых сплавов дляковки на прутки и перековки прутков

Диаметр заготовки, мм		Время нагрева, мин	Температура нагрева в °С по маркам сплавов			
начальный	конечный		BT3-1	BT6, BT14	BT5	BT4, BT8
350	200	120	1050		1150	1100
200	120	90	980	940	1030	980
120	100	60			980	980

При нагреве заготовок из титановых сплавов необходимо обеспечивать минимальное время пребывания их при температуре свыше 800° С. Нагрев цилиндрических заготовок лучше производить индукционным способом. Фасонные заготовки рекомендуется нагревать в электрических методических или двухкамерных печах. Нагрев в газовых печах можно производить в окислительной атмосфере, причем факел пламени от форсунок не должен омывать нагреваемые заготовки.

Нагрев индукционным методом и в электрических печах чаще всего производят в воздушной атмосфере. При этом печи должны быть оборудованы терморегуляторами, так как температура в рабочем пространстве печи должна быть равномерной (перепад температур в разных зонах не должен превышать в электропечах 20° С, а в мазутных 30° С). Преимущество индукционного метода заключается в резком сокращении общего времени нагрева (примерно в 3-4 раза по сравнению с нагревом в печах камерного типа). При этом методе уменьшается глубина альфированного слоя, уменьшается опасность появления трещин при деформировании и повышаются прочностные характеристики деформированных полуфабрикатов.

5.1 Технологические процессыковки

Изготовление поковок из сплавов цветных металлов осуществляют по технологическим схемам, приведенным на рисунке 5.2 и 5.3.

В целом все схемыковки цветных металлов и сплавов разделяются на простые, когда заготовка подвергается только осадке или протяжке и сложные, представляющие собой сочетание двух простых схем. В последнем случае они номеруются в зависимости от количества принятых осадок и протяжек:

- 1) схема 1 - одна осадка и одна протяжка на размер;
- 2) схема 2 - две осадки и две или одна протяжка (см. рис. 5.2);
- 3) схема 3 - три осадки и три или две протяжки (см. рис. 5.3).

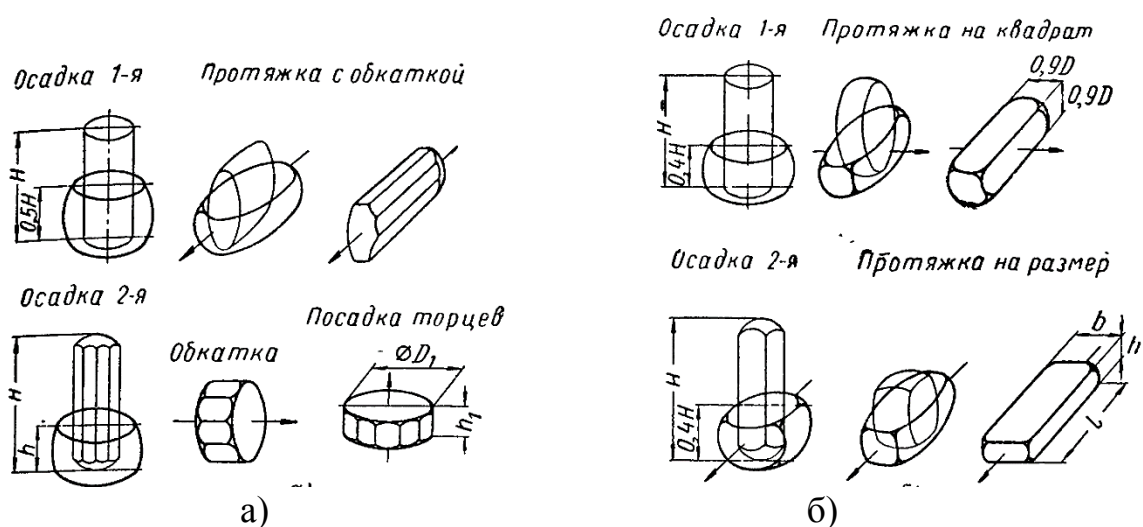


Рис. 5.2. Простая схемаковки

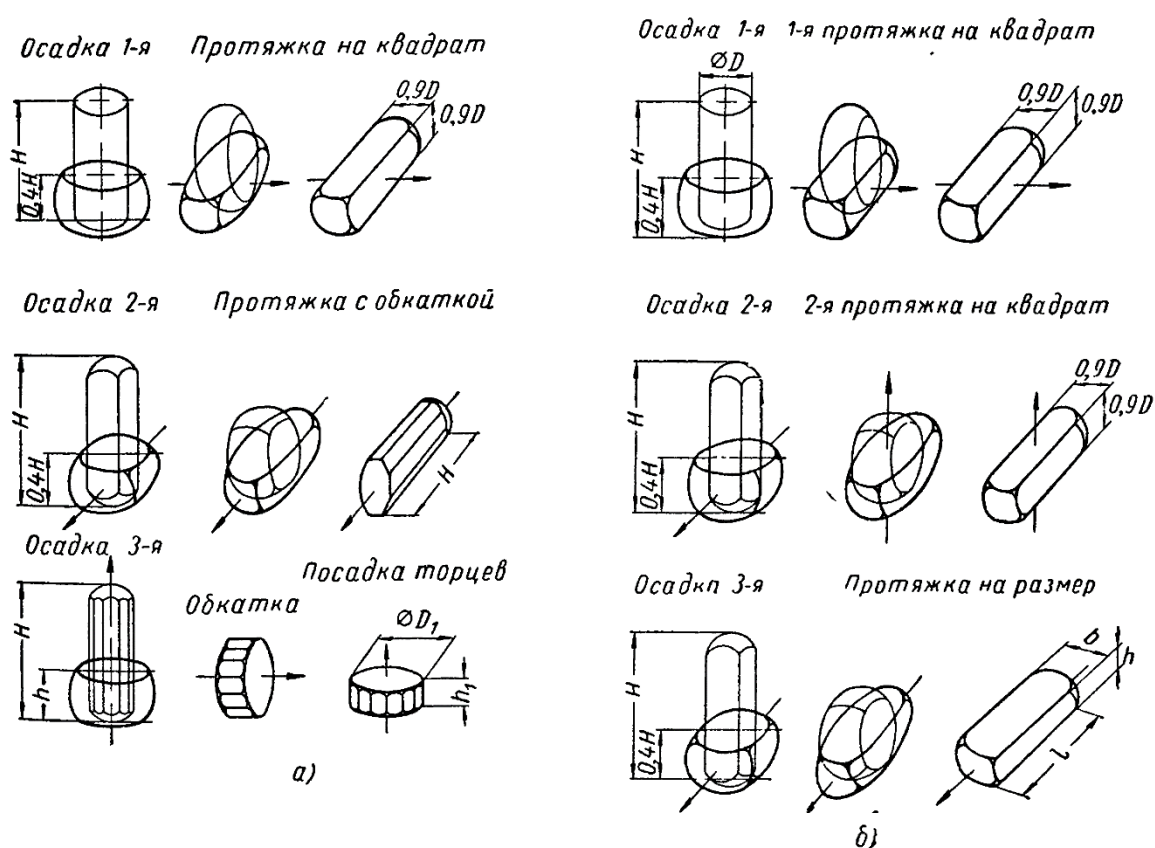


Рис. 5.3. Сложные схемыковки

Ковку поковок из цветных металлов и сплавов на молотах, создающих большие скорости деформации, рекомендуется в начале процесса производить легкими ударами со степенью деформации за каждый удар не более 5-8%. По мерековки степень деформации можно постепенно увеличивать. При ковке на прессах степень деформации практически не ограничивается.

Бойки дляковки должны быть тщательношлифованы; кромки их должны быть закруглены (R не менее 10 мм). Перед ковкой бойки надо прогреть до 300°C . По сравнению с осадкой на не подогретых бойках при осадке на бойках, подогретых до 300°C , степень деформации повышается в среднем на 35% для алюминиевых и на 25% для титановых сплавов. При осадке на холодных бойках отсутствует течение металла по контактной поверхности. Наиболее интенсивное течение металла, сопровождающееся дроблением зерна и образованием ориентированной структуры в направлении течения, происходит непосредственно под заторможенным слоем. Интенсивность течения металла в сердцевине образца меньше, чем в слоях, прилегающих к заторможенным участкам контактной поверхности. При осадке на бойках, нагретых до 300°C , заторможенный слой наблюдается только в границах зоны первоначального контакта, вне этих границ происходит течение металла по контактной поверхности. Уменьшение сопротивления деформированию при осадке на нагретых бойках происходит за счет увеличения высоты слоя перемещающегося металла. В случае осадки на холодных бойках титановых заготовок с соотношением $d/h=10$ действительная высота слоя, где наблюдается течение металла, составляет 70-80% от высоты осаженой заготовки, при осадке на подогретых бойках действительная высота слоя, где наблюдается течение металла, составляет 90-100%. При ковке сплавов, в особенности алюминиевых и магниевых, в целях предотвращения прилипания заготовок к бойкам последние следует периодически посыпать тальком.

Некоторые типовые технологические процессыковки алюминиевых, магниевых и титановых сплавов приведены в таблицах 5.8 - 5.14.

Таблица 5.8 - Типовой технологический процессковки алюминиевого сплава

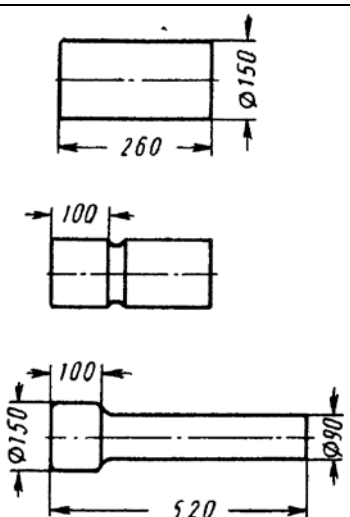
Эскизы переходов	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков
	Резка заготовок Нагрев до 480°C Наметка Оттяжка кольца	Дисковая пила Камерная электрическая печь Ковочный молот Бойки гладкие Ковочный молот Бойки фигурные

Таблица 5.9 - Типовой технологический процессковки алюминиевого сплава

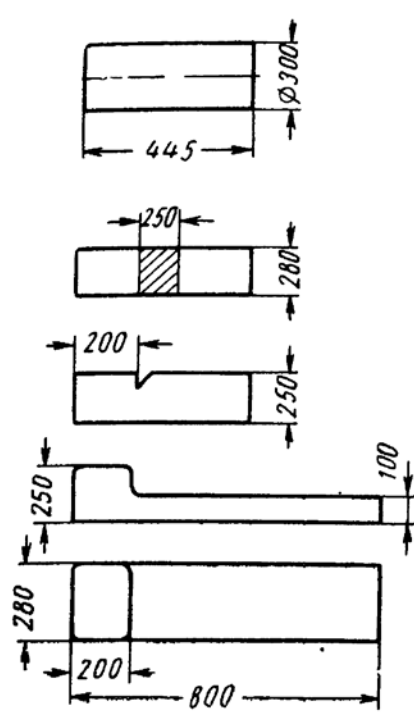
Эскизы переходов	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков
	Резка заготовок Нагрев до 480 °С Протяжка на прямоугольник Наметка Оттяжка конца	Дисковая пила Камерная электрическая печь Ковочный молот Бойки гладкие Ковочный молот Бойки гладкие Ковочный молот Бойки гладкие

Таблица 5.10 - Типовой технологический процессковки алюминиевого сплава

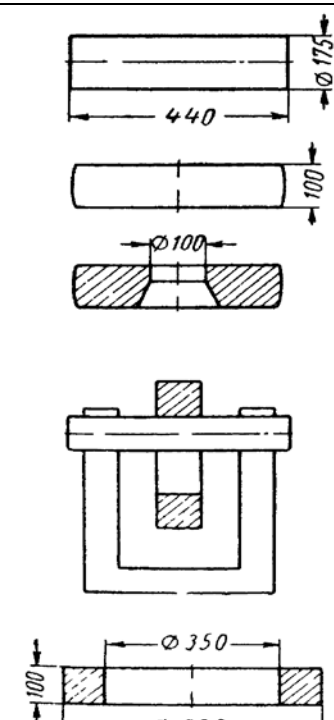
Эскизы переходов	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков
	Резка заготовок Зачистка торцов Нагрев до 470 °С Осадка Прошивка Нагрев до 470 °С Раскатка на оправке Правка по торцам	Дисковая пила Камерная электрическая печь Ковочный молот Бойки гладкие Ковочный молот Бойки гладкие Камерная электрическая печь Ковочный молот Ковочный молот

Таблица 5.11 - Технология изготовления поковок для дисков из сплавов ВМ17

Эскиз перехода	Операция. Степень деформации	Оборудование. Форма бойков	Температура в °С	Режим повторных нагревов
	Литая или прессованная заготовка, вес 112 кг	-	-	Гомогенизирующий отжиг при 490-500°С в течении 10-15 ч.
	Осадка, 35%	Пресс 300 т и выше Пресс 300 т и выше 	500-300	-
	Вытяжка, 25%			-
	Осадка, 35%		450-300	Нагрев: 450 °С
	Вытяжка, 20%			-
	Осадка, 35%			Нагрев: 150 °С
	Вытяжка, 20%			-
	Осадка, 43%		400-300	Нагрев: 400 °С

Таблица 5.12 - Технология изготовления поковок из сплава МА5

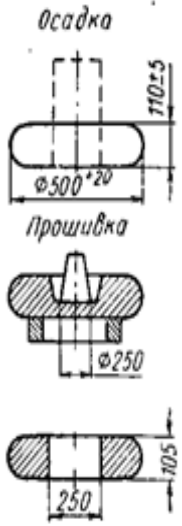
Эскиз переходов	Операция	Температурный режим			Оборудование и инструменты
		Время нагрева в часах	Начало операции	Конец операции	
			в °C		
	Мерный слиток после обточки 505x1750 мм	-	-	-	Токарный станок
	Гомогенизация: I ступень	6	360±10 390±10 300±10 330-300		колодцы
	II ступень	8			печь
	Нагрев	5			Горизонтальный Пресс 12000 тонн, контейнер Ø520мм Матрица Ø 262 мм
	Прессование прутка на Ø260 мм	-			
	Резка в меру I = 480 мм	-	-	-	Дисковая пила
	Обточка заготовки с Ø 260 мм на Ø 250 мм	-	-	-	Токарный станок
	Зачистка заусенцев и центров	-	-	-	Бормашина
	Нагрев Осадка и прошивка заготовок Старение	2,5	350-380		Печь
		-	380	300	Пресс 6000 тонн Клещи
		24	185		Печь
	Оксидирование	-	-		Травильная ванна и бормашина Ванна оксидированная
	Приемка ОТК Сдача на склад				

Таблица 5.13 - Технологический процессковки шайб из титановых сплавов

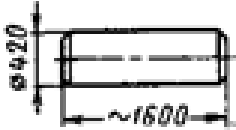
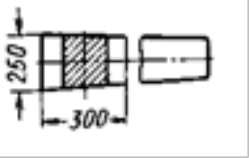
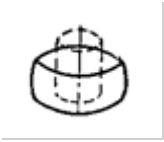
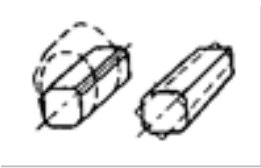
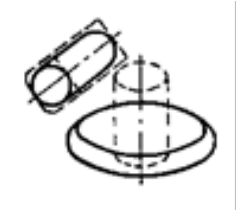
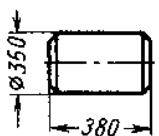
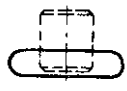
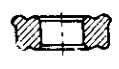
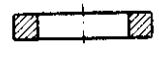
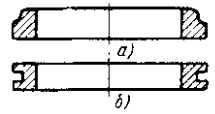
Эскиз перехода	Операции	Оборудование и указание по режимуковки
	Нагрев слитка или блюма	Печь
	Протяжка слитка на квадрат 250 мм. Рубка на мерные заготовки	Пресс 2000 тонн или молот 5 тонн
	Нагрев заготовки	Печь
	Подкатка на круг 200 мм. Осадка	Пресс 2000 тонн или молот 5 тонн. Осадка
	Протяжка на квадрат 200 мм со сменой граней и ребер	Протяжка производится: а) с температурой β -области; б) с температурой β -области близкой к границы $\alpha+\beta \leftrightarrow \beta$ -превращение в) при температуре $\alpha+\beta$ -области
	Нагрев. Подкатка и осадка на высоту 100 мм	Печь. Осадку производить при температуре, соответствующей $\alpha+\beta$ -области со степенью деформации не более 40% за вынос
Такой технологический процесс обеспечивает получение в поковки более равномерной и мелкой структуры и более высоких механических свойств.		

Таблица 5.14 - Технологический процессковки и раскатки колец из титановых сплавов

Эскиз переходов	Операции	Оборудование
	Нагрев заготовок	Печь
	Осадка заготовки	Молот 5-15 тонн
	Прошивка осаженной заготовки	
	Расковка на оправке 140- 180 мм	Молот роговой 4,5 тонн
	Калибровка по высоте. Нагрев	Молот 7 тонн
	Расковка на оправке диаметром 220- 250 мм	Молот роговой 4,5 тонн
	Калибровка по высоте	Молот 7 тонн
	Нагрев. Раскатка на специальном стане	Печь

Имеют свою особенность процессковки медных сплавов. Так, незначительные деформации до 30%, которые могут применяться при ковке латуни Л59 свободной осадкой практически недостаточно для обработки латуней в серийном производстве свободной ковкой. Поэтому при холодной и горячей обработке давлением медных сплавов для повышения пластичности меди и медных сплавов вместоковки свободной осадкой применяют осадку с боковым давлением или прессование слитков выдавливанием в контейнере.

Поэтому чтобы повысить пластичность латуни Л59 и других медных сплавов при осадке, увеличивают величины второго и третьего главных сжимающих напряжений. Этого достигают путем осадки с более высоким боковым давлением по сравнению со свободной осадкой. Так если при свободной осадке, сопровождающейся практически свободным уширением, латунь Л59 переходит в хрупкое состояние, то при осадке с высоким боковым

давлением, например, в ограничительных кольцах, пластичность латуни значительно повышается (рис. 5.4).

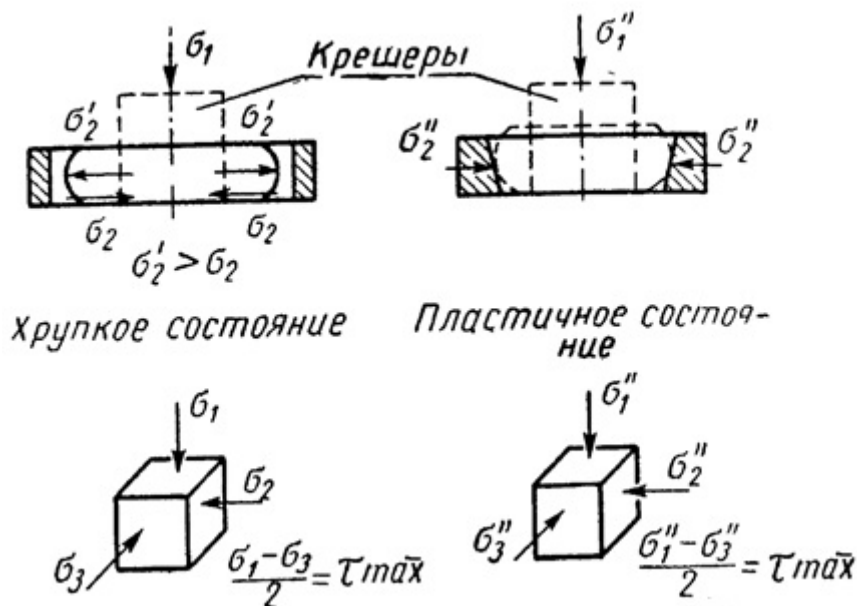


Рис. 5.4. Осадка латуни Л59 с боковым давлением в ограничительном кольце

При такой схеме деформирования боковое давление на поверхность слитка повысило все сжимающие главные напряжения и снизило растягивающие деформации и напряжения. В результате чего пластичность данного сплава значительно увеличивается и в процессе такой осадки в ограничительных кольцах, хрупкое состояние сплава не наблюдается даже при деформации, превышающей 35%.

Осадка меди и медных сплавов в ограничительных кольцах с высоким боковым давлением производится обязательно при соблюдении общего правила: свободная осадка заготовки до возникновения контакта осаживаемого металла с внутренней стенкой инструмента (кольца) может производиться со степенью деформации, при которой медь или сплав на ее основе не переходят в хрупкое состояние. Как было показано выше, такая степень деформации для латуни Л59 равна 30%.

Боковое давление при осадке может быть введено и с самого начала осадки заготовки. Для этого применяют осадку с боковым давлением в кольце, в котором расположена заготовка с возможно наименьшим зазором (рис. 5.5). В данном случае при осадке кольцо подвергается растяжению. Сила, необходимая для растяжения кольца при осадке, и создает боковое давление. Величина бокового давления определяется прочностью материала кольца. Чем больше прочность кольца, тем больше боковое давление. При осадке в кольце приведенное правило осадки с боковым давлением не применяют, поскольку критическая деформация, переводящая осаживаемый металл в хрупкое состояние при рассматриваемом методе осадки, значительно увеличивается.

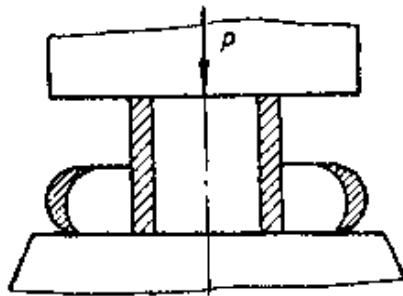


Рис. 5.5. Осадка с полным боковым давлением

После осадки заготовки подвергаются отделочной операции, в частности, обкатке на гладких (рис. 5.6, а) или в вырезных бойках (рис. 5.6, б).

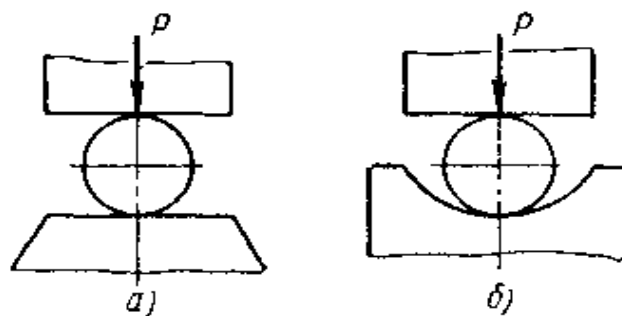
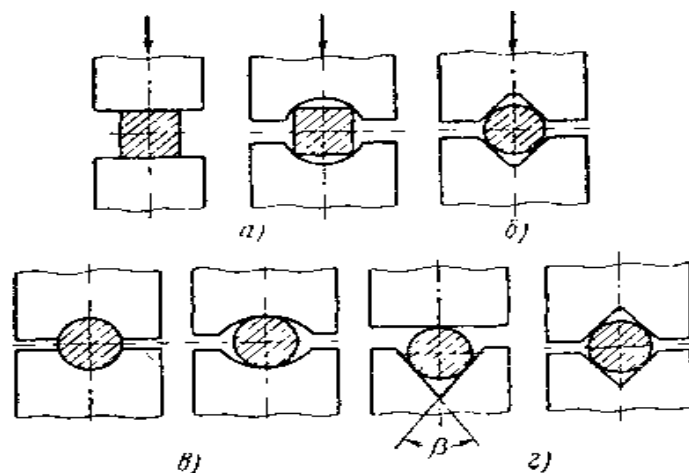


Рис. 5.6. Отделка (обкатка) заготовок после осадки

Протяжку применяют для получения поковок заданных размеров или для получения прутков или полос немерной длины, из которых режутся или рубятся в горячем состоянии мерные заготовки под дальнейшую ковку или штамповку. Для протяжки применяют плоские или вырезные бойки (рис. 5.7).



а - плоские; б - вырезные; в - полукруглые вырезные; г - ромбические вырезные.

Рис. 5.7. Бойки, применяемые для протяжки

Плоские бойки для протяжки (рис. 5.7, а) применяют для высокопластичных цветных металлов и сплавов, а вырезные бойки (особенно полукруглые) - для менее пластичных, так как они благодаря всестороннему обжатию препятствуют возникновению боковых растягивающих (разрушающих) напряжений.

В процессе протяжки медных сплавов необходимо добиваться большого удлинения заготовки и меньшего ее уширения. Это достигается за счет небольшой подачи заготовки за каждое обжатие. Чем меньше уширение и чем больше удлинение заготовки при каждом обжатии, тем большая получается уковка, т. е. тем интенсивнее происходит процесс протяжки.

При этом величину относительного обжатия (степень деформации по высоте) следует назначать, учитывая технологическую пластичность того или иного медного сплава, а также необходимость достаточно хорошей проработки металла. При больших степенях обжатия за каждый жим (удар) возможно образование зажимов (складок) металла, которому способствуют острые или изношенные кромки бойков.

Более благоприятной является протяжка с последовательным односторонним обжатием по всей длине перед кантовкой.

Протяжка состоит из элементов отдельных осадок, последовательно выполняемых в процессе технологических операций протяжки. Но отличается от осадки более равномерными условиями всесторонней деформации металла.

При протяжке после каждого жима (удара) происходит осадка. Степень деформации за ход машины при осадке латуни Л59 не может быть выше 30%, так как большие деформации приводят сплав при осадке в хрупкое состояние с образованием трещин. Поэтому при вытяжке латуни марки Л59 и других медных сплавов степень деформации не должна превышать 30%.

Из этого следует, что медные сплавы при свободной ковке протяжкой на плоских бойках не допускают обработки с высокими деформациями. Поэтому в заводской практике при серийном производстве слитки медных сплавов редко обрабатывают свободной ковкой. Метод ковки применяют только при изготовлении единичных изделий или при изготовлении малых серий. Причем, в случае применения вытяжных операций методом ковки необходимо ковку производить в вырезных бойках, которые выбирают в зависимости от пластичности сплава. В серийном же производстве слитки из медных сплавов деформируют прессованием на горизонтальных прессах. Это обосновано, тем что при прессовании выдавливанием механическая схема деформации характеризуется неравномерным всесторонним сжатием, при котором главные сжимающие напряжения значительно более высокие по сравнению с ковкой осадкой и протяжкой. Поэтому при прессовании выдавливанием слитки из медных сплавов подвергаются значительным деформациям, при этом прессуемый металл не переходит в хрупкое состояние.

5.2 Технологические процессы штамповки цветных металлов и сплавов

Штамповку сплавов цветных металлов и сплавов предпочтительнее производить на гидравлических, механических и фрикционных прессах, так как при меньшей, чем на молотах, скорости деформирования равномернее течет металл и, следовательно, меньше образуется дефектов на поверхности штамповок. Схемы деформирования следует выбирать такие, из которых получение требуемой формы происходит за счет выдавливания, а не за счет осадки.

5.2.1 Штамповка на молотах

При отсутствии прессового оборудования штамповки изготавливают на паровоздушных и других штамповочных молотах с весом падающих частей от 500 до 2000 кг и более, в открытых штампах и преимущественно из прессованных (алюминиевой, магниевой, медной), катаных и кованых (титановых) заготовок.

Однако штамповкой на паровоздушных молотах рекомендуется обрабатывать только цветные металлы и сплавы с высокой пластичностью и для производства деталей небольшой массы.

Из цветных металлов и сплавов со средней пластичностью на штамповочных молотах рекомендуется изготавливать детали только простой формы и только в тех случаях, когда исходная заготовка близка по форме и конфигурации получаемой штамповки. При этом детали разной сложности из менее пластичных сплавов целесообразно деформировать за два перехода пресса.

В случае выполнения работ в открытых одноручьевых штампах на молотах штамповку надо начинать легкими ударами, постепенно усиливая их. С момента образования заусенца (облоя), в связи с более благоприятной схемой напряженного состояния, степень деформации не ограничивается. Применять многоручьевые штампы нецелесообразно в связи с тем, что после каждой деформирующей операции необходимо удалять дефекты на поверхности заготовок.

5.2.2 Штамповка на прессах

Существует два метода штамповки на прессах:

- из предварительно подготовленной фасонной заготовки, которая получается открытой ковкой на плоских или фасонных бойках и по своей конфигурации близка к готовой штамповке. Затем фасонная заготовка штампуется в одноручьевом штампе с одним или несколькими нагревами;
- мерная заготовка без предварительнойковки непосредственно поступает на штамповку. Заполнение полости штампа металлом зависит от формы заготовки и ручья в штампе.

Так как при степени деформации более 40% за один ход пресса в облой вытесняется значительный объем металла, вследствие чего полость штампа заполняется не полностью, то при штамповке на прессах следует назначать два перехода - предварительный и окончательный.

В случае комбинированной штамповки (т.е. использование и пресса и молота) за два перехода, первый переход надо выполнять на прессе, второй - на молоте.

При изготовлении сложных по форме заготовок с резкими переходами между сечениями в процессе штамповки должны быть предусмотрены дополнительные переходы для предварительной деформации на прессе.

Многократную штамповку производят с промежуточной обрезкой облой, с последующим травлением и зачисткой наружных дефектов. При этом многократную штамповку можно осуществлять в одном штампе или в специальных предварительных штампах, постепенно доводящих заготовку до окончательных размеров.

У штамповок из цветных металлов и сплавов облой обрезают как правило в обрезных штампах. Обрезку облой у штамповок из алюминиевых и магниевых сплавов на ленточных пилах применяют только в случаях больших габаритных размеров и небольших количествах штамповок, когда изготовление обрезных штампов нецелесообразно. Обрезку облой в штампах у штамповок из алюминиевых и медных сплавов производят в холодном состоянии, из магниевых сплавов МА2 и ВМ65-1 при температуре не ниже 220°С из сплавов МА3 и МА5 в интервале температур 220 - 300°С, из титановых сплавов - при 600° - 800° С°.

В зависимости от формы штамповок обрезку облой производят или толкающим или режущим пуансоном. При обрезке толкающим пуансоном (рис. 5.8) зазор δ между матрицей и пуансоном назначают по таблице 5.15 в зависимости от высоты h , равной расстоянию от режущей кромки матрицы до плоскости прилегания пуансона. При переменной высоте для данной штамповки зазор δ назначают по наименьшей высоте. В случае обрезки режущим пуансоном зазор δ определяют по таблице 5.15 в зависимости от толщины a срезаемого облой.

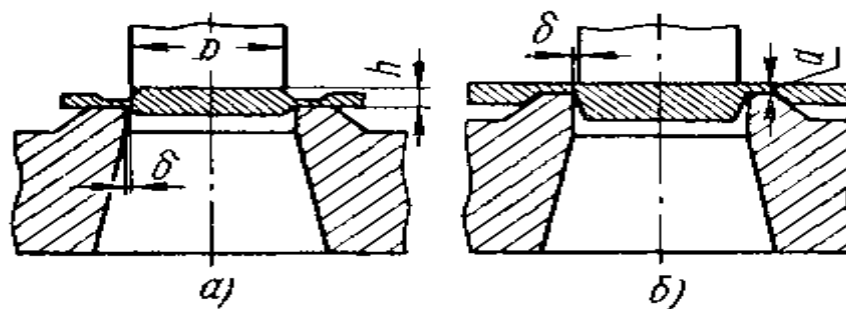


Рис.5.8. Обрезка облой

Таблица 5.15 - Зазор δ между матрицей и пуансоном при обрезке

h , мм	D , мм	a , мм	δ , мм
<i>а) обрезка облоя толкающим пуансоном</i>			
До 10	До 30	-	0,5
10-25	30-60	-	1,0
Св.25	Св. 60	-	1,5
<i>б) обрезка облоя режущим пуансоном</i>			
-	-	1-1,2	0,10
-	-	1,5	0,13
-	-	2,0	0,15
-	-	3,0	0,25
-	-	4,0	0,3
-	-	5,0	0,4
-	-	6,0	0,5

Во избежание образования нажимов, которые могут привести к браку, в особенности, если нажимы имеют место на необрабатываемых поверхностях, поверхность прилегания пуансона к штамповке должна быть тщательно подогнана.

Прошивку отверстий в штамповках из цветных металлов и сплавов производят в условиях режущего пуансона (рис. 5.9, а), когда прошиваемое место опирается на матрицу в отличие от стальных штамповок, где прошивка производится преимущественно толкающим пуансоном (рис. 5.9, б).

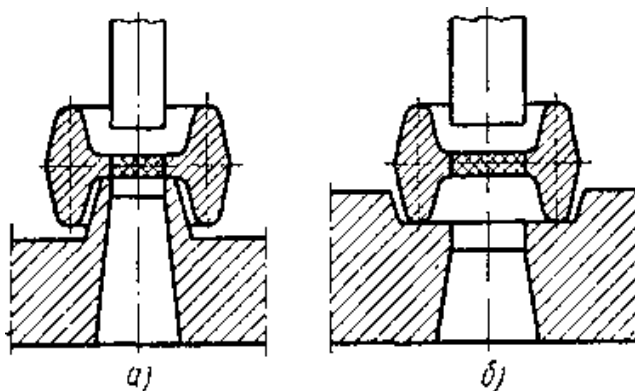


Рис.5.9. Прошивка отверстий в штамповках

5.3 Штамповка в закрытых штампах

Основным преимуществом штамповки цветных металлов и сплавов в закрытых штампах (т.е. безоблойной штамповки) является значительная экономия металла по причине отсутствия заусенца, технологически необходимого в открытых штампах. При более высокой стоимости сплавов у цветных металлов по сравнению со сталью, это преимущество имеет существенное значение. Отпадает также необходимость в дополнительных операциях и инструменте для обрезки заусенца.

Так же хочется отметить, что для сплавов, имеющих пониженную пластичность, при штамповке в закрытых штампах имеет место более благоприятная схема напряженно-деформированного состояния с резко выраженным всесторонним сжатием при относительно невысоких растягивающих напряжениях.

Штамповку в закрытых штампах можно производить как на молотах, так и на прессах. На молотах можно штамповать только сплавы с повышенной пластичностью, т. е. те же, что и при штамповке в открытых штампах.

Для штамповки в закрытых штампах наиболее подходящими машинами являются кривошипные, фрикционные и гидравлические прессы.

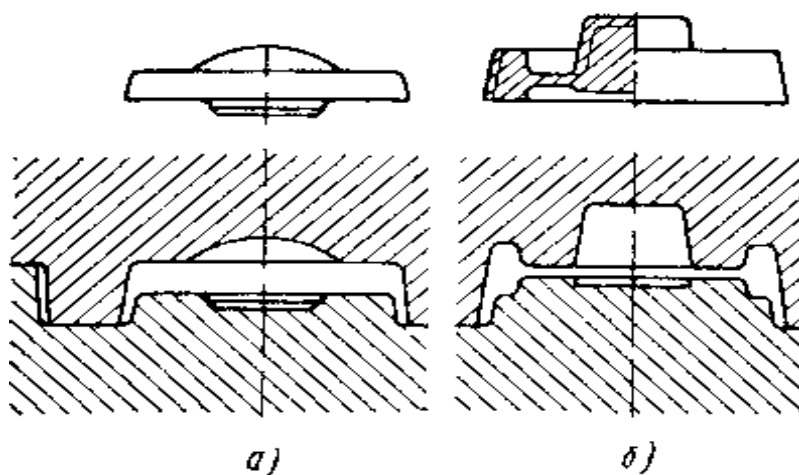


Рис. 5.10. Схемы штамповки в закрытом предварительном (а) и окончательном (б) штампах

5.4 Штамповка на горизонтально-ковочных машинах

Горизонтально-ковочные машины (ГКМ) относятся к типу кривошипно-шатунных механизмов, у которых несущий рабочий инструмент - ползун, имеет возвратно-поступательное движение в горизонтальном направлении. Наиболее распространенная и характерная для ГКМ применительно к цветным металлам и сплавам является операция – высадка.

Рассмотрим некоторые примеры технологических переходов штамповки на горизонтально-ковочной машине для алюминиевых и магниевых сплавов.

1. Штамповка детали типа стержень с утолщением на ГKM с усилием 400 тонн (рис. 5.11). Заготовку диаметром 35 и длиной 315 мм из сплава АК6 штампуют в три перехода: в первом ручье в пуансоне осуществляется конический набор металла; во втором ручье - набор второго конуса; в третьем ручье - утолщение (головка) окончательно оформляется в матрице до нужных размеров с незначительным торцевым заусенцем, который удаляется при механической обработке штамповки.

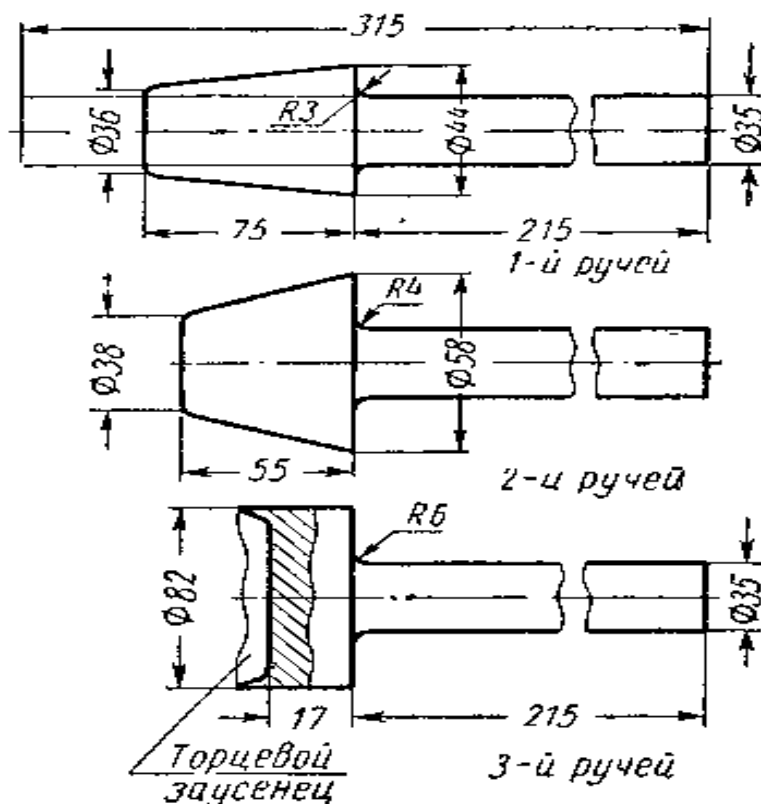


Рис. 5.11. Штамповка детали типа стержень с утолщением

2. Высадка детали с глубокой прошивкой на ГKM усилием 600 тонн. Заготовку диаметром 55 мм и длиной 145 мм из сплава АК6 с предварительно высверленным отверстием диаметром 8 мм и глубиной 15 мм под оправку штампуют в два перехода (рис. 5.12): в первом ручье заготовка осаживается с набором бурта, во втором осуществляется прошивка с окончательным оформлением штамповки.

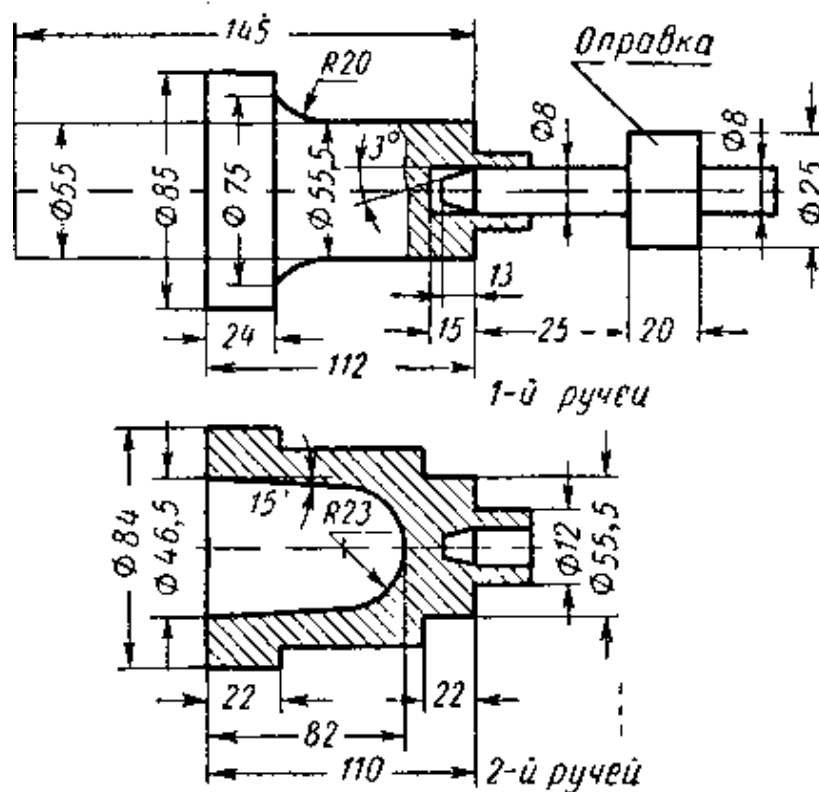


Рис. 5.12. Высадка детали с глубокой прошивкой

При штамповке деталей типа стержня с утолщением из титановых и других сплавов набор металла чаще всего производится в 2-4 перехода, когда соотношение длины высаживаемого стержня к высоте высаженной части составляет 1:4 и 1:8 (рис. 5.13) и в один переход при соотношении 1:2 и менее.

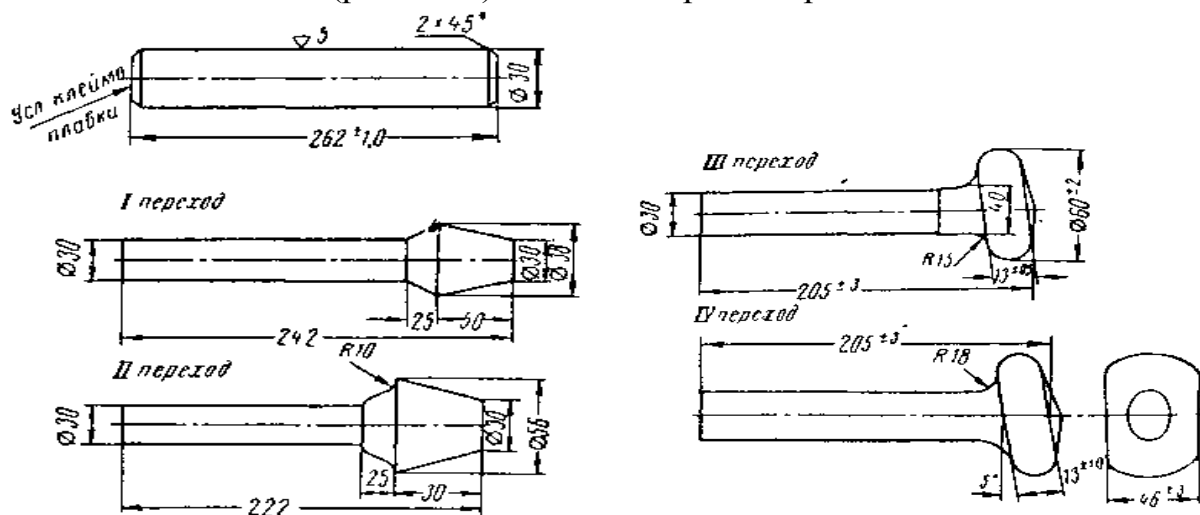


Рис. 5.13. Технологический процесс штамповки на ГКМ - высадка

Кроме высадки на ГКМ можно производить операции гибки, пережима, прошивки для образования несквозных полостей, просечки для получения сквозных отверстий, выдавливания и др.

5.5 Штамповка с применением высокотемпературной термомеханической обработки

С целью повышения усталостных и статических кратковременных и длительных прочностных свойств, как титановых сплавов, так и других цветных металлов и сплавов (свойства повышаются на 20—30%) применяют так называемую высокотемпературную термомеханическую обработку (ВТМО).

Но чаще всего штамповка деталей с применением ВТМО рекомендуется для титановых сплавов типа $\alpha+\beta$ (сплавы ВТЗ-1, ВТ6, ВТ8 и ВТ9). Она заключается в совмещении операции штамповки с последующей закалкой в воде. При этом штамповку производят на том же оборудовании, что и обычную штамповку, но предпочтительнее все же применять пресса.

Степень деформации при ВТМО для получения оптимальных прочностных и пластических свойств должна быть в пределах 40-50%, а температура нагрева под деформацию - соответствовать величинам, приведенным в таблице 5.16. Оптимальная температура нагрева должна быть на 20-30°C ниже температуры полного ($\alpha+\beta \leftrightarrow \beta$) превращения.

Таблица 5.16 - Температура нагрева под штамповку деталей с применением ВТМО

Сплав	Температура нагрева $\pm 10^\circ\text{C}$
ВТЗ-1 и ВТ6	930
ВТ8 и ВТ9	950

При штамповке титановых сплавов для получения эффекта ВТМО и получения равномерных прочностных и пластических свойств исходная заготовка должна иметь структуру, не превышающую 5-й балл шкалы микроструктуры и 4-й балл шкалы макроструктуры титановых сплавов. При этом толщина штамповки при применении ВТМО из-за низкой теплопроводности титановых сплавов не должна превышать 30 мм. Штамповки следует охлаждать в баке с проточной водой, температуру которой надо поддерживать в пределах 30-70° С.

Непосредственно после штамповки перед охлаждением в воде необходимо обрезать облой и провести правку. Время проведения операций (штамповка, обрезка облоя и правка) с момента выема заготовок из печи до охлаждения в воде не должно превышать 40 сек (оптимальным временем является 30-35 сек), а для сплава ВТЗ-1 50 сек (оптимальным временем является 40-45 сек). Более короткое время, особенно для сплава ВТЗ-1, приводит к снижению пластических свойств (прочность повышается). Более длительное время ведет к понижению прочностных свойств.

После штамповки деталей с применением ВТМО, данные детали должны подвергаться старению. Температура старения и время выдержки при старении приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 - Температура старения и время выдержки при применении ВТМО

Сплав	Температура старения в С°	Время старения в часах
BT3-1	От 550 до 620	5-2
BT6	500	2
BT8	От 550 до 570	5-2
BT9	570	2

5.6 Смазка при штамповке цветных металлов и сплавов

При штамповке алюминиевых и магниевых сплавов в качестве смазки применяют искусственный воск, масло с графитом, животный жир и масло vapor. При штамповке титановых и медных сплавов в качестве смазок применяют мазут и масло с графитом, а также различные эмали стекла и др.

После нанесения смазки на стенки полости производят обдув штампа сжатым воздухом с целью более равномерного распределения и для удаления избыточной смазки из полости штампа.

5.7 Калибровка

Плоскостная калибровка осуществляется обжатием между плоскими плитами отдельных элементов штамповки и применяется для получения точных размеров и требуемой чистоты отдельных плоских и криволинейных поверхностей. При плоскостной калибровке происходит свободное течение металла в направлении, перпендикулярном перемещению деформирующего инструмента.

В процессе плоской калибровки обжатию могут подвергаться одновременно две или несколько поверхностей. При этом эти поверхности могут находиться в нескольких параллельных плоскостях (рис. 5.14, а).

Во избежание коробления отдельных не подвергаемых калибровке мест заготовки, в особенности при значительных расстояниях между калибруемыми участками, эти места подвергаются частичному обжатию (правке).

Объемная калибровка осуществляется путем обжатия заготовки в ручье штампа с выдавливанием избыточного металла в облой (рис. 5.14, б). В дальнейшем образующийся облой удаляется механической обработкой или обрезается в специальном штампе.

В процессе горячей калибровки штампы должны иметь температуру 200°С для массивных заготовок и 300-350°С для заготовок с тонкими полотнами. Оптимальным оборудованием для горячей калибровки являются горячештамповочные прессы. Так же эта операция выполняема и на молотах простого действия. Фрикционные же прессы и молоты двойного действия не рекомендуется применять в связи с опасностью поломки штоков или ходовых

винтов из-за так называемых «сухих» ударов. Так же не рекомендуется применять для горячей калибровки чеканочные прессы, ибо тонкие части заготовки успевают подстыть в процессе нарастания деформирующих усилий, в результате при удалении заготовки из штампа она может получить дополнительное коробление.

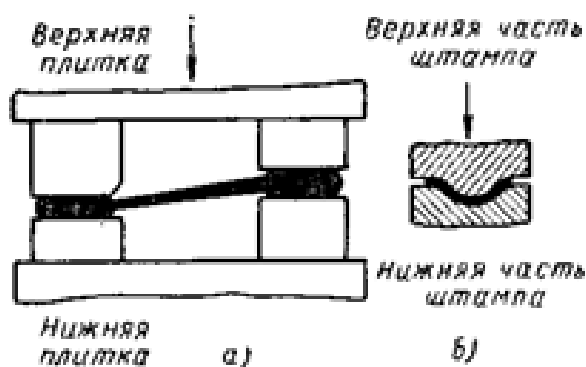


Рис.5.14. Схема калибровки

При калибровке так же применяются смазки. Так для калибровки заготовок из алюминиевых сплавов применяют следующие составы смазок: 60% вазелина технического, 30% мыла хозяйственного и 10% стеарина. Несколько менее эффективна смазка, состоящая из 75% рыбьего жира и 25% стеарина.

Применение выше указанных смазок снижает требуемое усилие калибровки на 8-20%.

Так же рекомендуется применять для калибровки парафиновые смазки, которые позволяют в отдельных случаях снизить удельное давление на 50-60%, обеспечивая при этом выравнивание удельного давления по торцу изделия значительно уменьшая выпуклость торцов.

Но использование смазок в процессе калибровке имеет и свой существенный недостаток: недостаточная чистота калиброванных поверхностей. В этом отношении преимущество имеет калибровка без смазки, которая при достаточной чистоте обработки поверхностей калибровочных плиток дает чистоту поверхности во многих случаях более высокую, чем шлифование.

Весьма эффективен способ двойной калибровки, когда первая калибровка осуществляется без смазки и служит для получения чистых и гладких торцевых поверхностей (этой операцией снимается 75% припуска на калибровку), а вторая калибровка производится со смазкой и служит для исправления полученной при первой калибровке выпуклости торцевых поверхностей.

5.8 Очистка поверхности штамповок

Поверхность штамповок из сплавов цветных металлов и сплавов очищается травлением (таблица 5.18).

Таблица 5.18 - Составы растворов для травления

Материал штамповок	Состав раствора	Температура раствора в °С	Продолжительность, мин	Материал штамповок
Алюминиевые сплавы	Na_3PO_4 - 50 г Na_2CO_3 - 50 г Жидкое стекло - 30 г Вода - 1 л	60-70	2	Обезжиривание
	NaOH или KOH - (50-70) г Вода - 1 л	40-50	2	Травление
	HNO_3 уд. вес 1,4-1 л Вода - 1 л	Комнатная 15-20	2-5	Осветление
Магниевые сплавы	CrO_3 - 20%-ный раствор HNO_3 - 90-100 г/л, уд. вес 1,4 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - 70 г/л NH_4Cl - 3-5 г/л NaOH или KOH - 50-70 г Вода - 1 л	60-80 60-80 40-50	3-5 10-20 2-3	Травление Обезжиривание
Титановые сплавы *	1-раствор: H_2SO_4 - 110-130 г/л + HF - 70-80% г/л 2-раствор: H_2SO_4 - 180-220 г/л + H-NF - 35-45 г/л	20 55-65	0,5-5 10-30	Травление
Бронза	HNO_3 - 1 л., уд. вес 1,4 Вода - 1 л	15-20	2	
Латунь	HNO_3 - 200 см ³ , уд. вес 1,4 HCl - 2 см ³ , уд. вес 1,19 Глянцевая сажа - 1 - 2 г Вода- 800 см ³	15-20	3-5	Предварительное травление
	HNO_3 - 75 см ³ , уд. вес 1,4 H_2SO_4 - 100 см ³ , уд. вес 1,84 HCl - 1 см ³ , уд. вес 1,19 Вода - 824 см ³	15-20	3-5	Глянцевое травление

* Окалина на поверхности штамповок из титановых сплавов имеет химическую стойкость, значительно превосходящую стойкость основного металла. Практически она не растворима во многих агрессивных средах, поэтому трудно удаляется травлением. Окалину необходимо обработать предварительно в расплаве щелочи или следует очищать механически в дробеметных или гидропескоструйных аппаратах, а затем удалять травлением в растворах, указанных в таблице. Технология механической очистки такая же, как у остальных штамповок.

5.9 Типовые технологические процессы штамповки цветных металлов и сплавов

Типовые технологические процессы штамповки поковок из цветных металлов и сплавов приведены в таблицах 5.19 – 5.28.

Таблица 5.19 - Технологический процесс штамповки

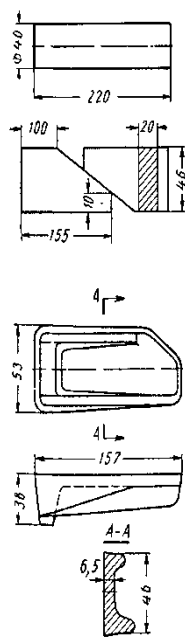
Эскизы переходов	Операция	Температурный режим			Оборудование инструмент
		Время нагрева в мин	Температура, °С		
			Начало	Конец	
	Резка заготовок	-	-	-	Дисковая пила
	Промывка	-	-	-	Моечная машина
	Нагрев	65	-	-	Электродпечь
	Ковка а) протяжка на квадрат б) разрубка	-	475	420	Ковочный молот 500 кг
	Травление	-	-	-	Травильные ванны
	Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина
	Нагрев	60	-	-	Электродпечь
	Штамповка предварительная	-	475	420	КГШП 160 тонн, ковочный штамп
	Обрезка облоя	-	-	-	Обрезной пресс
	Травление	-	-	-	Травильные ванны
	Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина
	Нагрев				Электродпечь
	Штамповка окончательная				КГШП 160тонн, ковочный штамп
	Обрезка облоя				Обрезной пресс
	Травление				Травильные ванны
	Зачистка дефектов				Бормашина
	Контроль				-

Таблица 5.20 - Технологический процессковки деталей из магниевого сплава МА2 на штамповочном молоте

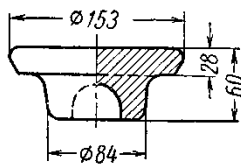
 а)  б)  в)				
Операция	Температурный режим			Оборудование Инструмент
	Температура , °С			
	Время нагрева	Начало операции	Конец операции	
Резка заготовки (эскиз а)	-	-	-	Пила
Нагрев заготовки	2ч	420	420	Электродпечь
Осадка в торец (эскиз б)	-	420	360	Молот 1,5 тонны, бойки
Нагрев под штамповку	1ч 40 мин	420	420	Электродпечь
Штамповка (эскиз в)	-	420	350	Молот 2 тонны, штампы
Обрезка облоя	-	300	250	Пресс 100 тонн, матрица и пуансон
Травление	-	-	-	Ванна
Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина. Фрезы
Травление	-	-	-	Ванна
Оксидирование	-	-	-	Ванна
Контроль и сдача	-	-	-	-
Размер заготовки, мм	Вес, кг		Выход годного, %	Примечание
	заготовки	поковки		
D=80; h=150	1,4	1,25	74	Температура штампов не менее 250 °С. Смазка - машинное масло

Таблица 5.21 - Типовой технологический процесс штамповки деталей (вес 100 кг) из сплава ВМ65-1 на гидравлических прессах с усилием 12-15 тыс. тонн

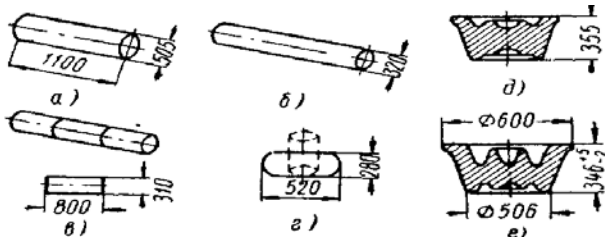
			
Операция	Температурный режим		Оборудование. Инструмент
	Время, ч	$^{\circ}\text{C}$	
Литая заготовка после обточки (эскиз а)	-	-	Токарный станок
Гомогенизация	12	380-400	Электродпечь
Нагрев	5	300-350	Электродпечь
Прессование (эскиз б)	-	350-300	Горизонтальный пресс
Резка в меру (косина реза не более 5 мм) (эскиз в)	-	-	Дисковая пила
Обточка с $\varnothing 320$ мм на $\varnothing 310$ мм	-	-	Токарный станок
Зачистка острых кромок	-	-	Бормашина
Нагрев	3	380-420	Электродпечь
Осадка (эскиз г)	-	420-300	Вертикальный пресс
Зачистка дефектов	-	-	Бормашина
Нагрев	4	300-330	Электродпечь
Предварительная штамповка (эскиз д)	-	330-300	Вертикальный пресс. Предварительный штамп
Обрезка облоя	-	-	Ленточная пила
Травление и зачистка дефектов	-	-	Ванна
Нагрев	2	300-330	Электродпечь
Окончательная штамповка (эскиз е)	-	330-300	Вертикальный пресс. Окончательный штамп
Обрезка облоя	-	-	Ленточная пила
Термообработка	24	165 $\pm$ 5	Колодцы старения
Травление и зачистка и оксидирование	-	-	Ванны
Контроль и сдача	-	-	-

Таблица 5.22 - Технологический процесс штамповки деталей (вес 230 кг) из сплава ВМ65-1 на гидравлических прессах

Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Время нагрева, ч	Начало операции, °C	Конец операции, °C	
Гомогенизация	12	380-400		Колодцы
Обточка слитка	-	-	-	Токарный станок
Нагрев под прессование	5,5	280-320		Электродпечь
Прессование	-	310	280	Горизонтальный пресс
Резка в меру (эскиз а)	-	-	-	Дисковая пила
Обточка заготовки	-	-	-	Токарный станок
Зачистка центров и острых кромок (эскиз б)	-	-	-	Бормашина
Нагрев под ковку	3,5	380-420		Электродпечь
Осадка (эскиз в)	-	420	300	Вертикальный пресс.
Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина
Нагрев	3,5	350-380		Электродпечь
Предварительная штамповка	-	380	300	Вертикальный пресс. Предварительный штамп
Обрезка облоя	-	-	-	Карусельный станок
Травление и зачистка	-	-	-	Ванна и бормашина
Нагрев	2	300-330		Электродпечь
Окончательная штамповка 1 (эскиз г)	-	330	280	Вертикальный пресс
Обрезка облоя	-	-	-	Карусельный станок
Травление и зачистка	-	-	-	Ванна и бормашина
Нагрев	1,5	300-330		Электродпечь
Окончательная штамповка 2 (эскиз д)	-	330	280	Вертикальный пресс
Обрезка облоя	-	-	-	Окончательный штамп
Термообработка	24	165±5		Колодцы старения
Травление и зачистка	-	-	-	Ванна и бормашина
Оксидирование	-	-	-	Ванны
Контроль и сдача	-	-	-	-

Таблица 5.23 - Технологический процесс штамповки деталей (вес 60 кг) из сплава МА5 на гидравлических прессах

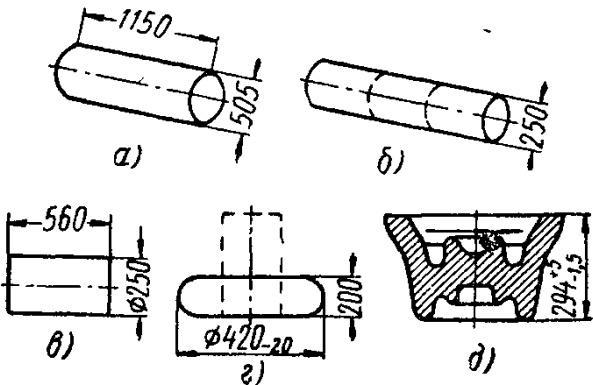
				
Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Температура			
	Время нагрева, ч	Начало операции, °C	Конец операции, °C	
Гомогенизация слитка (эскиз а)				
1 ступень	6	350-370		Колодезные печи
2 ступень	8	380-400		Колодезные печи
Нагрев под прессование	5	300-400		Электропечь
Прессование (эскиз б)	-	330	300	Горизонтальный пресс
Резка в меру	-	-	-	Дисковая пила
Обточка заготовки (эскиз в)	-	-	-	Токарный станок
Нагрев под ковку	2,5	350-380		Электропечь
Осадка (эскиз г)	-	380	300	Вертикальный пресс
Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина
Нагрев под штамповку (эскиз д)	1,5	350-380		Электропечь
Предварительная штамповка	-	380	300	Вертикальный пресс. Предварительный штамп
Обрезка облоя	-	-	-	Ленточная пила
Травление и зачистка	-	-	-	Ванна и бормашина
Нагрев	1	320-350		Электропечь
Окончательная штамповка	-	350	300	Вертикальный пресс
Обрезка облоя	-	-	-	Ленточная пила
Термообработка	24	185±5		Электропечь старения
Травление и зачистка, оксидирование	-	-	-	Ванна
Контроль сдачи	-	-	-	-

Таблица 5.24 - Типовой технологический процесс штамповки детали из сплава ВМ65-1 на кривошипном прессе

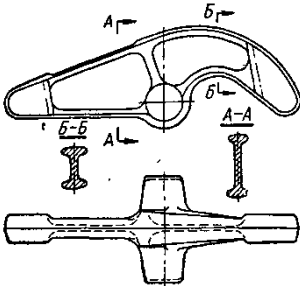
				
Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Время нагрева	Начало операции, °С	Конец операции, °С	
Резка мерных заготовок (прессованный пруток) Ø60х205мм	-	-	-	Ленточная пила
Нагрев	1ч 30 мин	400-300		Электродпечь ПН-15
Предварительная штамповка	-	400	360	Кривошипный пресс 2000т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	-	-		Пила
Нагрев	1ч 30 мин	380-300		Электродпечь ПН-15
Окончательная штамповка	-	380	320	Кривошипный пресс 2000т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	-	300-280		Обрезной пресс
Травление	-	-		Ванны
Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина
Травление и оксидирование	-	-	-	Ванны
Контроль и сдача	-	-		-

Таблица 5.25 - Типовой технологический процесс штамповки детали из сплава ВМ65-1 на кривошипном прессе

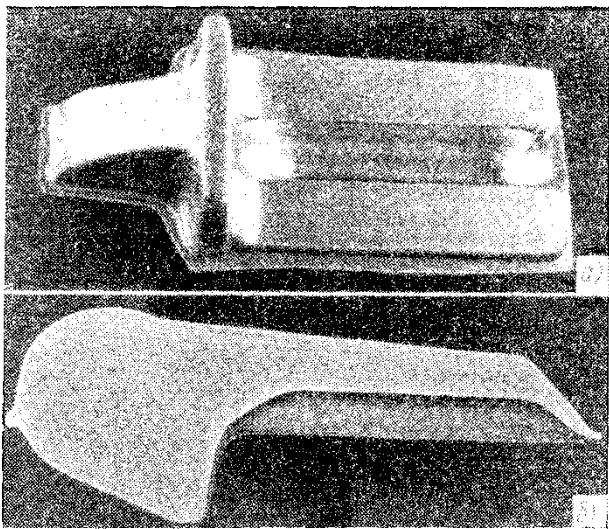
				
Операция	Температурный режим			Оборудование. Инструмент
	Время нагрева	Начало операции, °С	Конец операции, °С	
Резка заготовок из полосы толщиной 25х78х213мм	-	-	-	Ленточная пила
Нагрев	1ч 20 мин	400	350	Электродпечь ПН-15
Предварительная штамповка	-	400	360	Кривошипный пресс 1500т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	-	-		Пила
Нагрев	1ч 20 мин	380	300	Электродпечь ПН-15
Окончательная штамповка	-	380	320	Кривошипный пресс 1500т. Окончательный штамп
Обрезка облоя	-	300	280	Обрезной пресс
Травление	-	-		Ванны
Зачистка дефектов	-	-	-	Бормашина
Травление и оксидирование	-	-	-	Ванны
Контроль и сдача	-	-		-

Таблица 5.26 - Технологический процесс штамповки диска из титанового сплава

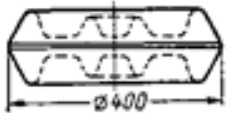
Эскизы переходов	Операция	Оборудование
	Нагрев	Печь
	Штамповка а) переход предварительный	Молот 10 тонн или пресс 10 тыс. тонн
	Нагрев б) переход окончательный Обрезка обля	Обрезной пресс 600 тонн
	Правка	

Таблица 5.27 - Типовой технологический процесс штамповки чашки из сплава Л-59 на фрикционном прессе

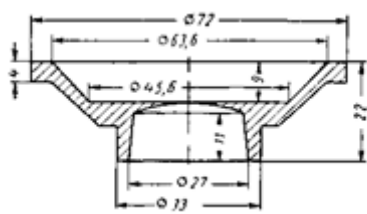
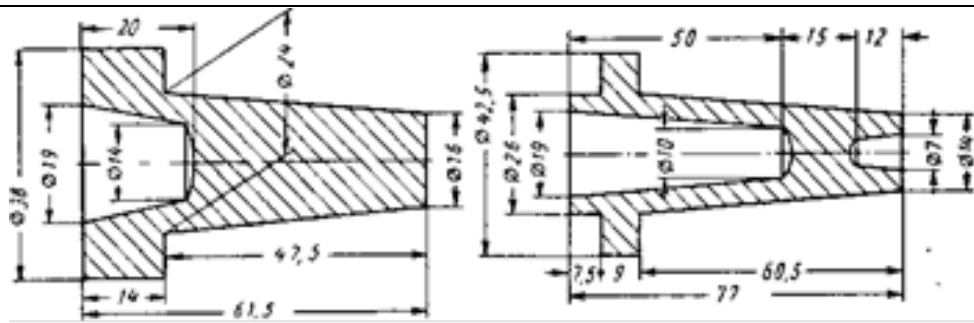
			
Операция	Оборудование	Температурный режим в °С	
		Начало операции	Конец операции
Резка мерной заготовки 60x7,9 мм*	Дисковая пила	-	
Нагрев заготовки	Печь	700	
Штамповка	Фрикционный пресс	780	730
Отпуск	Печь	300	
Травление	Травильные ванны	-	
Контроль и передача на механическую обработку	Контрольный стол	-	
*При отсутствии прутка Ø60 мм заготовку можно резать из меньшего диаметра с последующей осадкой до Ø 60 мм			

Таблица 5.28 - Типовой технологический процесс штамповки из сплава Л-59 на фрикционном прессе

			
Операция	Оборудование	Температурный режим в °С	
		Начало операции	Конец операции
Резка мерной заготовки 35x27,8 мм *	Ленточная пила	-	
Нагрев заготовки	Нагревательная печь	780	
Предварительная штамповка	Фрикционный пресс	780	730
Подогрев	Нагревательная печь	780	
Окончательная штамповка	Фрикционный пресс	780	730
Отпуск	Печь	300	
Травление	Травильная ванна	-	
Контроль и передача на механическую обработку	Контрольный стол	-	
* При отсутствии прутка Ø 35 мм заготовку можно резать из прутка Ø 30 мм.			

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный материал указывает на разнообразность и сложность поставленной авторами задачи – наиболее полно охватить в учебном пособии существующие технологии обработки давлением различных цветных металлов и сплавов.

В учебном пособии изложены основы технологии обработки металлов давлением и дано описание производства листов и лент из цветных металлов и сплавов, а также описаны процессы прессования, волочения,ковки и объемной штамповки различных цветных металлов и сплавов.

Большую долю в данном учебном пособии занимает информация по действующим температурным и технологическим режимам при различных способах обработки давлением различных цветных металлов и сплавов. Так же в учебном пособии приведены типовые технологические процессыковки и объемной штамповки металлоизделий из различных цветных металлов и сплавов.

Авторы уверены, что материалы данного пособия помогут студентам и выпускникам ВУЗов, специализирующихся в области обработки металлов давлением, и могут быть полезны для инженерно-технических работников предприятий по обработке давлением цветных металлов и сплавов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цветные металлы и сплавы: Справочник/ М.Б. Таубкин, С.А. Цукерман, Д.Г. Карпачев и др. - М.: Металлургия, 1975. – 500 с.
2. Справочник по обработке цветных металлов и сплавов/ А.П. Смирягин, Н.З. Днестровский, А.Д. Ландихов и др. – М.: Metallurgizdat, 1961. - 872 с.
3. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов/ А.В. Зиновьев, А.И. Колпашников, П.И. Полухин. – М.: Мир, 2019. - 926 с.
4. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов / А.В. Зиновьев, А.И. Колпашников, П.И. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1992. – 512 с.
5. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов. Раздел: Технология производства плоского проката из тяжелых цветных металлов и сплавов/ А. В. Зиновьев - М.: МИСИС, 1981. - 120 с.
6. Технология обработки давлением цветных металлов и сплавов. Раздел: Прокатка и прессование / Ю.П. Глебов, А.В. Зиновьев, Ю.И. Чумаков – М.: Учеба, 1981. – 73 с.
7. Обработка цветных металлов и сплавов давлением/ В.В. Жолобов, К.Н. Боговленский, М.Е. Зубцов и др. – М.: Metallurgizdat, 1955. - 487 с.
8. Новые технологии обработки давлением медных и цинковых сплавов. Учебное пособие/ Р.Л. Шаталов, Н.А. Мочалов, Н.Ш. Босхамджиев, Г.Н. Кручер - М.: Теплотехника, 2006. - 224с.
9. Теория волочения/ И.Л. Перлин, М.З. Ерманок - М.: Металлургия, 1971. - 448 с.
10. Волочение цветных металлов и сплавов/ М.З. Ерманок, Л.С. Ватрушин – М.: Металлургия, 1988. - 288 с.
11. Волочение проволоки из цветных металлов и сплавов / Г.С. Хаяк - М.: Металлургия, 1967. - 151 с.
12. Прессование цветных металлов и сплавов: Учебник для ПТУ/ Л.М. Грабарник, А.А. Нагайцев - М.: Металлургия, 1991. - 342 с.
13. Ковка и штамповка цветных металлов. Справочник/ Н.И. Корнеев, В.М. Аржаков, Б.Г. Бармашенко и др. - М.: Машиностроение, 1972. - 232 с.
14. Ковка и штамповка цветных металлов и их сплавов/ С.И. Губкин. – М.: Metallurgizdat, 1940. - 440 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Найзабеков Абдрахман Батырбекович, Лежнев Сергей Николаевич,
Айнабекова Сауле Серикбаевна, Койнов Тончо Атанасов,
Йорданова Розина Михайлова**

**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ЦВЕТНЫХ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Учебное пособие

Подписано к печати 14.04.2019 года. Формат 60×84 1/16
Объем 6,31 п.л. Тираж 100 экз. Заказ №55.