

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

В.Т. Станевич

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА

Учебное пособие

Павлодар
Кереку
2008

УДК 691.4(075.8)
ББК 38.31я73
С 76

**Рекомендовано к изданию Учёным советом
ПГУ им. С.Торайгырова**

Рецензенты:

Б.Ч. Кудрышова - профессор, канд. техн. наук;
О.К. Дюсебаев - профессор, канд. техн. наук.

Станевич В.Т.

С 76 Строительная керамика: учебное пособие / В.Т. Станевич. –
Павлодар : Кереку, 2008. – 96 с.

ISBN 9965-583-89-7

В учебном пособии приведены характеристики сырьевых материалов для производства керамических строительных материалов. Изложены основные способы подготовки, переработки и активации сырьевых материалов.

Представлены современные способы производства керамических строительных материалов. Показаны теоретические основы процессов протекающих при формовании, сушке и обжиге изделий строительной керамики.

Учебное пособие разработано в соответствии с типовой программой дисциплины «Технология строительной керамики» и предназначено для студентов и магистрантов специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций».

ISBN 9965-583-89-7

УДК 691.4(075.8)
ББК 38.31я73

© Станевич В.Т., 2008
© ПГУ им. С. Торайгырова, 2008

Введение

Впервые слово «керамика» появилось в языке эллинов и произошло от слова «керAMOS» (по гречески – глина). Понятие «керамика» распространилось на гончарное производство и искусство, на исходное сырье из которого изготавливались гончарные изделия.

На итальянском языке глину и вообще землю называют «террой», а слово «обожженная» звучит как «кота». «Терракота» - обожженная земля. Этот термин распространили на гончарную глину высшего качества и керамические изделия из нее.

Керамика – это кирпич, из которого возводят дома и различные сооружения, облицовочная плитка и кровельная черепица.

Керамика – это санитарно-технические фаянсовые изделия, керамзит, огнеупорные и электротехнические изделия.

Керамика – это роскошные сервизы и посуда, скульптура, сувениры и другие изделия.

Таким образом, керамика получила широкое распространение в строительстве, технике в быту и без нее невозможно представить существование человека.

К керамике относятся все виды материалов, полученные особым «керамическим» способом из глин и смесей глин с минеральными добавками или других минеральных масс, доведенных обжигом при высоких температурах (900-1100, а иногда и 2000 °С) до камневидного состояния.

Керамическая кирпичная стена отвечает самым высоким требованиям комфортности и долговечности, аккумулирует тепло, благоприятно воздействуя на климат жилища. Если комфортность деревянной постройки принять за единицу, то комфортность помещений из керамических материалов соответствует коэффициенту 0,7, из ячеистого бетона - 0,2, из силикатного кирпича - 0,1, из железобетона - 0,05 [1].

В странах Западной Европы керамические строительные материалы и изделия представлены огромным количеством наименований [2,3].

Объем выпуска керамических изделий и кирпича в России составляет более 50 % в общем балансе стеновых материалов, что объясняется их хорошими эксплуатационными свойствами и распространенностью сырья для производства. Однако выпуск изделий эффективной стеновой керамики составляет около 15 % от общего выпуска изделий этой группы. В Латвии, Литве, Болгарии,

Бельгии, Франции, Италии этот показатель составляет 34-90 %.

Производство эффективных пустотелых керамических стеновых изделий, по сравнению с производством полнотелого кирпича позволяет снизить расход сырья на 25-30 %, расход топлива на 10 % и более. Применение эффективных керамических изделий в строительстве, благодаря их пониженной теплопроводности, позволяет снизить толщину наружных стен зданий на 25-30% [4].

Сырьевая база Республики Казахстан по качеству и разведанным запасам позволяет производить эффективные и лицевые стеновые керамические материалы, кровельную черепицу, керамическую облицовочную плитку, изделия теплоизоляционной поризованной керамики, санитарно-технические и огнеупорные изделия.

Залогом получения керамических изделий высокого качества является естественная и технологическая обработка глинистых пород (зумпфование, вымораживание, подогрев, вакуумирование, ультразвуковая обработка и др.), а также его предварительная активация (механическая, биологическая и др.) [6].

Совершенствуются агрегаты тепловой обработки керамических изделий. На смену тоннельным печам приходят наиболее эффективные в плане обеспечения равномерности обжига изделий и расхода топлива на единицу продукции колпаковые циркуляционные печи НПП "Техстройкерамика" (ТЕСКА) ротационные печи и сушилки испанской фирмы "Индустриас пардинас", шахтные печи фирмы ШЛ (г. Омск), а также печи со съёмным сводом [1, 7].

Новые разработки и особенности производства наметились в лицевых керамических материалах, в том числе архитектурно-отделочных. Кроме традиционных способов — экструзия, штамповка - освоены методы объемного формования и виброобразования поверхности.

1 Сырьевые материалы

1.1 Глинистые породы

Глина — это продукт многолетнего разрушения полевошпатовых горных пород по реакции каолинизации: $R_2OAl_2O_3 \cdot 6SiO_2 + CO_2 + 2H_2O = Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + R_2CO_3 + 4SiO_2$.

Глинами называются "землистые обломочные горные породы, способные с водой образовывать пластичное тесто, по высыхании сохраняющее приданную ему форму". Согласно классификации сырье разделяется по размерам: глинистые частицы менее 0,005 мм; пылеватые - 0,050-0,005 мм; песчаные - 0,05-2,00 мм. Глинистые породы наиболее распространенная в природе группа осадочных пород (около 50 %). Глины содержат примеси других минералов. По вещественному составу (т.е. соотношению глинистых минералов и примесей) глинистое сырье разделяется на группы: глина, суглинок, супеси.

1.1.1 Классификация сырьевых материалов

Глина - природный землистый, тонкозернистый материал, содержащий 30 % и более глинистых частиц. Чаще всего глины полиминеральны, но могут быть сложены преимущественно и одним глинистым минералом.

Суглинки — тонкозернистая глинистая порода, содержащая 10-30 % глинистых частиц.

Супеси - это мелкообломочные горные породы с небольшим содержанием глинистых минералов от 3 до 10 %

Глины и суглинки с большим содержанием пылеватых частиц относятся к лёссовидным, в них содержание $CaCO_3$ более 10 %. Пылеватые определяют основные свойства глинистых пород.

Сланец - тонкослоистая порода, содержащая незначительное количество глинистых частиц, они обладают большей плотностью, чем глины. В измельченном виде после затворения водой сланцы обладают пластичностью и формующей способностью.

Отходы углеобогащения обладают недостаточно стабильными свойствами, но могут использоваться как основное сырье в производстве кирпича и керамических камней. Содержание оксидов в зависимости от месторождения, %: SiO_2 55—63; Al_2O_3 17- 23; Fe_2O_3 3—11; CaO до 3,8; R_2O до 2,7; содержание угля в пересчете на C 5—25. Отходы углеобогащения гравитационного процесса крупностью более 1 мм и флотационного крупностью менее 1 мм Донецкого, Кузнецкого, Карагандинского, Печерского, Экибастузского и других бассейнов относятся и группе с содержанием — 70 % глинистых

минералов.

Зола ТЭС состоит в основном из кислого алюмосиликатного стекла, аморфизированного глинистого вещества, кварца, полевого шпата, муллита, магнетита, гематита и остатков топлива. По нормам допустимое содержание остатков горючих в золе-уносе ТЭС должно находиться, % от массы золы: бурых углей и сланцев менее 4, каменных углей 3—12, антрацита 15—25.

В производстве кирпича золу с удельной поверхностью 2000—3000 см²/г используют в качестве основного сырья и в качестве отощающей и выгорающей добавки. В связи с повышенной влажностью и наличием шлака золу отвала перед подачей в производство необходимо подсушивать в естественных условиях и измельчать шлаковые включения. Удельная теплота сгорания золы в зависимости от содержания несгоревших частиц топлива 4200—12500 кДж/кг (1000-3000 ккал/кг). В глиняную массу вводят 15—45 % золы ТЭС. Предпочтение следует отдавать золам с низким содержанием СаО+MgO и температурой размягчения до 1200 °С.

Классификация глинистого сырья приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Классификация глинистого сырья по качественным признакам

Классификационный признак и показатель	Класс глин
1	2
Огнеупорность, °С:	
более 1580	Огнеупорные
1580-1350	Тугоплавкие
менее 1350	Легкоплавкие
Содержание Al ₂ O ₃ , %	
более 45	Высокоглиноземистые
35-45	Высокоосновные
28-35	Основные
14-28	Полукислые
менее 14	Кислые
Содержание преобладающего глинистого минерала:	
каолинит	Каолинитовые
гидрослюда	Гидрослюдистые
монтмориллонит	Монтмориллонитовые
гидрослюда+ каолинит	Гидрослюдисто-каолинитовые
Монтмориллонит каолинит	Монтмориллонито-каолинитовые

Продолжение таблицы 1.1

1	2
монтмориллоните гидрослюда	Монтмориллонито-гидрослюдистые
каолинит+ гидрослюда+монтмориллонит	Полиминеральные
Содержание частиц размером менее 10 мкм, % по массе:	
более 85	Высокодисперсные
60-85	Среднедисперсные
30-60	Низкодисперсные
менее 30	Грубодисперсные
менее 1 мкм:	
более 80	Высокодисперсные
40-60	Среднедисперсные
15-40	Низкодисперсные
менее 1	Грубодисперсные
Содержание частиц размером более 0,5 мм, % по массе	
менее 1	С низким содержанием
1-5	Со средним
более 5	С высоким
Содержание водорастворимых солей, мг-экв./ (100 г глины):	
более 10	С высоким содержанием
5-10	Со средним содержанием
1-5	С низким содержанием
Число пластичности по ГОСТ 212116.1-93	
более 25	Высокопластичные
15-25	Среднепластичные
7-15	Умереннопластичные
3-7	Малопластичные
Показатель коэффициента чувствительности:	
менее 1	Малочувствительные
1 — 1,5	Среднечувствительные
более 1,5	Высокочувствительные
Степень спекания, водопоглощение черепка, %:	
менее 2	Сильноспекающиеся
2-5	Среднеспекающиеся
более 5	Неспекающиеся
Температура спекания, °С:	
менее 1100	Низкотемпературного спекания
1100-1300	Среднетемпературного спекания
более 1300	Высокотемпературного спекания

1.1.2 Структура и свойства минералов

Глинистые минералы, составляющие основу пород, в большинстве своем имеют кристаллическую решетку.

Для глинистых минералов характерно 2 типа размещения атомов в кристаллической решетке - тетраэдрический и октаэдрический.

Вокруг катиона кремния (Si) на равных расстояниях, как бы в вершинах четырех правильных треугольников расположены 4 иона кислорода.

В основе октаэдрического типа структурных элементов лежит восьмигранник с гранями в виде правильных треугольников. В вершинах треугольников располагаются ионы O и гидроксильные ионы (OH), а в центрах октаэдров ионы алюминия или железа, магния, цинка, хрома и др.

Классификация глинистых минералов (на основании структуры, формы кристаллов):

1 Аморфные – группа аллофана $Al_2O_3 \cdot 8SiO_2 \cdot 5H_2O$.

2 Кристаллические.

2.1 Двухслойные.

2.1.1 Кристаллы изометрические – группа каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

2.1.2 Кристаллы удлиненные - группа галлуазита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \cdot nH_2O$.

2.2 Трехслойные.

2.2.1 С расширяющейся решеткой:

- кристаллы изометрические - группа монтмориллонита $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$;

- кристаллы удлиненные - конtronит, сапонит $Fe_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

2.2.2 С не расширяющейся решеткой - группа иллита (гидрослюда) $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$.

3 Минералы с правильным чередованием слоев разного типа.

4 Минералы цепочных структур, со строением в виде двух цепей тетраэдров (Si), связанных октаэдрическими группами O и OH с атомами Al и Mg (сетюлит и палыгорскит).

Объединенные тетраэдры создают тетраэдрические сетки, а октаэдры — октаэдрические.

Для каолинита характерна низкая обменная способность, малая усадка при высыхании, малое сопротивление сдвигу и низкая прочность в сухом состоянии. При нагревании каолинит разлагается, при 600 °C - теряет конституционную воду, а при 950 °C начинает

образовываться минерал муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$. Полное расплавление происходит при 1810°C .

В зависимости от того, какой элемент преобладает в тетраэдрах, возникают многочисленные разновидности монтмориллонита: Na - бентонит; Al — монтмориллонит; Mg - сапонит; Fe - нонтронит ($\text{H}_4\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_9$) железистый эквивалент каолинита. Малый размер и высокое содержание адсорбированных ионов во внутренне кристаллическом слое воды и на ребре кристалла обуславливают большое количество связанной воды. У монтмориллонита большая емкость катионного поглощения и пластичность.

Гидрослюды (иллиты) - K_2O , $\text{MgO}\cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 7\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ образовались в результате гидратации слюды - мусковита и биотита. Наиболее распространены железистые глины, реже маложелезистые беложгущиеся гидрослюдистые глины.

Кристаллическая решетка трехслойная - 2 тетраэдра и один октаэдр, расположенный между тетраэдрами.

Во многих тетраэдрах вместо Si находится Al. Замещение $\text{Si}^{+4} \rightarrow \text{Al}^{+3}$ приводит к тому, что слой гидрослюды оказывается электрически заряженным. Этот заряд уравнивается ионами K, которые располагаются между слоями, прочно связывая их, что способствует слабому набуханию.

Гидрослюдистые минералы содержат в своем составе щелочные и щелочноземельные металлы, поэтому они спекаются при пониженной температуре.

В природе чаще встречаются смешанные породы и их свойства резко отличаются от свойств мономинеральных глин.

Гидрослюдистые и каолинит - гидрослюдистые глины относятся к группе огнеупорных или тугоплавких глин, отличаются от каолинитовых более низкой температурой спекания ($1050\text{—}1250^\circ\text{C}$) и более высокой пластичностью (умеренно- или средне-пластичные), обычно малочувствительны к сушке и обжигу.

Наличие монтмориллонита способствует снижению огнеупорности и температуры спекания, увеличению дисперсности, повышению пластичности, чувствительности к сушке и обжигу.

Монтмориллонитовые глины обычно содержат кварц, оксиды железа, а также другие примеси и дают после обжига темный черепок. При содержании железистых до 1 %, а титана до 0,5 % обуславливает белый черепок, до 2 и 1 % - серый тон.

1.1.3 Коллоидные свойства

Комплекс коллоидных свойств системы "глина — вода" важен для керамической технологии, так как все способы производства связаны с сочетанием воды и глины в следующих пропорциях: пластический способ производства - 16-25 % воды, полусухой - 8-12 %, литьевой (шликерный) - 30-45 %.

При пластическом способе производства глинистые частицы покрыты слоем воды, она уменьшает трение между ними, обеспечивая легкое скольжение, относительно друг друга.

При полусухом способе частицы не набухают полностью и не сообщают массе пластичности и подвижности. Вода смачивает наружную поверхность глинистых частиц. Небольшое количество воды снижает трение между минеральными составляющими.

При литьевом способе - шликер представляет собой массу с малой концентрацией дисперсионной фазы, в результате частицы могут неограниченно перемещаться относительно друг друга.

Механические свойства такой суспензии характеризуются внутренним трением, препятствующим взаимному перемещению ее частиц и объемов относительно друг друга.

Глина обладает коллоидными свойствами:

- 1) броуновским движением (тепловое движение атомов и молекул);
- 2) эффектом Тиндаля (боковое расширение света);
- 3) под действием электрического тока глинистые частицы перемещаются, проявляя электрокинетический потенциал (разность потенциалов между прилегающим слоем и средой);
- 4) ионным обменом, сольватацией;
- 5) пептизацией, коагуляцией, тиксотропией;
- 6) набуханием и размоканием.

Глинистые минералы обладают свойством сорбировать некоторые анионы и катионы (в большей степени) и превращать их в обменные (т.е. ионы, способные обмениваться на другие анионы или катионы), реакции обмена имеют место и в неводной среде. Обменные реакции обычно не воздействуют на структуру и удерживаются на наружной поверхности структурных единиц глинистых минералов.

Состав обменных катионов глинистых пород можно изменить, управляя этими технологическими свойствами (формуемостью, пластичностью, текучестью, загустеваемостью, устойчивостью, стабильностью, коагуляцией и т.д.).

Добавление к глиняной суспензии небольшого количества электролитов значительно снижает ее вязкость, повышает

устойчивость при хранении, щелочи - увеличивает устойчивость, кислоты - приводит к коагуляции (свертыванию).

Энергетически заряженная коллоидная частица называется мицеллой.

Сольватация (гидратация) - взаимная связь глинистой частицы и воды. Глинистая частица в электрическом отношении несет отрицательный заряд, попадая в водную среду. Вокруг глинистой частицы создается силовое поле. Слои водной оболочки, окружающей глинистый минерал, физически неоднородны, а молекула воды имеет дипольное строение, концы ее электрически заряжены. Под действием силового поля молекулы воды ориентируются по направлению заряда и плотно окружают глинистую частицу, образуя мономолекулярный слой и далее полимолекулярный слой адсорбированной воды. Эти слои, сжатые под действием силового поля, образуют прочносвязанную воду, обладающую особыми свойствами, а затем рыхлосвязанную воду.

Пластичность - способность глины под действием внешних усилий принимать любую форму без разрыва сплошности и сохранять ее после прекращения действия этих усилий. Пластичное состояние является промежуточным между хрупким и вязко-текучим. Хрупкая масса при разрыве разрушается без изменения своего поперечного сечения, при вязко-текучем растекается под действием собственной массы.

Физический смысл пластичности - интервал влажности, в котором глина сохраняет пластичное состояние.

Набухание представляет начальный этап размокания. Величина набухания и скорость его различны для разных глин, от него зависит нормальная влажность и усадка. Каолин не обладает подвижной кристаллической решеткой, связывает мало воды и мало набухает. Монтмориллонит гидратируется особенно сильно, а гидрослюда занимает промежуточное положение.

Гидратные оболочки диспергируют глину и способствуют пептизации ее агрегатов на составляющие их первичные частицы. Оболочки адсорбционной воды отодвигают частицы друг от друга, вызывают значительное увеличение ее объема.

Пластичность глин зависит от их гранулометрического и минерального составов. Наибольшей пластичностью обладают монтмориллонитовые глины, наименьшей - каолинитовые. Запесоченность глин снижает пластичность.

Формуемостью керамической массы называют ее способность деформироваться без разрушения структуры. Количественной мерой

формуемости является $\text{ctg } \beta$ на диаграмме «пластическая прочность – влажность», который должен быть не менее 2. При $\text{ctg } \beta < 2$ глины формуются плохо.

1.1.4 Химический состав

Химический состав в значительной мере определяет пригодность глинистого сырья для производства определенных видов изделий. Примерное содержание оксидов в глинистых породах:

SiO_2 - 45-80 %; Al_2O_3 - 10-35 %; CaO - 0,5-25 %; MgO - 0-4 %; Fe_2O_3 - до 15 %; TiO_2 не более 1,5 %; Na_2O и K_2O - до 6 %.

Кремнезем (SiO_2) находится в связанном и свободном состоянии, в последнем случае — это примесь. Большое содержание SiO_2 свидетельствует о значительной запесоченности глинистых пород и приводит к снижению прочности спекшегося черепка.

Глинозем (Al_2O_3) находится в глинах, в основном в связанном состоянии. Обеспечивает глинам более высокую температуру обжига при значительном интервале спекания.

CaO и MgO обычно входят в состав карбонатов, в небольшом количестве участвуют в составе глинистых минералов. При высоких температурах CaO выполняет роль плавня, вступая в реакцию с кремнеземом и глиноземом, образуя эвтектические расплавы в виде алюмокальцийсиликатных стекол.

Оксиды железа (Fe_2O_3 , FeO) входят в состав глин в качестве примеси и являются активными плавнями, способствующими уменьшению интервала спекания глинистых пород.

Щелочные оксиды (Na_2O , K_2O) входят в состав некоторых глинообразующих минералов, но чаще всего это примесь, образующая растворимые соли и входящая в состав полевых шпатов.

Химический состав связан с минералогическим составом: повышенное содержание глинозема характерно для каолинита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); резко пониженное количество Al_2O_3 и повышенное SiO_2 характерно для монтмориллонита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Гидрослюда занимает промежуточное положение.

Химический состав является одним из критериев пригодности сырья для производства керамических изделий различного назначения.

1.1.5 Примеси и их влияние на технологический процесс

Примесями являются компоненты породы, не входящие в состав глинообразующих минералов. В примесях различают тонкодисперсную часть и включения. Согласно ГОСТ 9169-75

включениями считают зерна величиной более 0,5 мм. Мелкими считают включения менее 2 мм, средними - от 2 до 5 мм, крупными - более 5 мм.

К примесям относятся: кварц, железистые соединения, карбонаты, сульфаты, слюды и органические вещества.

Кварц - обычно присутствует в глинах в виде зерен размером до 20 мм. Содержание кварца для некоторых изделий ограничено и вместе с тем кварцевый песок может вводиться в состав шихты в качестве отощителя. Пылевидный кварц называется маршаллитом.

Песок (кварц) является важным противоусадочным агентом, значительно понижающим воздушную усадку, пластичность, связность, воздействие значительно с увеличением количества и крупнозернистости материала.

Влияние кремнезема на структуру черепка заключается в том, что при модификационных изменениях на границе определенных температур, в период нагревания и охлаждения, происходит изменение объема, связанное с появлением напряжений в черепке.

Железистые примеси: пирит, сидерит, оксиды и гидроксиды железа (лимонит, гидрогематит). Содержание этих соединений может достигать 14-16%.

Присутствие гидроксида железа в тонкодисперсном состоянии обнаруживается по желтой или бурой окраске.

Сидерит, углекислое железо при равномерном распределении в глине придает ей голубоватый или грифельно-серый цвет и содержится чаще всего в глинистых сланцах каменноугольного возраста. При температуре 700 °С он теряет углерод.

Пирит (FeS₂). Широко распространен во многих глинах каменноугольного периода. Как правило, глины, содержащие пирит, нежелательно использовать для производства керамических изделий. В тонкодисперсном состоянии соединения железа снижают огнеупорность глин, а в крупнозернистом - приводят к образованию выпловок на поверхности изделий, называемых «мушками».

При обжиге изделий в окислительной среде оксидные соединения железа не оказывают заметного влияния на качество обожженных изделий, обуславливая лишь их окраску от кремовых до красных тонов. При обжиге в восстановительной среде оксидные соединения при температуре $\leq 1000^{\circ}\text{C}$ восстанавливаются в закисные, которые обладая большой реакционной способностью образуют легкоплавкие железистые стекла (эвтектоидные расплавы), тем самым уплотняя черепок. Выделяющиеся при этом газы могут влиять на керамический черепок, аналогично карбонатам при диссоциации.

Карбонатные примеси встречаются в глинах: в тонкодисперсном состоянии, в виде тонкодисперсных частиц и в виде плотных каменистых включений.

Карбонаты, разлагаясь при обжиге по реакции: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, обуславливают повышенную пористость и некоторое понижение прочности черепка. При размерах карбонатов 1-2 мм образуются частицы извести, которые в процессе эксплуатации керамических изделий гасятся по схеме: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$, увеличиваясь в объеме и при этом проявляется брак – «дутик». Рыхлые скопления CaCO_3 при механической обработке легко разрушаются и превращаются в безвредную тонкодисперсную примесь. Во время обжига известь может поглощать из топочных газов сернистый ангидрит и образовывать сульфаты, которые выщелачиваются дождем и отлагаются на поверхности изделий в виде высолов в период их эксплуатации.

Тонкодисперсные карбонаты нейтрализуют отрицательное влияние оксидов железа, создавая дополнительный поток $\text{CO}(\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO})$ из внутренних слоев сырца к периферии, тем самым ускоряется процесс выгорания топлива.

Органические примеси при обжиге выгорают, обуславливая восстановительную среду внутри черепка. При 350-400 °С происходит выделение летучих и их сгорание, коксовый остаток выгорает при 700-800 °С. Горение его должно быть завершено, когда черепок пористый. Наличие в черепке черной сердцевины является результатом невыгоревшего углерода или восстановления железа.

Сульфаты натрия, магния, кальция, железа вызывают выцветы на керамических изделиях при их эксплуатации. Наиболее вредным является сульфат натрия.

Для борьбы с выцветами рекомендуется вводить в состав глиномассы фтористый натрий NaF , хлорное железо FeCl_3 , углекислый барий BaCO_3 и др. Благодаря обменной реакции: $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{BaCO}_3 = \text{BaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3$.

ионы SO_4 остаются в глине связанными, а растворимый карбонат натрия при обжиге реагирует с глинистыми минералами, выделяя CO_2 не образуя выцветов на поверхности изделия.

1.1.6 Отношение к нагреванию

Процессы, происходящие при обжиге, подразделяются на несколько стадий в зависимости от температуры и происходящих процессов:

1-я стадия до 100-110 °С-сушка;

2-я стадия 100-400 °С - подготовительный процесс;

3-я стадия 400-700 °С - дегидратация;
4-я стадия 700-1050 °С-обжиг.

1-я стадия - удаление физической воды. Этот процесс удаления воды является обратимым, и после затворения водой глинистое сырье, прошедшее сушку, обладает той же пластичностью, что и до сушки.

Процесс сушки зависит от минералогического состава глин. Например, монтмориллонитовое сырье медленнее и с трудом отдает влагу и сохраняет. В процессе сушки проявляются сушильные свойства: воздушная усадка, чувствительность глин к сушке и теплопроводные свойства глин.

При высыхании изделие уменьшается в размерах и дает воздушную усадку. Причиной ее возникновения являются силы капиллярного давления (при высоких влажностях изделий) и силы осмотического давления и межмолекулярного притяжения (при пониженных влажностях).

Величина воздушной усадки рассчитывается по формуле, %

$$I_{\text{воз}} = [(l_0 - l_1) / l_0] \cdot 100, \quad (1.1)$$

где l_0 , l_1 - соответственно начальная длина и длина образца после сушки.

Величина относительной воздушной усадки колеблется в пределах 2-8 %. Дисперсные глины имеют большую усадку, запесоченные глины - меньшую. Для уменьшения величины усадки используют добавки - отошители: песок, шамот, дегидратированная глина и др.

Монтмориллонитовые глины обладают большей усадкой, каолинитовые - меньшей. Величина усадки зависит от режима сушки, естественная сушка (медленная) способствует большей усадке, естественный режим сушки - меньшей. Воздушная усадка зависит от начальной влажности.

Сушка включает три фазы: перемещение влаги внутри материала, парообразование и перемещение водяных паров с поверхности.

Чувствительность глин к сушке определяет способность сырца противостоять внутренним напряжениям, развивающимся в процессе удаления влаги.

Причиной возникновения трещин и коробления изделий является неодинаковая величина усадки по сечению и по поверхности изделия, в результате чего на его поверхности или внутри изделия

возникают напряжения. Когда их величина превосходит предел, при котором начинается разрушение материала, образуются трещины.

Показателем трещиностойкости глин к сушке является коэффициент чувствительности

$$K_r = V_y/V_n, \quad (1.2)$$

где V_y - объем усадки; V_n - объем пор.

Опыт исследований показал, что глина с $K_r < 0,5$ также растрескивается при сушке. Трещиностойкость зависит от прочности, растяжимости, коэффициента усадки, влагопроводности. С повышением коэффициента усадки трещиностойкость снижается, а с повышением влагопроводности увеличивается. Запесоченные глины менее чувствительны к сушке, чем глины с большим содержанием глинистых частиц (жирные). Тонкодисперсный песок сильно отощает глину, снижает ее усадку, но снижает прочность и растяжимость. Такое сырье имея низкий K_r , оказывается нетрещиностойким.

2-я стадия от 100 до 400 °С - подготовительная. В этот период происходит ослабление кристаллической решетки глинистых минералов и подготовка к следующему процессу.

3-я стадия от 400 до 700 °С - дегидратация. Свойства, которые проявляются в процессе превращения глины в камнеподобный черепок, называются термическими. В этой стадии происходит потеря химически связанной воды для каолина по формуле: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O = Al_2O_3 - 2SiO_2 + 2H_2O \uparrow$ с получением метакаолинита. Этот процесс является необратимым и сдвигается в ту или иную сторону, в зависимости от скорости нагрева. При этом происходит увеличение прочности, улучшение сушильных свойств. В процессе обезвоживания выделяется значительное количество влаги. Монтмориллонит теряет 5-6 % химически связанной воды (2/3 всей влаги), каолин- 13 %.

4-я стадия от 700 до 1050 °С. В этот период происходит разложение метакаолинита с образованием аморфного кремнезема по схеме:



Начиная с 900 °С глинозем вновь соединяется с кремнеземом, но уже в других соотношениях с образованием муллита $3(Al_2O_3 + 2SiO_2) = 3Al_2O_3 - 2SiO_2 + 4SiO_2$ дальнейшим обогащением системы аморфным кремнеземом. Аморфный кремнезем, обладая большой реакционной способностью уже при температуре 750- 800 °С, вступает в соединения с флюсующими плавнями, образуя жидкую

фазу - силикатные стекловидные расплавы. С увеличением температуры процесс накопления жидкой фазы интенсифицируется.

При спекании проявляется огневая усадка, которая рассчитывается по формуле, %

$$I_{огн} = [(l_c - l_{ог})/l_0] \cdot 100, \quad (1.3)$$

где l_c , $l_{ог}$ - соответственно линейные размеры абсолютно сухого и обожженного образцов.

Огневая усадка колеблется в пределах 1-8 %. Монтмориллонитовые глины имеют большую огневую усадку по сравнению с каолиновыми. Щелочные и железистые оксиды увеличивают усадку в восстановительной среде.

Уплотнение при обжиге легкоплавких и тугоплавких глин начинается при температурах около 800 °С, без признаков деформации и с заметным уменьшением количества открытых пор. Подобное состояние называется **началом спекания**. Способность к спеканию возрастает при увеличении температуры и количества легкоплавких соединений.

При дальнейшем повышении температуры различные глины в различных температурных интервалах сохраняют состояние спекания. Вслед за этим наступает вспучивание, а затем размягчение и плавление. Температура, при которой глина переходит в текучее состояние, называется температурой плавления или **степенью огнеупорности**.

Степень спекания характеризуется температурным интервалом спекания и интервалом спекшегося состояния. Интервал спекания - разность между температурами полного расплавления смеси и эвтектической температурой.

Температурный интервал обжига - период температур, обеспечивающий получение изделий с требуемыми свойствами.

Оксид кальция резко понижает интервал спекания. Щелочные оксиды, в особенности Na_2O , расширяют интервал спекания. У каолиновых глин интервал спекания выше, чем у монтмориллонитовых.

Запесоченность глин снижает их интервал спекания. Наименьшим интервалом спекания обладают легкоплавкие глины (50-100 °С), наибольший интервал спекания у огнеупорных глин (до 400°С).

Изделия полусухого прессования из легкоплавкого сырья имеют меньший показатель интервала спекания по сравнению с

пластическим, что объясняется недостаточным контактом между отдельными частицами формовочной смеси с изделиями пластического формования.

На процессы спекания оказывает влияние газовая среда. Среда считается нейтральной - при избытке воздуха по отношению к теоретическому не превышает 1,5-2,0 %; окислительной - содержит 2-5 % избытка кислорода; сильноокислительной - до 10 %; восстановительной - до 1 %.

1.1.7 Особенности глинистого сырья для стеновой керамики

Для изготовления изделий стеновой керамики используют в основном легкоплавкие глинистые породы и корректирующие добавки [3, 8-12].

Применяются глинистые породы со значительным диапазоном гранулометрического, химического и минералогического составов. По пластичности наиболее пригодны умеренно-пластичные глины с числом пластичности $\Pi = 7-15$. Малопластичные глины ($\Pi < 7$) плохо формуются, изделия из глины с числом пластичности более 15 образуют большое количество трещин при сушке и требуют корректировки их свойств отощающими добавками. Содержание грубых включений (размеры более 2 мм) не должно превышать 10 %. Огневая усадка кирпичных глин в большинстве случаев не превышает 3 %, а интервал спекания - не более 50 °С.

Гарантированное выделение из глины каменистых включений, в том числе и известковых, обеспечивает шликерное обогащение глины, а их обезвреживание - многоступенчатая обработка сырья вальцами с зазором на последней ступени - 0,5-0,7 мм.

В производстве пустотелых и высокопористых керамических изделий используют в основном легкоплавкое глинистое сырье с низкой чувствительностью к сушке.

Химический состав глинистого сырья колеблется в широких пределах (%): SiO_2 - 45-85; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ - 7-28; Fe_2O_3 - 2-14; CaO - 0,5-20; MgO - 0,2-4; R_2O - 0,3-7; п.п.п. 3-15; SO_3 - не более 0,8.

Гранулометрический состав сырья характеризуется большим разнообразием. Содержание отдельных фракций в большинстве глиносодержащих пород, (%): глинистых - 7-25; пылеватых - 30..60; песчаных - 25-30.

К сырию предъявляются особые требования по гранулометрическому составу, так для пустотелых и пористых материалов содержание фракций меньше 2 мкм должно быть не ниже 24 %, а для улучшения сушильных свойств - не выше 50 %, содержание фракций размером 2-20 мкм - 30-47 %, что способствует

лучшему уплотнению массы и повышению прочности изделий. Содержание фракций размером более 20 мкм допускается в пределах 6-34 %. Кроме того, сырье для керамического кирпича и камней должно иметь хорошую формуемость, обеспечивать сушку полуфабрикатов без деформаций и трещин, а после обжига - достаточную прочность и другие свойства изделий согласно требованиям ГОСТ 530-95 "Кирпич и камни керамические. ТУ".

В Республике Казахстан основным сырьем служат глины и суглинистые породы.

В таблицах 1.2, 1.3 представлены химический состав и основные свойства глинистого сырья Республики Казахстан, в том числе Павлодарской области.

Таблица 1.2 – Химический состав глинистого сырья

Месторождение	Содержание оксидов, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	п.п.п.
Республика Казахстан							
1 Темиртауское	56,08	13,40	4,30	1,74	1,00	3,90	3,25
2 Петропавловское	75,68	11,50	2,67	2,05	0,27	2,55	4,22
3 Акмолинское	57,20	19,97	9,56	2,05	0,27	4,70	7,29
4 Айнабулакское	53,32	13,95	4,01	5,95	3,01	6,60	9,14
Павлодарская область							
5 Калкаманское	60,23	18,73	6,00	1,28	1,10	4,80	9,73
6 Красноармейское	75,46	13,43	2,67	1,37	0,72	4,52	3,71
7 Мойское	68,97	16,00	2,50	1,37	1,47	4,28	3,25

Таблица 1.3 – Технологические свойства

Месторождение	Формовочная влажность, %	Число пластичности	Предел прочности высушенных образцов при изгибе, МПа	Усадка, %	
				Воздушная	Огневая
1	2	3	4	5	6
Республика Казахстан					
Темиртауское	23	28,6	2,2	9,3	1,2
Петропавловское	22	11,4	1,9	6,2	0,2
Акмолинское	21,5	18,9	2,5	8,8	0,4
Айнабулакское	24	28,7	1,6	7,4	2,4
Павлодарская область					
Калкаманское	21	20,0	1,6	7,6	0,1
Красноармейское	22	10,2	1,4	10,5	0,5
Мойское	20	13,9	1,42	10	1,3

Основными примесями в глинистых породах казахстанских месторождений являются кварцевый песок, карбонаты, сульфаты, слюды, железистые соединения, органические примеси.

Количество карбонатных включений размером более 1 мм в глинистой массе не должно превышать показателей, приведенных в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Содержание карбонатных включений

Размер карбонатных включений, мм	Содержание карбонатных включений, % по массе, в зависимости от их активности (содержание CaCO ₃ +MgCO ₃ в карбонатных включениях. %)		
	Высокоактивные (более 70)	Среднеактивные (50-70)	Малоактивные (менее 50)
от 0,5 до 1	0,5	0,8	3,0
от 1 до 2	0,1	0,4	2,0
от 2 до 3	0,05	0,1	0,5
более 3	Не допускается		

При наличии в сырье карбонатных включений в количествах более указанных в таблице или размером более 3 мм пригодность породы определяют по результатам полузаводских испытаний.

Для ликвидации или уменьшения вредного действия карбонатных включений на качество готовых изделий применяют несколько способов: интенсивную обработку сырья на каскаде валцов с зазором 2-3 и 2-1 мм; сухую подготовку сырья (подсушку и измельчение до размера 1-2 мм); на 5-10 мин погружение изделий в воду сразу после обжига; введение в шихту 0,3-0,5 % NaCl или CaCl₂; тонкое измельчение карбонатов в пластических массах за счет среза с применением измельчителя.

1.2 Добавки - регуляторы свойств глинистых пород

В производстве стеновой керамики в зависимости от природных свойств глины используют следующие виды добавок: отошители, пластификаторы, флюсующие (плавни), топливосодержащие, регулирующие высолы на его поверхности, окрашивающие. В большинстве случаев введение добавок оказывает комплексное влияние.

В качестве **отощающих добавок** используют песок, шамот, дегидратированную глину, тонкомолотый шлак, золу ТЭС и др. в количестве от 10 до 30 % по массе.

Кварцевый песок — распространенный отощитель. При обычных температурах обжига изделий он не взаимодействует с расплавом и тем самым способствует устойчивости изделий при сушке и обжиге.

Древесные опилки армируют глиняную массу, улучшают формовочные свойства, повышают трещиностойкость при сушке, однако снижают прочность изделий и повышают их водопоглощение. Более эффективно применять 5—10% опилок в сочетании с минеральными отощителями.

Отвальные и гранулированные шлаки черной и цветной металлургии, топливные шлаки снижают чувствительность сырца к сушке, повышают трещиностойкость и улучшают процесс обжига.

Пластифицирующие добавки используют для придания малопластичному (тощему) глинистому сырью необходимой формуемости, улучшения сушильных свойств и получения прочных изделий. В качестве пластифицирующих и одновременно обогащающих добавок применяют высокопластичные, тонкодисперсные, огнеупорные или тугоплавкие глины, отходы добычи и обогащения углей, бентонитовые глины, а также органические и ПАВ, электролиты. СДБ, технический лигнин, триэтанолламин. Высокопластичные глины добавляют в количестве до 5 %, лигносульфонаты в виде растворов - 0,3-0,5 % в расчете на сухое вещество. Они повышают пластичность сырья благодаря образованию на поверхности глинистых частиц адсорбционных пленок, играющих роль смазки. Наиболее эффективный способ введения пластифицирующих добавок — в виде шликера или суспензии вместе с водой затворения.

В качестве корректирующих шихту добавок в производстве изделий стеновой керамики могут использоваться экологически безвредные отходы производства и специально приготовленные добавки [8, 13, 14].

Выгорающие добавки выгорают при обжиге изделий. К таким добавкам относятся: древесные опилки, каменные и бурые угли, отходы углеобогажительных фабрик, золы ТЭС, гидролизный лигнин и др. Количество добавок в шихте составляют 2,5-15 % по объему.

Флюсующие добавки (плавни) снижающие температуру обжига изделий в результате взаимодействия с основной керамической массой и образованием легкоплавких соединений, способствуют появлению жидкой фазы при обжиге изделий при более низких температурах в результате образования с компонентами основного сырья низкотемпературных эвтектик. В качестве

флюсуемых добавок используют тонкомолотый бой стекла, шлаки, пиритные огарки нефелин-сиенитовый концентрат, перлит, доломиты, диабазы, альбитофиры, полевые шпаты и др.

К окрашивающим добавкам относят тонкомолотые светложгущиеся глины, марганцевые, железные и фосфорные руды, карбонатные породы и др. Подготовка добавок сводится к измельчению или просеиванию их до заданного зернового состава.

1.3 Новые виды керамического сырья

Цеолиты - это каркасные алюмосиликаты, в структуре которых имеются сообщающиеся между собой полости, занятые катионами различных элементов (чаще щелочных и щелочноземельных) и молекулами воды, способными свободно удаляться и поглощаться структурой, благодаря чему происходит ионный обмен и обратимая дегидратация без разрушения структуры. Структура цеолитов обуславливает уникальность их свойств: молекулярно-ситовой эффект, высокую ионообменную, сорбционную и каталитическую способность.

Одним из первых диагностических признаков цеолитов являлось «вскипание» при их быстром нагревании до пиропластического состояния или расплавления, что нашло отражение в названии этих минералов. Термин "цеолит" в переводе с греческого означает кипящий камень («zeo» - вскипаю и «lithos» - камень). Плотность цеолитов составляет 1,9-2,3 г/см³. Свободный объем или открытая пористость дегидратированных цеолитов изменяется в широких пределах от 0,18 до 0,53 см³ в 1 см³ кристалла или 18-53 % по объему, что определяет степень эффективности применения цеолитов в процессах сорбции и ионного обмена [15].

Мелкокристаллическая структура цеолитовых пород, обеспечивающая псевдопластические свойства керамическим массам на их основе, позволяют рассматривать эти породы наряду с традиционными глинами, в качестве керамического сырья. При наличии большого количества глинистых минералов в туфе они могут обладать достаточными формовочными свойствами без добавления пластифицирующих материалов. Цеолитизированные породы, спекающиеся при 1000°С, являются наиболее перспективными для изготовления строительных керамических материалов.

Диопсид - (CaO MgO 2SiO₂) относится к числу важнейших породообразующих минералов, широко распространенных в природе и принадлежит к группе пироксенов, включая подгруппу пироксенов моноклинной сингонии - клинопироксенов. Они имеются в составе

всех генетических групп эдогенных горных пород - магматических, метаморфических и контактово (гидротермально) - метасоматических.

По преобладающему составу различаются магнезиально-железистые, кальциевые, натриево-кальциевые, натриевые и литиевые клинопероксены. Значительную часть клинопероксенов (кальциево-железемагнезиальные, безнатриевые) в первом приближении можно считать членами четырехкомпонентной системы $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ - $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ диопсид-геденберgit, MgSiO_3 - FeSiO_3 клиноэнстатит-клиноферросилит.

Диопсиды железистой группы представляют собой породу зеленоватого цвета с суммарным содержанием Fe_2CO_3 , TiO_2 и MnO от 4 до 8 %; Al_2O_3 - 1,5-4 %; R_2O -0,3-0,4 %.

Химический состав безжелезистых диопсидов колеблется в следующих пределах, мас. %: SiO_2 - 51-77; CaO - 12-27; MgO — 7-15; Al_2O_3 -0,2-0,25; R_2O - 0,1-0,18; п.п.п - 1,2-2,1.

К технологическим достоинствам диопсида относятся очень высокие диэлектрические характеристики при хороших физико-механических свойствах, сравнительно невысокая температура плавления и небольшие значения коэффициента термического расширения, отсутствие полиморфных модификаций. Расплавы и стекла на основе диопсида отличаются активной кристаллизационной способностью.

Исследованиями влияния добавок диопсида на спекание и свойства плиточных масс установлено, что введение диопсидного компонента в состав майолики и фаянса существенно улучшает их свойства, при этом температура обжига снижается до температуры, близкой к 1100 °С [16].

Волластонит β - $\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$ - имеет цепочное строение с кольцевым радикалом Si_3O_9 , с периодом по оси равным 0,73 Нм. Теоретически в волластоните содержится CaO - 48,25 %, SiO_2 -51,75% [9].

При нагревании β -волластонит переходит в α -волластонит с изменением плотности от 2,87 до 3,09 г/см³. Температура плавления волластонита составляет 1540 °С. Коэффициент линейного расширения β -волластонита $6,5 \cdot 10^{-6}$ и α -волластонита $11,8 \cdot 10^{-6}$

Волластонитовая порода требует обогащения, так как содержание волластонита составляет в ней часто не более 25 %.

Основной объем добываемого волластонита используется в керамике. В Японии применяют также в изоляционной промышленности в виде пеноволластонита.

Технологическая ценность волластонита состоит в значительном снижении влажностного расширения черепа после

обжига, в массу которого был добавлен волластонит.

Кроме того, наблюдается уменьшение усадки почти вдвое и увеличение прочности керамического черепка.

Введение волластанита в глазури способствует хорошему их разливу, придает им блеск и прочность.

1.4 Регулирование технологических свойств глиномасс

Технологический процесс производства керамического кирпича и камней является процессом создания и непрерывного изменения структуры массы: измельчение, смешивание, переминание при обработке; образование коагуляционной структуры и деформирование при формовании; потери влаги и уменьшение размеров после сушки; образование кристаллизационной структуры и усадка в результате обжига.

Суммарная деформация глин и керамических масс состоит из деформаций: двух обратимых, протекающих с различными скоростями и исчезающих после снятия нагрузки, и одной необратимой (пластической). Эти деформации развиваются одновременно, но по величине различно сочетаются между собой в деформационном процессе.

Относительные деформации - быстрая эластическая, медленная эластическая и пластическая, определяют в зависимости от их соотношения структурно-механический тип дисперсий.

Хорошо формуются только те глинистые породы, у которых в деформационном процессе преобладают медленные эластические деформации. У большинства глин формовочные свойства неудовлетворительны, поэтому рекомендуется вводить добавочные минералы. Добавка глин-пластификаторов, отощителей, введение малых количеств электролитов и поверхностно-активных веществ, способствуют значительному улучшению формовочных свойств кирпичных масс и качеству готовой продукции.

Управлять механическими свойствами коагуляционных структур глинистых минералов можно, увеличивая или уменьшая дисперсность частиц и толщину их гидратных пленок.

Добавки электролитов, вызывая катионный обмен на глинистых минералах, влияют главным образом на дисперсность частиц и толщину гидратных пленок, что позволяет в весьма значительных пределах изменять структурно-механические константы.

Основой управления технологическими свойствами кирпичных масс является технологический процесс, определяемый воздействием различных внешних факторов: физико-механической модификации

поверхности (физико-химические процессы в массе, введение добавок, составление смесей), механической обработкой в агрегатах, воздействием давления и, наконец, температурой.

Выбор обрабатывающих машин, их расстановка в технологической линии, определяющая наиболее эффективную последовательность разнообразных механических воздействий на обрабатываемую массу, правильное чередование механических и физико-химических (образование гидратных пленок, диспергирование глинистых частиц, завершение этих реакций во всем объеме обрабатываемой массы) воздействий, определяют в итоге качественные показатели технологического процесса.

Суглинки обладают низкими структурно-механическими характеристиками и плохо формируются.

Введение структурирующих добавок в лессовидный суглинок переводит глиномассы на его основе в область с более высокими структурно-механическими характеристиками, которые позволяют получать прочные, надежные структуры, предопределяющие более высокую устойчивость сырца в сушке.

Технологические свойства суглинков и суглинистых шихт с добавкой гранитного песка улучшаются. Повышается связующая способность, прочность обожженных образцов при оптимальных дозировках добавки (5-10% по объему). Существенная роль в повышении прочности изделий в шихте с гранитным песком отводится глинистой составляющей, которая обволакивает зерна гранитного песка. Введение пластифицирующих добавок (ЩАД, ЛСТ, СДБ) в лессовидные суглинки значительно улучшает технологические свойства сырья. При этом обеспечивается увеличение пластичности в 2-2,5 раза, эластичности в 1,5 раза, что переводит глиносмеси в область хорошо формирующихся. Происходит снижение коэффициента чувствительности к сушке с 1,1 до 0,7-0,75, линейной воздушной усадки на 2-2,5 %, и повышение связующей способности и прочности обожженного черепка.

К добавкам комплексного характера можно отнести отход химической переработки древесины - гидролизный лигнин.

Состав лигнина определяет комплексный характер его действия на керамические массы: он не только улучшает пластичность сырья, но и увеличивает прочность отформованных изделий за счет армирующего эффекта, а на стадии обжига изделий лигнин выполняет роль выгорающей добавки, способствующей повышению пористости и снижению величины средней плотности изделий [13].

Современным направлением регулирования технологических

свойств керамических масс и пресс-порошков можно признать использование тонкодисперсных минеральных добавок из горных пород (цеолиты, диопсиды и др.), также отходов производства (микрокремнезем и др.) величиной удельной поверхности более 4000 см²/г. Такие компоненты корректируют фракционный состав и обеспечивают улучшение их сушильных и обжиговых свойств.

2 Способы повышения качества глинистых пород

Для повышения качества керамических изделий разработано значительное количество способов управления механическими и физико-химическими свойствами глинистых пород, конечной целью которых является разрушение их природной структуры. Процессы направленного структурообразования в таких системах возможны лишь в условиях непрерывного разрушения структур с обратимыми (по прочности) контактами между частицами дисперсной фазы. Изменение энергетического состояния вещества при этом принято называть активизацией.

Известны следующие технологические и физико-химические способы воздействия на глинистые породы с целью улучшения их качества:

- механическая дезагрегация сырья;
 - пластическая переработка глинистых дисперсий;
 - вылеживание предварительно переработанной массы;
 - паропрогрев массы;
 - вакуумирование формовочной массы;
 - обработка гидрофильными и гидрофобными ПАВ;
 - ионный обмен на поверхности частиц глинистых минералов;
- дегидратация;
- ультразвуковое диспергирование;
 - электроимпульсная обработка в водной среде.

После отмеченных воздействий достигаются следующие эффекты соответственно указанным способам:

- разрушение природной структуры и повышение дисперсности сырья;
- образование более прочных связей между частицами, повышение пластичности, прочности и улучшение формовочных свойств;
- ускорение процесса самодиспергирования агрегатов и повышение пластичности;
- уменьшение вязкости дисперсий, уменьшение формовочной

влажности, снижение чувствительности к сушке и повышение прочности готовых изделий;

- уменьшение формовочной влажности, улучшение формовочных свойств, повышение прочности высушенных и обожженных изделий;

- дегидратация и применение ПАВ изменяют поверхностные свойства минералов.

Последние четыре способа, несмотря на физико-химическую эффективность, практически не применяются из-за их низкой технологичности, повышенной энерго- и металлоемкости.

Способы активации глинистого сырья в технологии стеновой и строительной керамики в зависимости от характера воздействия подразделяют на физический, механический, химический, биологический, и комплексный [6,17,18].

2.1 Физическая (естественная и технологическая) обработка глинистых пород

На стадии глиноподготовки и формирования шихты при пластическом способе применяют следующие технологические приемы, способствующие повышению качества сырца и готовых изделий [8].

Вымораживание глинистой породы обладает высокой технологической эффективностью. Сущность способа заключается в том, что разрыхленную породу замачивают и в таком состоянии подвергают примерно годичному вылеживанию на открытом воздухе.

Под влиянием многократных циклов замораживания и оттаивания вода, замерзая в мельчайших капиллярах глиняных частиц и увеличиваясь при этом в объеме, разрушает связи между ними, диспергируя частицы глины. Вследствие этого возрастает удельная поверхность глинистых частиц, более полно завершаются процессы набухания, увеличивается количество связанной воды, обуславливающей более высокую прочность изделий из глинистого теста и улучшаются их формовочные и сушильные свойства.

Зумпфование - является распространенным способом активации глинистого сырья вылеживанием, когда добытая летом глина складывается в бурты шириной 1,5-2,0 м, высотой 0,75-1,00 м и заливается водой. В течение 3-4 лет глина подвергается воздействию природных факторов, включая замораживание и оттаивание, увлажнение и высушивание. Изменение структуры природного сырья и его реологических свойств при этом происходит за счет адсорбционного понижения прочности. В результате этого процесса

улучшаются формовочные и сушильные свойства глины и снижается брак при формовании, сушке и обжиге изделий. Вылеживание глины повышает производительность глиноперерабатывающего оборудования и пресса на 20 % и примерно в такой же пропорции снижает расход электроэнергии.

Наличие микротрещин позволяет жидкости проникать в поверхностный слой материала и образовывать в трещинах тончайшие пленки, обладающие значительным избытком свободной энергии, возрастающим с уменьшением толщины пленки. Чтобы уменьшить свободную энергию, пленка жидкости стремится "утолститься" в микротрещине, оказывая расклинивающее давление на стенки трещины.

Кинетика всасывания зависит от вязкости жидкости, поэтому для интенсификации процесса разрушения следует добавлять ПАВ или электролиты. Для каждого минерала существуют свои, наиболее эффективные добавки: для кварца $AlCO_3$, $NaCl$, $MgCO_3$, - нафтенное мыло; для глинистых минералов - $NaCl$.

Физическая активация сырья вылеживанием улучшает технологические свойства сырья, но не обеспечивает удаления крупных посторонних и карбонатных включений, не эффективна при плотных и вязких глинистых породах, требует больших площадей и времени.

К физическим способам активации можно отнести также методы, которые в настоящее время выполнены только на уровне лабораторных исследований: обработка дисперсий высоковольтным импульсным разрядом, магнитная обработка воды затворения, использование ультразвука и др.

Подогрев массы. В глиносмесителе осуществляют паро- или газопрогрев глиномассы при температуре $50-80^{\circ}C$ через систему нагревательных трубок, что облегчает работу головки пресса и подготавливает отформованное изделие - сырец к более быстрой сушке.

Вакуумирование. При формовании керамического кирпича и камней используют пресса с вакуум-камерой, в которой создается разрежение порядка 600-740 мм рт. ст. при этом происходит удаление воздуха и частично паров воды из глиномассы, благодаря чему масса становится прочнее в сушке и обжиге. При вакуумировании уменьшается на 1-2% влажность глиномассы и на 25-30 % уменьшается усадка керамических изделий при сушке и обжиге. Необходимо отметить, что при формовании более пластичных масс вакуумирование должно быть более глубоким.

Виброформование. Технологический прием решения задачи устранения свилеватости в отформованных изделиях. При этом осуществляется вибрация глиномассы при движении в головке и мундштуке пресса. Вибрация способствует своеобразному разжижению глиномассы по всему объему.

В настоящее время теория изменения тиксотропных свойств глиняных масс при действии на них вибрации практически не исследована [9].

2.2 Механические способы активации

Перспективным способом активации сырья в технологии стеновой и строительной керамики является механический. Для разрушения природной структуры и улучшения керамико-технологических свойств глинистого сырья и добавок применяются следующие способы измельчения: «свободный» удар (дезинтегратор, молотковая дробилка, шахтная мельница); "стесненный" удар (шаровая и стержневая мельницы); сжатие (валковая дробилка); сжатие со сдвигом (бегуны).

Работа дезинтеграторов, молотковых дробилок приводит к большому пылеобразованию. Шахтная молотковая мельница приводит к высокому расходу электроэнергии. Ударная обработка материала значительно ускоряет процесс обжига изделий.

Активационное диспергирование в струйной мельнице, не вызывая существенного увеличения дисперсности монтмориллонита и гидрослюды, приводит к увеличению числа пластичности на 25-40 %, снижению огнеупорности на 20-120 °С, переходу сырья из группы среднеспекающегося в группу сильноспекающегося.

Активация сырья при полусухом прессовании. Тонкое измельчение в производстве керамического кирпича полусухим способом прессования - одно из наиболее эффективных средств подготовки сырья перед последующими операциями. Оно позволяет не только существенно изменять технологические свойства глин, но и влиять на ход термических превращений в порообразующих минералах. По своим последствиям методы диспергирования можно разделить на три группы.

К первой группе относится механическая активация сырья в агрегатах с удельной энергонапряженностью от 3,8 до 18,2 кВт/т: в дезинтеграторах (Д-1350), валковых (ДГ-1000*), молотковых (ДСА-1) и конусных дробилках (КСД-900).

Недостатки такой схемы переработки: нестабильность гранулометрического состава порошка, неравномерная

пофракционная влажность, сложность применения корректирующих добавок, запыленность и загазованность помещений.

Чаще всего перед помолом требуется дробление и подсушка сырья, а его измельчение обеспечивает дисперсность содержание частиц (менее 0,5 мм) до 50 %. Такой помол эффективен для устранения вредного влияния карбонатов, если их массовая доля не превышает 5 %.

При механической активации не наблюдается глубоких изменений структуры и химического состояния вещества. В процессе помола в основном происходит незначительная поверхностная аморфизация минеральных зерен, а сырье аккумулирует часть приложенной механической энергии и оно становится более реакционноспособным.

Ко второй группе активационного диспергирования можно отнести механотермическую активацию в агрегатах, где одновременно происходит сушка сырья до влажности 2-3 % и его измельчение до дисперсности менее 0,08 мм. Такой помол реализуется в агрегатах с удельной энергонапряженностью 7,5-16 кВт/т с использованием теплоносителя температурой 200-400 °С: мельницы (стержневая МСМ 2,7х3,6), шаровая (ШБМ 320/570), молотковая (ММТ 1300/2030/735 МН), измельчительно-сушильный агрегат (ИСА-10), установки Spin-flash и др.

Опыт промышленной эксплуатации данных агрегатов показывает, что механотермическая активация снижает чувствительность сырья к сушке на 25-40 % (за счет его частичной дегидратации) и устраняет вредное влияние карбонатов при содержании их в суглинках до 20 %.

К последствиям механотермической активации можно отнести увеличение степени аморфизации минералов и дефектов их структуры. Наибольшей деструкции подвергаются глинистые минералы, хлорит, кальцит. При обработке сырья в агрегатах вихревого типа (ИСА-10, "Spin-flash" и др.) происходит трибозарядка частиц разными знаками за счет трения (кварц - положительно, глинистые, полевошпатные, железистые минералы - отрицательно), следствием чего является образование гетероминеральных агломератов по типу "оболочка-ядро".

К третьей группе активации следует отнести механохимическую активацию, которая приводит к глубоким изменениям структуры и фазового состава вещества. Она достигается в агрегатах с очень высокой энергонапряженностью, порядка 100-250 кВт/т: в атриторах, газо- и пароструйных и планетарных мельницах,

установках «Novotor» (Германия). Степень помола в них достигает величин порядка 0,01-0,005 мм. Установлено, что механохимическая активация сырья приводит к увеличению числа пластичности на 25-40 %, снижению огнеупорности на 50-120 С, к переходу сырья из группы неспекающегося в группу среднеспекающегося, полностью устраняет вредное влияние карбонатов. За счет существенного увеличения удельной поверхности сырья (5000-6000 см²/г) температура обжига керамических изделий снижается на 60-90 °С.

Активация сырья при пластическом формовании. При пластическом формовании используется не только помол глины на вальцах и бегунах, но и введение шликера в качестве обогащающей добавки. Мокрое обогащение осуществляется в шаровых мельницах, где глину, воду и мелющие тела загружают в соотношении 1:1:1. Для повышения эффективности помола применяются химические добавки и поверхностно-активные вещества, которые позволяют увеличить содержание тонкодисперсной фракции глинистых суспензий. Проникая в микротрещины под действием ударных усилий в процессе диспергирования, молекулы химических реагентов оказывают активное расклинивающее давление, интенсифицирующее процессы помола. Механическая активации слоистых силикатов в водной среде приводит к повышению их сорбционной способности.

Установлено, что технологии с применением активации низкосортного сырья не являются энергетически убыточными, а в ряде случаев они менее энергоемки, чем традиционные. Их внедрение создает перспективы повышения качества изделий на две марки и более, а также производства прогрессивных видов изделий, которые не могут быть получены из низкосортного сырья по другим технологическим схемам.

Грануляция активированных порошков в технологии полусухого прессования изделий для приготовления пресс-масс из активированных порошков необходимо использовать грануляторы. Практический опыт показывает, что гранулированные порошки обладают большей сыпучестью (угол естественного откоса 25-30°), лучшей формуемостью (коэффициент сжимаемости > 2), не слеживаются в бункерах.

На тарельчатых грануляторах (ОТ-300) получают гранулы шарообразной формы, средний размер которых может колебаться в диапазоне от 1 до 20 мм. Влажность получаемых пресс-масс составляет 13-15 %.

Турболопастные грануляторы (ТЛГ-060-К-01) предназначены для гранулирования и смешивания порошкообразных масс с

возможным введением жидких добавок (ПАВ, электролитов) и получения гранулированного продукта в виде "крупки" размером 0-2 мм с высокой степенью влажностной однородности. Влажность пресс-массы - 10-12 %.

Для производства изделий строительной керамики обычно используют шнековый гранулятор (ФШ-025), на котором получают гранулы высокой плотности (1,7-1,8 г/см³) в виде цилиндров одинаковой длины и диаметром 0,8-1,5 мм.

2.3 Химическая активация

Одним из основных и наиболее распространенных методов регулирования структурно-механических свойств минеральных дисперсий, в том числе и глинистых, является их химическая активация, заключающаяся в том, что в дисперсионную среду вводятся поверхностно-активные вещества, электролиты или водорастворимые полимеры - универсальные регуляторы свойств технических дисперсий.

Практический опыт химической активации суглинков с помощью ПАВ показывает, что их использование улучшает не только реологические и сушильные свойства масс, но и качество обожженных изделий: марка кирпича повышается на 1-2 единицы. Кроме поверхностно-активных веществ в технологии широко используются электролиты, щелоче- и кислотосодержащие добавки-отходы. Введение в глиномассу добавок слабоконцентрированной (рН 4,5-5,0) ортофосфорной кислоты способствует снижению кажущейся энергии активации твердофазных реакций и интенсификации в них процессов силикатообразования и диссоциации кальцита. Гидролизный лигнин, имеющий в своем составе химически активные компоненты комплексно воздействует на свойства глиномасс.

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), отходы нефтехимической и металлообрабатывающей промышленности содержат 3-5 % эмульсии "вода-масло", водные растворы органических продуктов с добавками эмульгаторов, ингибиторов коррозии, легирующих и бактерицидных веществ. Использование СОЖ в керамическом производстве возможно в качестве пластификаторов, понизителей вязкости суспензий, в качестве веществ, регулирующих упруго-пластические свойства керамической массы при формовании, интенсификаторов процесса сушки.

2.4 Биологическая активация

Одним из методов регулирования свойств грунтов, в том числе

глинистого сырья, является использование жизнедеятельности бактерий, участвующих в разложении органических веществ и разрушении глинистых минералов [20].

Наибольшей степени воздействия бактерий подвергается монтмориллонит (разрушается 62,3 % массы исходного минерала, переходит в раствор 48,9 %), гидрослюда (соответственно 38,1 и 29,6 %) и каолинит (33,4 и 23,1 %). Кварц практически не разрушается.

Разрушение и растворение минералов силикатными бактериями связывают с действием выделяемых ими органических кислот, катализируемых ферментами. Водорастворимые соединения, образующиеся под воздействием бактерий на минералы, проявляют себя в комплексе как поверхностно-активные вещества.

При обработке глин силикатными бактериями их свойства существенно меняются: в 1,2-1,5 раза увеличивается удельная поверхность; в 1,7-2,1 раза - емкость поглощения; в 1,1-1,2 раза - связующая способность. Повышение концентрации штамма 4 (Т-2) с 0,01 % до 0,5 % приводит к повышению числа пластичности для умеренно пластичного сырья на 40-50 %. Биологическая обработка глинистых пород позволяет на 15-20 % увеличить содержание в ней коллоидных частиц размером менее 0,001 мм и повысить прочность обожженных изделий на 5-7 МПа.

Практический опыт использования биологических методов активации глинистого сырья показал их высокую эффективность за счет повышения качества шихты, снижения топливно-энергетических затрат при изготовлении изделий и улучшения физико-механических свойств керамического черепка.

Заслуживает внимание исследователей метод **комплексной активации** глинистых пород, а также активация глиномасс и глинопорошков на стадии их перемешивания, формования и грануляции. Поверхностная обработка сырцовых гранул активными химическими реагентами обеспечит хорошую влагопроводность отформованных изделий и спекаемость их при обжиге.

3 Современные способы производства изделий строительной керамики

3.1 Характеристика способов производства

Технологический процесс изготовления изделий стеновой керамики включает следующие основные операции: переработка глиняной массы, формование изделий, их сушка и обжиг. Отдельной операцией является подготовка корректирующих добавок. Современные

схемы технологического процесса производства изделий строительной керамики представлены в литературе [3, 21-24].

В настоящее время приняты следующие способы изготовления керамических изделий: пластический; жесткое формование; полусухое прессование; комбинированный способ, шликерное литье.

При пластическом методе формования влажность шихты в зависимости от свойств глиняного сырья, находится в пределах от 18 до 22 %. При жестком методе формования формовочная влажность на 3-4 % ниже, чем при пластическом. Полусухой способ производства изделий предусматривает формование из сыпучих масс влажностью 8-12 %.

При первых двух методах формование производится способом экструзии, в третьем случае - уплотнением пресс-порошка в коленорычажных или гидравлических прессах.

Выбор способа производства определяется карьерной влажностью и плотностью сырья, чувствительностью его к сушке, а также зависит от предполагаемого ассортимента продукции. Немаловажное значение при выборе способа производства имеет возможность приобретения того или иного комплекта оборудования. Добыча, переработка и хранение глинистого сырья, а также методы контроля и испытания глинистого сырья являются одинаковыми для всех способов.

3.1.1 Производство изделий пластическим способом

Пластический способ производства кирпича нашел наибольшее распространение как на предприятиях Казахстана, так и за рубежом. Для этой технологии пригодно разнообразное глинистое сырье.

Низкая энергоемкость переработки глины в пластическом состоянии, малая запыленность производственных помещений, возможность получения широкого ассортимента продукции (стенные изделия с пустотностью до 71 %) дают предпочтение этому способу.

Однако производство изделий из масс с высокой формовочной влажностью - процесс многопердельный, требующий корректировки природных свойств глинистого сырья.

При пластическом способе производства глинистые породы подвергают механической обработке, при которой свойства керамической массы изменяются в результате механического воздействия на нее рабочих органов глинообрабатывающих машин. При этом из глинистой породы выделяются каменные включения, разрушается ее текстура, осуществляется гомогенизация массы и улучшения ее технологические свойства.

Первой стадией переработки является разрушение кусков

глинистой породы, которое осуществляется глинорыхлителем, установленным над ящичным подавателем.

Второй стадией грубого дробления является измельчение глины до размеров 10-15 мм. Вязкие пластичные глины перерабатывают на гладких дифференциальных вальцах грубого помола.

После предварительной переработки глину подвергают тонкому измельчению. Целью тонкого измельчения является разрушение водопрочных оболочек, связывающих зерна глинообрабатывающих минералов, частичное разрушение самих зерен и освобождение молекулярных связей, за счет которых глина будет гидратироваться, присоединяя большое количество связанной воды.

На современных заводах после механической обработки глину подвергают вылеживанию. При этом помимо ее набухания происходит релаксация напряжений в глине, возникших при механической обработке, благодаря чему улучшаются ее формовочные и сушильные свойства. Вылеживание глины увеличивает прочность изделий на 20-30 %.

В производстве изделий стеновой керамики глину проминают в лопастных глиномешалках с водяным или паровым увлажнением. Паровое увлажнение глины увеличивает производительность ленточных процессов и снижает потребляемую ими мощность на 15-20 %.

Изделия стеновой керамики формируют на ленточных шнековых безвакуумных и вакуумных прессах. Формование изделий на вакуумном ленточном прессе существенно улучшает свойства формуемой массы. Вакуумирование глины упрочняет в 2-3 раза отформованное изделие и примерно в 1,5 раза увеличивает прочность высушенного изделия, на 6-8 % повышает его плотность, понижает формовочную влажность на 2-3 % и увеличивает связующую способность глины. Отборку сырца от пресса и укладку его на транспортные средства выполняют автоматы.

Формовочная влажность изделий стеновой керамики при пластической технологии находится в пределах 18-22 %. Перед обжигом их необходимо высушить до влажности не превышающей 10%.

Для повышения трещиностойкости изделий стеновой керамики при сушке применяют следующие мероприятия: паровое увлажнение глины; введение в шихту крупнозернистых минеральных и органических добавок; вакуумирование глиняной шихты; добавка пластификаторов; увлажнение теплоносителя водяным паром.

Сушка изделий осуществляется в основном в туннельных

сушилках, которые работают по принципу противотока, длительность сушки в них составляет 16-36 ч, достигая иногда 48 ч и более.

Для сокращения сроков сушки, снижения трещиноватости вводятся отошающие добавки - песок, опилки, золошлаковые смеси тепловых электростанций, молотый брак обожженного кирпича. Отошающие добавки требуют перед вводом дополнительной переработки. Это усложняет технологическую схему, но преимущества способа перекрывают его недостатки.

В процессе обжига формируются важные свойства керамического материала, определяющие его техническую ценность — прочность, плотность, водостойкость, морозостойкость и др.

Обжиг изделий осуществляют, в основном в туннельных печах различных конструкций при температуре 950-1050 °С. В последнее время нашли применение новые печи: печи со съёмным сводом, ротационные и шахтные печи.

В зависимости от физико-минералогических характеристик сырья схема производства может видоизменяться. При повышенной карьерной влажности до 24-25 % в начале технологической линии необходимо предусматривать подсушку глины в сушильном барабане или в конвейерной сушилке.

Наличие карбонатных включений обуславливает введение в технологию дополнительных валцов тонкого помола или сухую подготовку массы в шахтных мельницах и других аналогичных агрегатах.

При производстве кирпича из суглинков или малопластичных глин желательно осуществлять вылеживание их в буртах или конусах в течение 3-12 мес. Вода, содержащаяся в глине, при замерзании разрушает природную структуру, диспергирует агрегаты глинистых частиц. В процессе вылеживания увеличивается удельная поверхность, более полно завершаются процессы набухания, возрастает количество связанной воды и пластическая прочность глиняной массы, улучшаются ее формовочные и сушильные свойства, облегчается последующая переработка массы.

3.1.2 Производство изделий жестким прессованием

Особенностью технологической схемы является сухая переработка глинистого сырья и формовка изделий по пластическому методу. Этот способ рекомендуется при наличии глинистого сырья с карьерной влажностью менее 16-17 %.

Преимуществом этой технологии является возможность садки отформованного сырца на печную вагонетку, что исключает из технологической линии операцию укладки сырца на сушильную

вагонетку и перекладку его на печную.

Характерной особенностью технологической схемы (рис. 3.2) является увлажнение порошка глинистой массы непосредственно в мешалке прессы, такой метод позволяет формировать изделия при влажности глиномассы на 3-4 % ниже нормальной с давлением в головке прессы около 10 МПа.

За время пребывания глиномассы в мешалке и прессы набухание зерен глины произойти не успевают и в момент выхода бруса из мундштука эти зерна окружены полужидкой глинистой массой, позволяющей при сравнительно низких давлениях формировать пустотелые изделия с пустотностью такой же, как из масс с нормальной формовочной влажностью. В дальнейшем происходит набухание зерен, сырец твердеет, и к моменту укладки на печные вагонетки прочность его достаточна для штабельной укладки.

Кирпич до сушки необходимо выдерживать в цехе в течение 12-48 ч для усреднения влажности во всем его объеме.

3.1.3 Производство изделий способом полусухого прессования

Технологический процесс производства методом полусухого прессования включает следующие операции: добычу, доставку, переработку и хранение глинистого сырья и добавок; приготовление пресс-порошка; хранение пресс-порошка; полусухое прессование пресс-порошка под давлением 15-20 МПа; сушку и обжиг кирпича-сырца (возможно совмещение сушки и обжига в одном агрегате); приемку, упаковку, складирование и отправку потребителю готового кирпича.

Подготовку пресс-порошков из глин с повышенной влажностью 18-25 % рекомендуется производить с одно- или двухстадийной сушкой и с последующим его измельчением до крупности не более 3 - 5 мм. Глины предварительно подсушенные, а также глины с пониженной карьерной влажностью 13-17% (сланцевые, аргиллиты, туфоаргиллиты и другие материалы с влажностью до 14%) рекомендуется измельчать с одновременной подсушкой до крупности не более 2 мм.

В современной технологии существует два основных способа подготовки пресс-порошков: сушильно-измельчительный (помольный) и шликерный (при обезвоживании в башенных распылительных сушилках и реже в фильтр-прессах). Каждый из этих способов имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Последний применяется для производства керамических плиток.

Для помола глины в производстве кирпича применяют

корзинчатые дезинтеграторы. Они работают устойчиво при влажности глины не выше 10%. Для просеивания глины используют струнные сита, барабанные грохоты, качающиеся и вибрационные сита.

При сушильно-измельчительном способе глинистое сырье подвергается измельчению, сушке, сортировке, смешиванию с увлажнением и без увлажнения, вылеживанию в бункерах, дозированию, магнитному обогащению и транспортированию. Температура газов, поступающих на сушку, составляет обычно 600-800 °С, а отходящих газов после сушки 100-120 °С, температура глинистого сырья после сушки 60-80 °С. Мелкие фракции при сушке высыхают быстрее и измельчаются до пылевидного состояния. Крупные куски глины распариваются, слипаются и могут окатываться снова в крупные комья, что обуславливает большую неоднородность высушенной глины по влажности, поэтому процессу сушки глины уделяется значительное внимание при подготовке пресс-порошков. Влажность измельчаемой глины не должна превышать 9-11 %. Для обеспечения оптимального гранулометрического состава пресс-порошок подвергается сортировке для отделения более мелких и более крупных фракций. Чтобы получить пресс-порошок с технологическими свойствами, отвечающими процессу прессования, применяют последующее смешение отдельных фракций с одновременным увлажнением или без него. При перемешивании пресс-порошка иногда применяют пар для повышения качественных показателей кирпича (прочности, морозостойкости, однородности, стойкости к трещинообразованию и т.п.). Оптимальным является увлажнение пресс-порошка при подаче его из приемно-расходных бункеров в смесители. Рекомендуется избегать повторного увлажнения пресс-порошка, так как практически невозможно добиться равномерной его влажности из-за различной крупности зерен. Для выравнивания влажности пресс-порошок подвергают вылеживанию в бункерах, однако этот процесс протекает очень медленно (в течение нескольких суток).

Зерновой состав пресс-порошка определяет как пористость, так и плотность формовочной смеси. Наибольшая плотность пресс-порошка обеспечивается при оптимальном зерновом составе. Расчеты показывают, что оптимальным составом пресс-порошка является такой состав, в котором содержание частиц размером до 0,5 мм составляет 43 %, частиц размером 0,5-1,0 мм -15 %, частиц размером 1-2 мм - 24 %, частиц размером 2-3 мм -18 %. Расчетные данные подтверждаются лабораторными исследованиями.

Пресс-порошок с заданными технологическими свойствами,

полученный из глинистого сырья, подвергается прессованию на прессах различных конструкций. Сушка и обжиг кирпича-сырца осуществляются аналогично сушке и обжигу кирпича пластического формования, но при других параметрах. Процессы выгрузки обожженного кирпича, приемки, упаковки, складирования и отгрузки потребителю аналогичны процессам при производстве кирпича пластического формования и являются общими для керамического производства.

Основные технологические операции при производстве керамического кирпича из пресс-порошка, полученного сушильно-измельчительным способом, можно объединить в пять групп. Первая группа объединяет операции, связанные с добычей, первичной обработкой, транспортировкой и хранением глинистого сырья и корректирующих добавок. Технологические операции, входящие в группу, являются общим для всех заводов по производству керамического кирпича. Вторая группа объединяет операции, связанные с подготовкой исходного сырья для производства пресс-порошка сушильно-измельчительным способом. Эта группа операций связана с технологическими операциями, определяющими свойства пресс-порошка, а следовательно, и качество кирпича-сырца. Количество и последовательность операций, входящих во вторую группу, может изменяться в зависимости от состава исходного сырья и эффективности имеющегося технологического оборудования. В третью группу входят операции дозирования пресс-порошка и его полусухого прессования на соответствующих прессах. Четвертую группу составляют операции, связанные с процессами сушки и обжига кирпича. В состав пятой группы входят операции, связанные с упаковкой, хранением и отгрузкой готовой продукции. Операции четвертой и пятой групп являются общими для всех способов производства глиняного кирпича.

В настоящее время существуют три основных варианта компоновки технологических операций при составлении схем производства кирпича сушильно-измельчительным способом. На основании этих вариантов путем комбинирования операций можно разработать технологические схемы, в которых количество и последовательность операций отвечают требованиям заказчика.

Первый вариант производства включает наибольшее число технологических операций и рассчитан на наиболее сложные условия получения пресс-порошка из "тяжелого" глинистого сырья. Этот вариант является основным, по которому производится сравнение и обоснование других вариантов технологий производства кирпича

методом полусухого прессования. Первый вариант не исключает возможности объединения отдельных операций в одну (например, процессов сушки и измельчения, а также - измельчения и смешивания и т.п.) и их взаимозамещения.

Второй вариант исключает процессы камневыделения, сушки, смешения, контрольного грохочения, промежуточного хранения.

Третий вариант является комбинацией двух первых, и исключает процессы измельчения смешения, хранения и выдачи пресс-порошка из приемно-расходных бункеров, перемешивания. Пресс-порошок из бункеров поступает в пресс.

Одним из вариантов производства кирпича по полусухому способу служит технологическая схема, разработанная НПП "Сибирь-объединение" (Красноярск), рисунок 3.1 [25].

Схема включает измельчительно-сушильный агрегат (ИСА), гранулятор пресс-порошка и кольцевую печь со съемным сводом. При этом совмещены процессы дробления, сушки и помола сырья. Механотермическая активация сырья в ИСА и дальнейшая грануляция глинопорошка позволяет повысить качество не только сырца, но и обожженного кирпича.

Для прессования керамического кирпича при полусухом способе применяют рычажные пресса двухстороннего ступенчатого прессования. Отпрессованный сырец сушат в туннельных сушилках на печных вагонетках, длительность сушки - 16-24 ч, конечная влажность - 4-6 %. Теплоносителями являются горячий воздух, отбираемый из зоны остывания туннельных печей, а также их отходящие газы, начальная температура теплоносителя - 120-150 °С.

Обжиг кирпича и камней осуществляется в туннельных печах или кольцевых печах со съемным сводом, а также в ротационных и колпаковых печах [1,7].

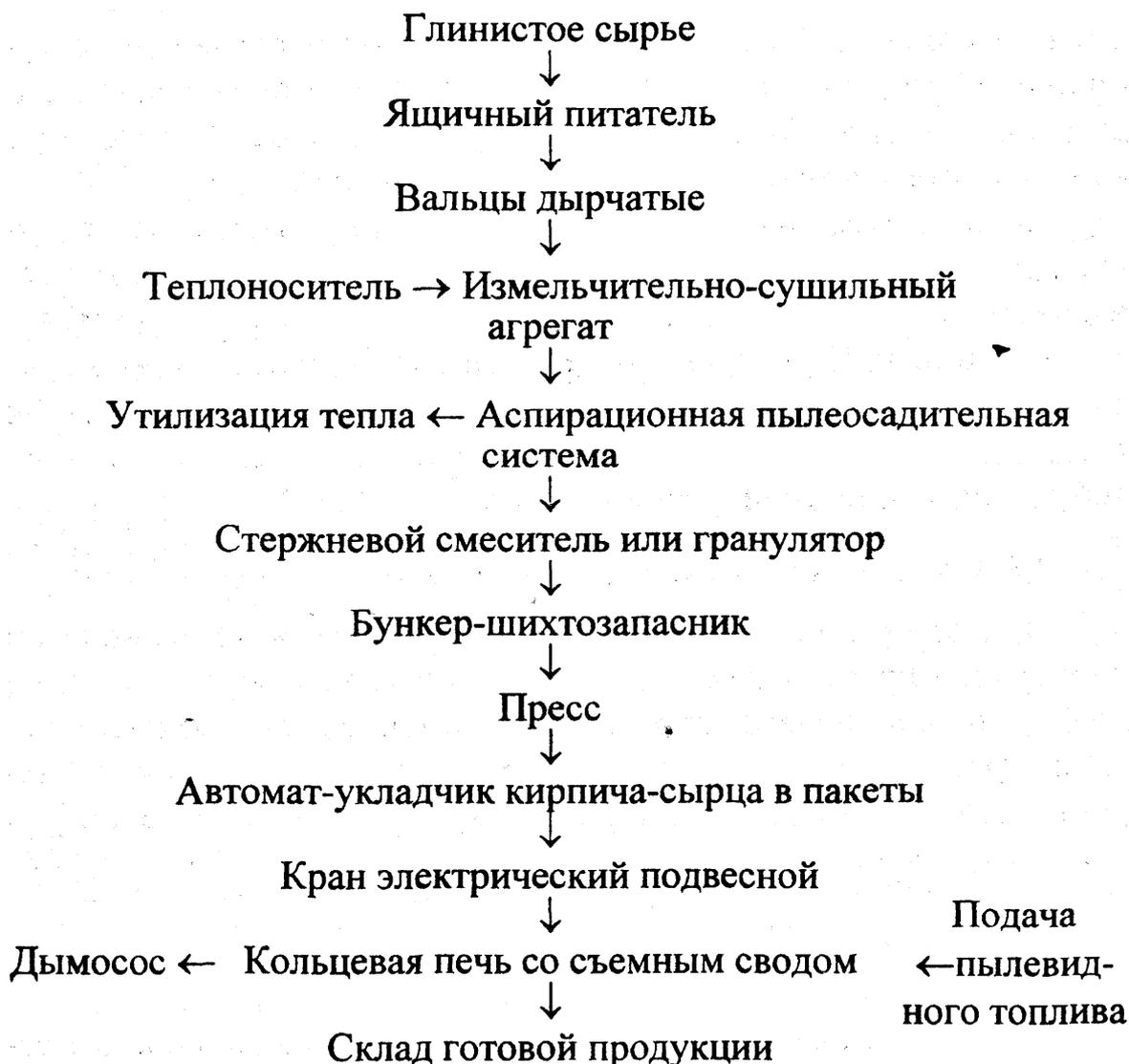


Рисунок 3.1 – Технологическая схема производства керамического кирпича на заводах НПП «Сибирь-объединение»

В течение последних 30 лет периодически возникает интерес о применении в производстве кирпича конвейерных сушилок и печей.

Основанием является принципиальная возможность обжига кирпича за 2-6 ч по сравнению с 30-48 ч в туннельных печах.

Как правило, технологические схемы производства кирпича в конвейерных сушилках и печах ориентируются на полусухой способ производства.

В связи с тем, что при полусухом прессовании не используются ленточный вакуумный пресс, автомат-перекладчик с сушильной вагонетки на печную, транспортное оборудование между сушильным

и обжиговым отделением и другое оборудование капитальные вложения уменьшаются на 30-50 %.

Недостатки способа - невозможность производства эффективных и высокопустотных изделий, большая запыленность производственных помещений, низкая производительность прессов.

Фирмой ШЛ (г. Омск) разработаны кирпичные мини-заводы с годовой производительностью 2 млн. шт. кирпича с упрощенной технологической схемой получения кирпича по полусухому способу с применением шахтной печи [26].

3.1.4 Комбинированный способ

При этом способе глинопорошок готовится по технологии полусухого прессования с последующим его затворением водой до формовочной влажности и формованием изделий по пластической технологии. Такая технология обеспечивает высокую степень гомогенизации шихты и качества керамических изделий.

3.1.5 Шликерный способ производства изделий

Санитарные керамические изделия и некоторые другие виды изделий сложной формы изготавливают методом литья в гипсовых формах. Шликер с влажностью 30—33% за 4—16 ч нахождения в гипсовой форме (время - в зависимости от состава шликера и наличия тепловой обработки форм) теряет влажность до 19—20%. При этом из суспензии образуется пластичная масса, которая способна сохранить конфигурацию, приданную ей гипсовой формой.

Различают три способа литья — сливной, наливной и комбинированный.

Сливной способ применяют при изготовлении тонкостенных изделий несложной формы. При этом способом шликером заполняют гипсовую форму и после того, как на ее внутренней поверхности образуется плотный слой массы необходимой толщины, лишний шликер сливают из формы.

Наливной способ используют для отливки изделий сложной формы с толстыми стенками. Шликер заливают в пространство между двумя частями гипсовой формы. Форма и размеры этого пространства соответствует конфигурации обиваемого изделия. При этом способе процесс набора черепка протекает быстрее, так как влага из суспензии отбирается гипсовой формой с двух сторон.

Комбинированный способ совмещает два предыдущих — одни части изделия отливают наливным способом, другие — сливным. Примером может быть отливка умывальников, у которых все тело чаши наливное, а полые борта умывальника — сливные.

Процесс отливки изделий в разборных гипсовых формах может

производиться на ручных стандах, на литейно-подвялочных конвейерах (в основном СМ-461А и СМ-462А) и механизированных стандах. Наиболее прогрессивны механизированные станды. При литье санитарных керамических изделий с использованием механизированных стандов производительность труда рабочего-литейщика увеличивается по сравнению с литьем на ручных стандах на 30—50%, а с литьем на литейно-подвялочных конвейерах в 1—2 раза. Кроме того, значительно снижаются амортизационные расходы и удельные расходы топлива. Однако при использовании литейно-подвялочных конвейеров по сравнению со стандовым литьем уменьшается в 1,6—2 раза потребность в производственной площади и требуются более простые устройства для механизации отбора отлитых изделий в концевой части конвейера.

После выемки из гипсовых форм отлитые изделия дополнительно подсушивают на открытом воздухе (иногда с тепловой обработкой) в течение 4- 8 ч («подвялка» изделия) При этом влажность изделия снижается до 17—18 %, и оно набирает прочность, необходимую для транспортировки полуфабриката.

Сушка полуфабриката. Сырой полуфабрикат содержит влагу, количество которой зависит в основном от способа производства. Влажные изделия обладают невысокой механической прочностью, это затрудняет их многорядную садку на вагонетки обжиговых агрегатов. Кроме того, значительное уменьшение объема изделий при удалении из них влаги может привести к деформации или трещиноватости изделий, а при быстром нагреве и к их разрушению. Поэтому прежде чем обжигать изделия, их предварительно сушат в сушильных устройствах. Для сушки в качестве теплового агента используют горячий воздух, отбираемый из зон охлаждения печей, дымовые газы, полученные от сжигания топлива в топках и разбавленные воздухом до необходимой температуры, а также чистый воздух, нагретый в тепловых или электрических калориферах.

С повышением температуры материала кинетическая энергии движущихся молекул воды растет, и они, преодолевая силу молекулярного сцепления, переходят в окружающую газовую среду (процесс поверхностного испарения). Массопередача в направлении от поверхности испарения через неподвижный слой газа возможна при условии, если давление насыщенного водяного пара на поверхности испарения (при данной температуре) выше парциального давления водяных паров в окружающем воздухе. Переход воды из внутренних слоев на поверхность изделия происходит за счет капиллярных сил под действием градиентов влажности и

температуры. Предельно безопасная скорость сушки будет тогда, когда скорость диффузии воды из внутренних слоев изделия будет равна или несколько больше скорости внешней диффузии влаги на поверхности испарения. В противном случае может произойти разрыв водной связи в изделии, поверхностные слои его будут сохнуть быстрее внутренних, величины усадок различных слоев изделия будут разные, что поведет к деформации и растрескиванию изделий.

Усадка керамических изделий при сушке происходит лишь до некоторого предела их влажности, когда влага удаляется с поверхности частиц массы, и в результате уменьшения водной оболочки частицы зерен сближаются, уменьшая объем изделий. Когда из изделия удалена вся усадочная влага и происходит удаление влаги только из мелких капилляров, усадка изделий прекращается, напряжения в изделии не возникают и процесс сушки можно интенсифицировать.

3.2 Варианты технологических схем производства

Систематизация основных существующих технологических схем получения кирпича (плитки, черепицы) и публикация данных о новых способах их производства дает возможность проанализировать достоинства и недостатки всех названных в классификации технологических линий и выявить оптимальные варианты:

1) линия с формованием пластичного бруса и его резкой. Принципиальная блок-схема подобных линий приведена на рисунке 3.2.

К достоинствам таких линий следует отнести то, что они уже освоены в процессе производства, нет пылеобразования, изделия получают хорошего качества из определенных видов сырья. Последнее, однако, достигается при применении достаточно большого набора (9-10 единиц) глиноперерабатывающего оборудования в сочетании с вакуум-прессом, что увеличивает капитальные вложения и себестоимость продукции.

Названные линии имеют общие для них недостатки: неравномерную скорость экструзии бруса, из-за чего приходится вводить в линию громоздкие устройства многоструйной резки; определенную сложность из-за наличия устройства по укладке сырца, приспособлений для его транспортировки на сушку (рамки, рейки, палеты, вагонетки) и механизмов их возврата к экструдеру; возможную деформацию пластичных изделий при укладке и транспортировке (прочность сырца не превышает 0,2 МПа); необходимость поддерживать "мягкие" режимы сушки; сложность конструкции сушилок, а также

устройств по перекладке сырца с сушильных вагонеток на обжиговые; трудности с использованием, высокочувствительного к сушке и засоренного карбонатами сырья;

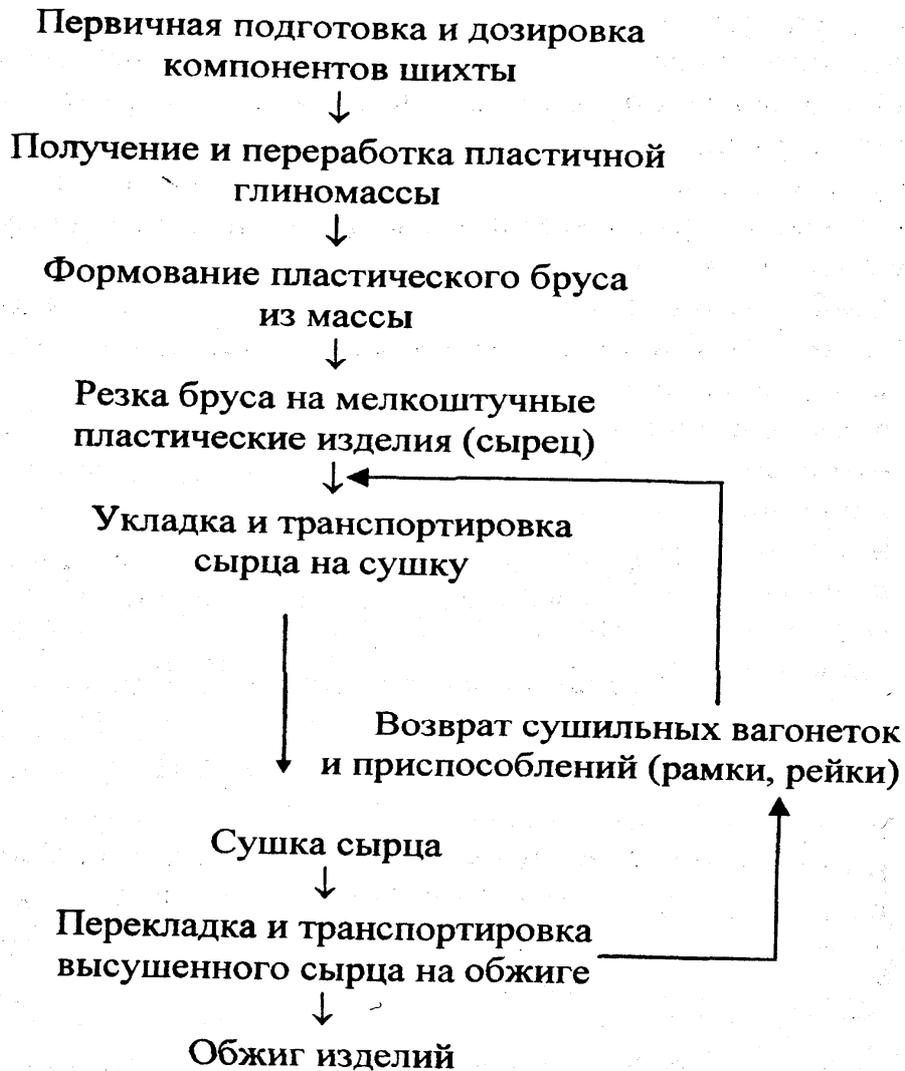


Рисунок 3.2 – Принципиальная блок-схема линий с формованием и резкой пластического бруса

2) линии полусухого прессования. Принципиальная блок-схема линий полусухого прессования со шликерной массоподготовкой показана на рисунке 3.3.

К достоинствам таких линий следует отнести то, что они уже освоены в процессе производства, нет пылеобразования, изделия получаются хорошего качества из определенных видов сырья. Последнее, однако, достигается при применении достаточно большого набора (9-10 единиц) глиноперерабатывающего оборудования в

Вместе с тем таким линиям сухого прессования присущи недостатки: повышенное пылеобразование в процессе производства; сырье может быть использовано только низкой карьерной влажности и без карбонатов; отсутствуют должная переработка и гомогенизация сырья (в отличие от схем рисунки 3.2-3.3), из-за чего получают изделия пониженной прочности и морозостойкости.

Опыт промышленной эксплуатации такой линии показал, что она имеет ряд преимуществ по сравнению с описанными выше схемами: в отличие от схем, показанных на рисунке 3.2 - сама линия проще по конструкции; лучше внешний вид и выше прочность изделий; в производстве используется высокочувствительное к сухости и засоренное мягкими карбонатами сырье; в отличие от схем по рисунку 3.3 - меньше пылеобразование и ниже энергоемкость производства при сопоставимом качестве изделий.

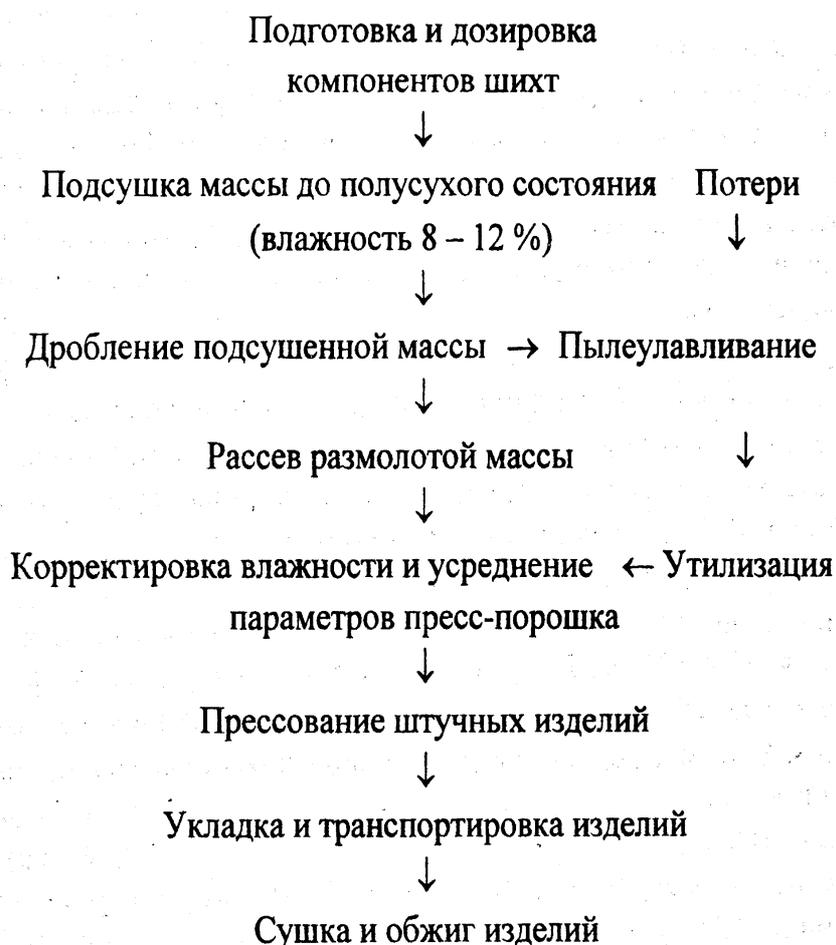


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема линий полусухого прессования кирпича с полусухой массоподготовкой

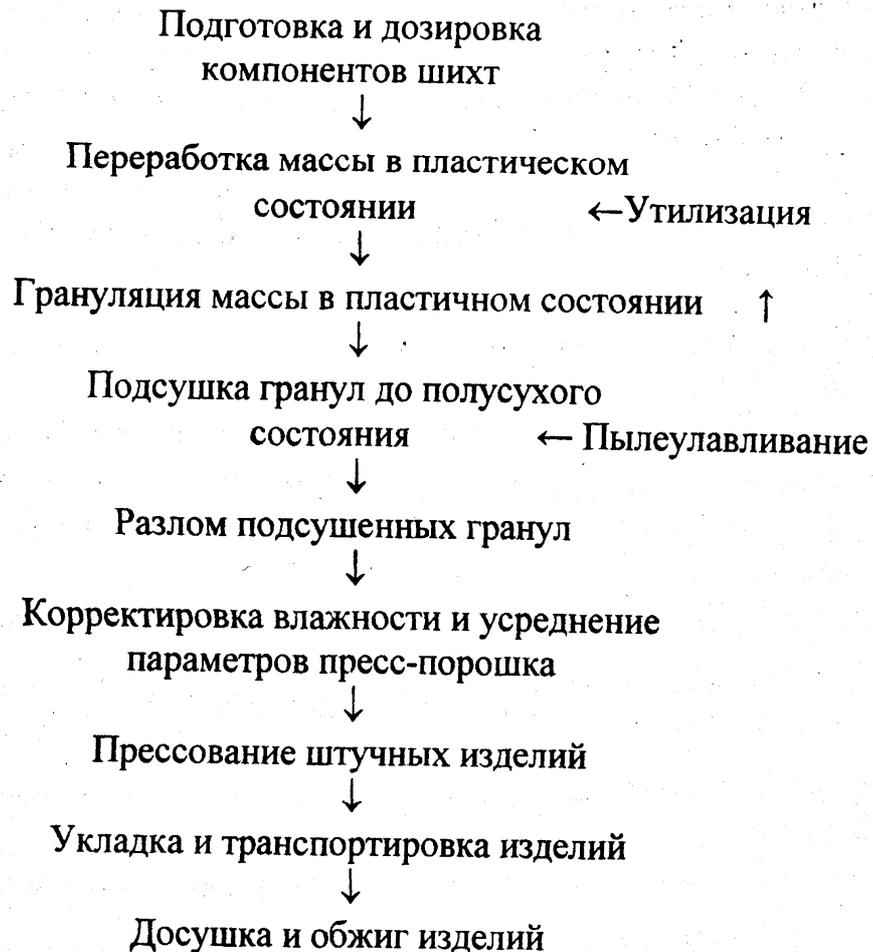


Рисунок 3.5 – Принципиальная схема линий полусухого прессования с пластической массоподготовкой сырья

На линии можно перерабатывать не только глины и суглинки, но и трепелы, диатомиты, отходы углеобогащения и др., т.е. она достаточно универсальна. Линия рекомендуется для расширенного воспроизводства комплектов соответствующего оборудования.

Предлагаемые линии имеют недостатки - в них нельзя перерабатывать сырье с твердыми карбонатными включениями; для них характерны увеличенные удельные габариты и металлоемкость самих прессов полусухого прессования; не удастся полностью исключить пылеобразование в процессе производства, поэтому приходится вводить в линии системы пылеулавливания.

Кроме того, при способе полусухого прессования возможна запрессовка воздуха в тело изделий.

На линиях, предусматривающих жесткое формование, реализуются некоторые процессы, характерные для схем полусухого прессования, - штабельная укладка и досушка сырца непосредственно

на печных вагонетках (поде печи) и вместе с тем пылеобразование не наблюдается.

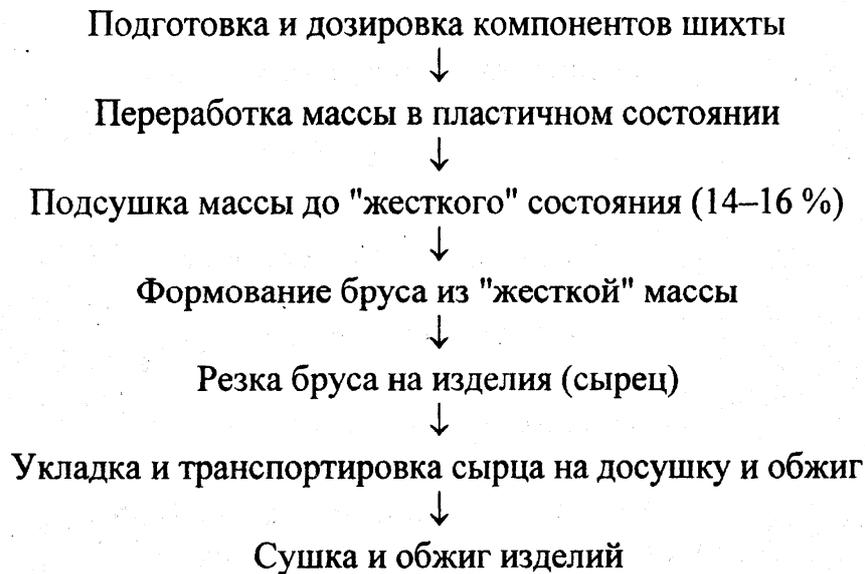


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема линий с формованием и резкой жесткого бруса

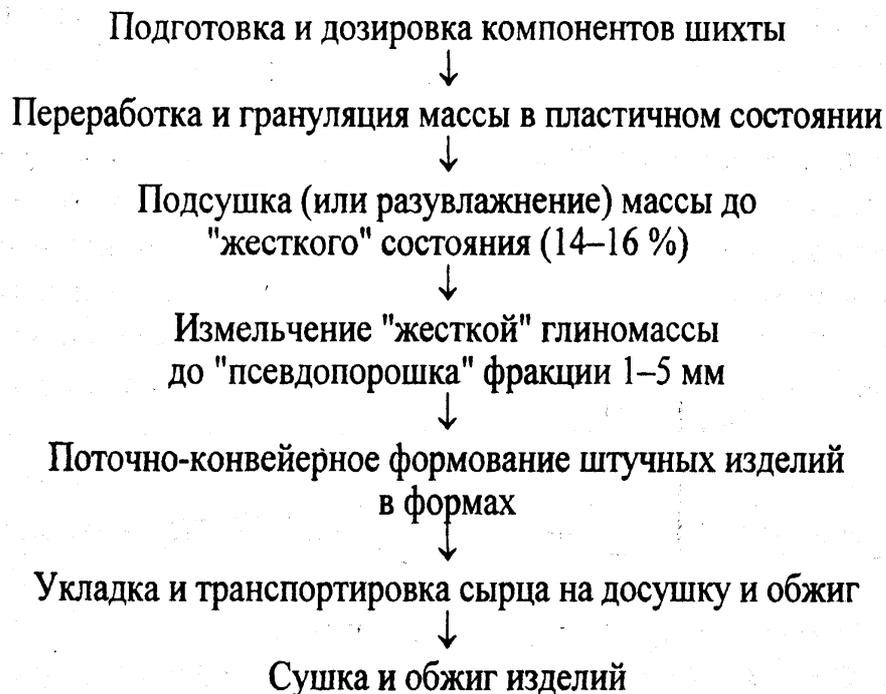


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема модернизированной линии с измельчением жесткой глиномассы и компрессией штучных изделий в конвейерно-формовочной опалубке

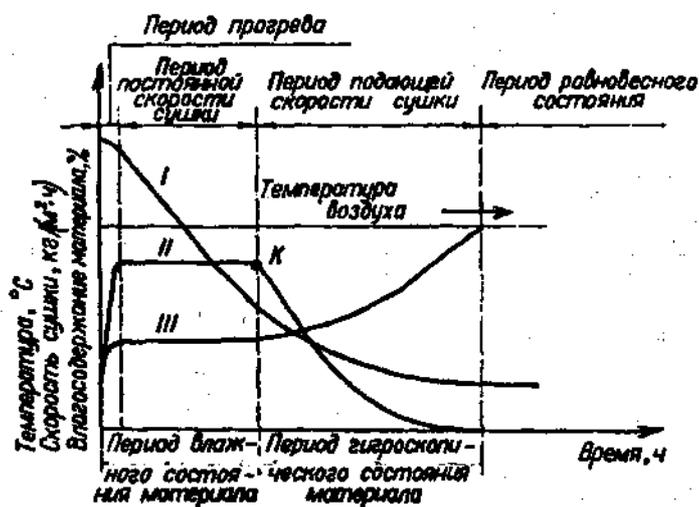
Названным схемам присущ такой недостаток линий с формированием пластичного бруса (рисунок 3.2), как неравномерная скорость экструзии, причем резка жесткого бруса и экструзия пустотелых изделий в данном случае еще более усложняется. Линии недостаточно универсальны (пригодно лишь сырье без карбонатов), а прессы для экструзии жесткого бруса имеют увеличенные габариты, металло- и энергоемки.

3.3 Термическая обработка керамических изделий

3.3.1 Теория сушки

Процесс сушки характеризуется следующими факторами: изменением температуры полуфабриката, его влагосодержания, изменением скорости сушки, возникновением усадки и усадочных напряжений, продолжительностью сушки. Регулирование интенсивности испарения влаги в различные периоды сушки, усадки полуфабриката и усадочных напряжений, продолжительности сушки, свойств и скорости движения теплоносителя достигается соответствующим режимом сушки.

Режим сушки. Процесс сушки характеризуется тремя периодами: нагревом, постоянной и падающей скоростями сушки (рисунок 3.8).



I - усадка (влагоотдача); II - скорость сушки (уменьшение массы кг/(м²ч)); III - температура материала, °C; K - точка критической влажности

Рисунок 3.8 – Кривые сушки

Первый период сушки характеризуется ускоренным прогревом полуфабриката от начальной температуры до температуры насыщенного теплоносителя.

Начальная скорость сушки не зависит от количества воды в изделии, а зависит от температуры, влажности и скорости движения теплоносителя. Скорость сушки равна скорости испарения воды со свободной поверхности изделия. К концу периода устанавливается равновесие между количеством тепла, идущего на нагрев массы полуфабриката, и количеством тепла, расходуемого на испарение влаги.

Второй период сушки характеризуется горизонтальным участком на кривой скорости сушки, указывающим на то, что скорость сушки численно равна скорости испарения влаги с поверхности полуфабриката. Влагосодержание полуфабриката изменяется почти по прямой.

Температура поверхности полуфабриката (кривая III) остается постоянной, так как основная масса тепла расходуется на испарение влаги. Поверхность изделия остается смоченной влагой, поступающей из внутренних слоев. Период постоянной скорости сушки сохраняется до тех пор, пока количество испаряющейся с поверхности изделия воды меньше или равно количеству воды, поступающей по капиллярам из внутренних слоев под действием диффузионно-осмотических и капиллярных сил.

Интенсивность сушки во втором периоде зависит уже не от скорости испарения влаги с поверхности изделия, а от скорости перемещения ее из внутренних слоев наружу.

В связи с этим скорость сушки снижается, что фиксируется изломом на кривой сушки в точке "К", указывающим на окончание второго периода сушки. Влажность, соответствующая окончанию второго периода, называется критической для данного материала и при данных параметрах теплоносителя. К концу второго периода влагосодержание поверхности материала выравнивается с его равновесным влагосодержанием, фронт испарения влаги перемещается внутрь материала и начинается третий период сушки.

Третий период характеризуется падающей скоростью сушки и повышением температуры полуфабриката. Интенсивность влагоотдачи в этом периоде пропорциональна средней влажности материала в интервале от критической до конечной влажности.

Разность между влажностью материала до сушки и влажностью, соответствующей равновесной, определяется количеством влаги, удаляемой в процессе сушки.

В третьем периоде сушки допускается значительное повышение температуры и скорости теплоносителя. Учитывая, что период прогрева материала (первый период сушки) сравнительно невелик, его иногда совмещают со вторым периодом и тогда весь процесс сушки делят на период постоянной скорости сушки и период падающей скорости сушки. Влага, удаляемая до наступления равновесия, может быть отнесена к свободной, остальная влага - к связанной.

Сушку изделий прекращают при достижении конечной влажности (W_k), которая меньше критической ($W_{кр}$), но больше или равна равновесной влажности (W_p): $W_{кр} > W_k \geq W_p$.

Воздушная усадка. Удаление влаги из полуфабриката сопровождается воздушной усадкой, достигающей 8-12 %. Изменение влагосодержания полуфабриката и его усадка вызывают усадочные напряжения, в результате которых на полуфабрикаты могут появляться трещины, он может изменять форму. Перепад влажности между внутренней частью и поверхностью изделия, отнесенный к единице длины, выражает поверхностный градиент влажности. Момент появления трещин в изделии характеризуется критическим градиентом влажности, по которому, определяются оптимальные условия сушки.

Чем больше перепад влажности поверхностных и внутренних слоев, тем больше усадочное напряжение. Наибольшая усадка наблюдается в период максимального удаления влаги и развития капиллярных усилий, которые тем выше, чем дисперснее и пластичнее масса, достигающая у пластичных глин до 6,8 МПа, у каолинов до 2,0-2,5 МПа.

Усадка, как и величина усадочных напряжений, регулируется вводом различных добавок (отощающих и др.), изменяющих условия внутренней и внешней диффузии влаги.

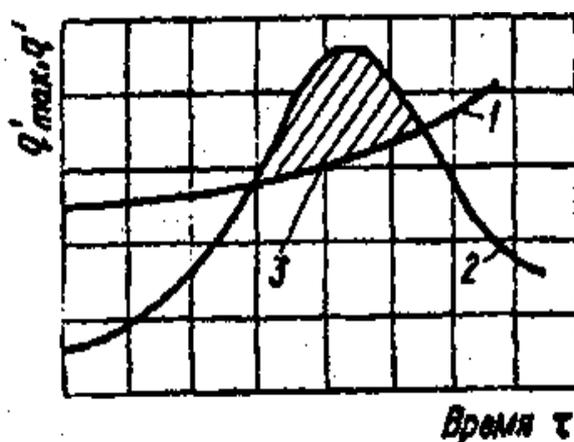
Продолжительность сушки изделий зависит от физико-технологических свойств массы, начальной и конечной температуры полуфабриката и теплоносителя, относительной влажности теплоносителя, размера, вида и конфигурации изделий, температурного режима, конструктивных особенностей сушильных устройств. Продолжительность сушки изделий колеблется в искусственных и до 2-20 сут. в естественных сушилках от 10-30 мин до 48 ч.

Безопасной скоростной сушкой считается такая, при которой скорость испарения влаги не превышает 4 кг/(м²ч). Сушка изделий облегчается при правильной конструкции изделия, учитывающей наилучшее соотношение между массой изделия и его поверхностью

испарения. Этому требованию наиболее полно удовлетворяют керамические пустотелые камни с пустотностью более 50 % и максимальной толщиной стенок 12-15 мм.

Продолжительность сушки может быть сокращена в первом периоде за счет добавки в массу отошающих материалов и во втором периоде за счет повышения температуры и скорости теплоносителя.

При любом форсировании процесса сушки скорость сушки не должна превышать максимально допустимую, иначе произойдет растрескивание изделия (на рисунке 3.9 заштрихованная область).



1- максимально допустимая; 2 - фактическая; 3-область вероятного растрескивания изделий

Рисунок 3.9 – Кривые безопасной скорости сушки

Сушка методом конвективного нагрева изделий теплоносителем получила наибольшее распространение.

Применение циклической подачи теплоносителя, инжекционная подача теплоносителя, установка циркуляционных вентиляторов и другие мероприятия только частично улучшают сушку изделий при конвективном теплообмене, но не устраняют основной недостаток этого метода - значительную неравномерность и большую длительность сушки.

Основным преимуществом новых методов сушки является непосредственное повышение температуры в самом подвергающемся сушке полуфабрикате, без участия газовой (воздушной) среды как передатчика тепла. Эти методы сушки могут быть различные: кондуктивные, диэлектрические, сверхвысокочастотные или микроволновые, красные и инфракрасные излучения, плазменный или высокотемпературный нагрев, комбинированный нагрев другими

методами - акустическим и др. Эти методы пока не нашли широкого применения в промышленности строительной керамики.

Сушка и обжиг керамики токами СВЧ. Сверхвысокочастотный (СВЧ) нагрев диэлектриков завоевывает все более широкие позиции в технологии термообработки различных материалов. Его характерные особенности - высокая скорость, экологическая чистота, удобство регулирования и др. - позволяют существенно улучшить качество продукции, условия труда, сократить производственные площади и энергозатраты. В последние десятилетия повысился интерес, особенно в передовых в научно-техническом отношении странах: США, Франции, Японии, к СВЧ сушке и обжигу керамических материалов.

При СВЧ-нагреве и обжиге глиняных образцов из суглинков отмечаются следующие характерные особенности протекающих при этом процессов. Начиная, примерно, со 100 °С и далее температура внутри образцов всегда выше, чем на поверхности. С ростом температуры при постоянстве величины подаваемой в камеру мощности эта разница в температуре увеличивается. При весьма высокой скорости нагрева (удельная поглощаемая мощность превышает 1 кВт/кг) происходят локальные внутренние пережоги. Температура в отдельных точках достигает 1100-1200 °С и более, в результате чего происходит плавление и вспучивание глины, сопровождающееся иногда растрескиванием образца.

Причинами этого являются: неоднородность материала по объему образца, наличие включений, особенно органичных; недостаточная равномерность электрического поля в камере; большая теплоотдача с поверхности образцов; характер зависимости диэлектрических параметров отдельных компонентов глины от температуры.

Полный количественный анализ динамики СВЧ нагрева в многоиодовом резонаторе весьма сложен и в настоящее время отсутствует. Тем не менее, проведенный выше качественный анализ дает достаточные для практики данные по выбору условий и режимов СВЧ обжига керамических изделий. Так, при тщательной подготовке шихт, при наличии достаточно хорошей теплоизоляции, равномерности поля камеры и возможности регулировки мощности генератора можно обеспечить однородный нагрев образцов до температуры 900-950 °С. Эти выводы были сделаны на основании проведенных технологических испытаний и петрографических исследований керамического материала, полученного обжигом в лабораторной камере для СВЧ нагрева.

Сушка санитарных керамических изделий. Санитарные керамические изделия после подвялки сушат в камерных, туннельных, кареточных и люлечных сушилках. Наиболее экономичны люлечные сушилки, расположенные на отметке 3—3,5 м; они являются продолжением люлечного конвейера-накопителя неглазурованного полуфабриката. Изделия в сушилке размещают в два ряда по высоте на люльках, подвешенных к цепи конвейера ГН-100Р. К сварному каркасу сушилки болтами крепят нижние, боковые и верхние панели из металлических листов толщиной 1-1,2 мм и теплоизоляцией между ними толщиной 50 мм. Свежий теплоноситель (воздух из зоны охлаждения туннельных печей или нагретый в калориферах) подают только в третью зону сушилки (последнюю по ходу изделий), в две предыдущие зоны теплоноситель подают смешанный с отработанным в предыдущих зонах теплоносителем. В сушилке предусмотрен автоматический контроль температурного режима.

Глазурование изделий. Керамические плитки глазуруют на специальных устройствах, конструктивно встроенных в поточно-конвейерные линии. Конструкции этих устройств разработаны на основе использования двух методов глазурования — нанесения глазури методом полива глазурной суспензии на сухую или на обожженную плитку и методом распыления — нанесения глазури мелкими каплями, полученными путем механического или воздушного распыления глазурной суспензии. Первый метод более экономичен и дает возможность получать более качественный разлив глазури. Однако он требует установки сравнительно сложных устройств для перегруппировок плиток в поточно-конвейерных линиях перед и после глазурования, а также устройств по очистке боковых граней и тыльной стороны плитки от натеков глазури.

Поливочные устройства для глазурования плиток на поточно-конвейерных линиях выполняют чаще всего по принципу «щель» на одну-две плитки, реже по принципу «через вал» и «колокол». Глазурь должна иметь максимальную плотность (не ниже $1,65 \text{ г/см}^3$) при сохранении необходимой текучести. Скорость прохождения плиток через струю глазури должна быть 0,7—1 м/с.

При глазуровании плиток методом распыления используют центробежные распылители, которые в отличие от воздушных (пульверизационных) значительно снижают потери глазури (с 30—50 % до 8—15 % общего расхода) и не требуют установки дорогих аспирационных, глазурулавливающих и очистных устройств. Центробежные распылители для более качественного покрытия

устанавливают попарно друг за другом по ходу ряда плиток на расстоянии 1-1,5 м. Одной машиной можно глазуровать два ряда плиток. Частота вращения глазуровочного диска 2800 мин^{-1} , скорость плиток при глазуровании 1,5 м/мин. плотность глазури $1,48-1,6 \text{ г/см}^3$. Для нанесения методом шелкографии одно- или многоцветных рисунков на лицевую поверхность плиток для полов и для внутренней облицовки стен поточно-конвейерные линии оборудуют специальными устройствами, которые преобразуют многорядный поток плиток в однорядный и выводят его в сторону от линии. На транспортных органах оказанного потока устанавливают устройства для нанесения основного слоя глазури, рисунка через капроновую сетку, капле глазури другого цвета а также другие приспособления для художественно-декоративной отделки лицевой поверхности плитки. Затем плитки специальным раскладчиком группируют в нужное количество рядов по ширине и вводят в поток конвейерной линии.

Санитарные изделия глазуруют различными способами - ручным окунанием, на карусельных механических установках и на конвейерных глазуровочных машинах. Последняя экономична, обеспечивает равномерность нанесения глазурного слоя, проста в обслуживании и не требует пылесоса и очистных устройств. На основном цепном конвейере этой машины последовательно установлены камера для обдувки полуфабриката, две глазуровочные камеры с центробежными распылителями глазури и камера ручной контрольной доглазуровки. На цепи конвейера закреплены площадки для установки умывальников, бачков и унитазов. При прохождении через глазуровочные камеры на все наружные поверхности изделий (кроме специально защищенных) последовательно наносят два слоя глазури. Для глазурования внутренних поверхностей унитаза к конвейеру устанавливают приставку, на которой автоматически методом «полива» производится указанная операция. Обслуживают установку два человека — один парафинит и ставит изделия на приставку и на конвейер, второй снимает изделие с конвейера и производит операции по маркировке и зачистке отдельных мест на изделии. Производительность конвейера 140—180 изделия/ч.

3.3.2 Физико-химические основы обжига

Назначение обжига. Важнейшие физико-химические свойства керамических изделий (прочность, плотность, морозостойкость) приобретаются в результате обжига. При обжиге одновременно протекают процессы тепло- и массообмена, а также фазовые и химические превращения в материале. В зависимости от свойств

глинистого сырья эти процессы протекают без нарушения целостности изделий или приводят к их деформации - трещиноватости и короблению, особенно у чувствительных к обжигу глинистых пород. Более чувствительным к обжигу является полуфабрикат из глин монтмориллонитовой группы, содержащих Al_2O_3 более 20 %, менее чувствительным - полуфабрикат из гидрослюдных глин. Чувствительность полуфабриката к обжигу повышается при увеличении в глинах тонкодисперсных фракций свыше 35-40 %, числа пластичности свыше 20, а также в большом набухании при затворении водой. С повышением пористости полуфабриката снижается его чувствительность к обжигу.

Температурный режим обжига кирпича и эффективных керамических камней условно разделяется на четыре периода: досушки (до 200 °С), подогрева (окура - 700-800 °С), собственно обжига (взвар - 900-1050 °С), остывания (охлаждения до 40-50 °С).

Досушка производится для полного удаления воды затворения и гигроскопической, а также для равномерного прогрева массы полуфабриката до 100-200 °С.

Подогрев до 800 °С, т.е. до начала упругих деформаций, первоначально производится дымовыми газами и далее при сжигании топлива. В начальной стадии этого периода (300 °С) начинается выгорание органических примесей, заканчивающееся при медленном повышении температуры до 450 °С, при быстром - около 700-800 °С. Коксовый остаток выгорает к концу второго периода (700-800 °С). Скорость выгорания веществ обратно пропорциональна квадрату толщины изделия и во многом зависит от избытка воздуха в печных газах.

В середине периода при 500-650°С интенсивно выделяется конституционная вода, минералы, содержащие железо, например сидерит $FeCO_3$ диссоциируют с выделением CO_2 . В восстановительной среде, создаваемой сжиганием топлива внутри черепка изделий при вводе топлива в массу или при водяном орошении, часть оксида железа (III) восстанавливается до оксида железа (II) с образованием легкоплавких эвтектик (железистых стекол), особенно при повышении температуры до 850-900°С, способствующих уплотнению черепка. При 550°С и наличии восстановительной среды начинается диссоциация сульфидов и сульфатов с выделением SO_2 , а при 700-800°С - диссоциация карбонатов $CaCO_3$ и $MgCO_3$, заканчивающаяся при 950-1000°С с выделением CO_2 и повышением пористости изделий. Начиная с 700°С и выше, щелочи, находящиеся в глине, вступают во взаимодействие с другими компонентами глины, образуя расплав,

количество которого также возрастает с повышением температуры.

Скорость подъема температуры определяется в основном не свойствами сырья обжигаемых изделий, а конструктивными особенностями печей, и в некоторые периоды может колебаться от 150 до 800 °С/ч, а в среднем - около 300 °С/ч.

Взвар характеризуется достижением максимально допустимой температуры обжига изделий, созреванием черепка и выдержкой обычно при 900-1050 °С. Повышают температуру осторожно, так как при 800-900 °С возникают упругие деформации, что связано с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и значительными структурными изменениями черепка. Период взвара характеризуется изменением огневой усадки, начинающейся при 750-850 °С, в зависимости от свойств сырья, и заканчивающейся к моменту достижения конечной температуры обжига.

Железосодержащие минералы наряду со щелочами являются наиболее легкоплавкими составляющими, особенно FeO, так как плавится этот оксид при температуре на 150-200 °С ниже, чем Fe_2O_3 . Поскольку в глинах железо чаще всего встречается в виде Fe_2O_3 переход его в FeO возможен только в восстановительной среде, получаемой при сгорании топлива, запрессованного в изделия, или при вводе воды в печь на конечной стадии обжига. Поэтому обжиг изделий в восстановительной среде при 900-1000 °С равноценен обжигу в окислительной среде при 1050—1100 °С, без деформации изделий. Для выравнивания температуры в печи и более полного протекания физико-химических процессов в изделии в конце взвара производится выдержка в течение 3-5 ч. При обжиге в структуре керамических изделий образуются минералы муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, шпинели $2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$, MgO $Al_2O_3 \cdot Si_3Al_4O_{12}$, силлиманит $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ и др., придающие прочность керамическому кирпичу.

Прочность охлажденной расплава достигает 45-50 МПа.

Охлаждение начинается небольшой зоной "закала" и характеризуется медленным понижением температуры (около 30 °С в час) до 550-500 °С без отбора тепла во избежание внутренних напряжений и растрескивания изделий. Трещины скорее всего могут появиться в интервале 600-400 °С в результате полиморфных превращений кварца (при 573 °С) и перехода расплава из вязкого в твердое состояние.

Дальнейшее охлаждение до конечной температуры 40-50 °С происходит быстро, и допускаемая величина температурного перепада возрастает до 120-125 °С/ч.

Механическая прочность кирпича и керамических камней

повышается с увеличением содержания стекловидной фазы в массе изделий. Однако при относительно низких температурах обжига в массе изделий содержится мало стекловидной фазы (6-8 %), изделия имеют повышенную пористость (более 8 %), а нередко и низкую механическую прочность (7,5 МПа) и являются не морозостойкими. Хорошо обожженные изделия имеют низкие адсорбционные свойства, высокую прочность и требуемую морозостойкость.

В процессе обжига, особенно засоленных глинистых пород, а также в процессе эксплуатации на поверхности обожженных керамических изделий могут образовываться высолы в виде белых налетов.

Обжиг керамических изделий в вакууме. Перспективным направлением, расширяющим технологические возможности управления процессами формирования эксплуатационных свойств керамических материалов и изделий, является обжиг в вакууме [27].

На примере минералов каолинита, монтмориллонита, иллита, входящих в состав глин, показано, что в вакууме при избыточном давлении 13,3 Па их дегидратация заканчивалась при температуре на 100-200 °С ниже, а интенсивное газовыделение на 50-100 °С ниже, чем при обжиге в условиях атмосферного давления. Для примесных минералов глин процесс газовыделения в вакууме заканчивался при температуре на 50-150 °С, а разложение карбонатов сульфатов на 100-150 °С ниже, чем на воздухе.

Исследования влияния глубины вакуумирования на формирование прочных характеристик глин в интервале температур 700-1000 °С показали, что процесс спекания в вакууме начинался при температурах на 100-200 °С ниже, чем на воздухе для часов-ярской, рябовской, дружковской и кембрийской глин, и на 300 °С - для шагонарской глины. Интенсивному нарастанию прочности при обжиге образцов соответствовало остаточное давление 13,3 Па для часов-ярской глины, 133 Па - для рябовской и свердловской и 10⁴Па - для кембрийской и шагонарской глин. В интервале температур 700-1000 °С прочность образцов Часовярской глины возрастала с 21,9-50,7 МПа после обжига в воздушной среде до 57,4-90,1 МПа и 60,7-145,7 МПа - после обжига в вакууме при давлении 13,3 и 133 Па соответственно.

В восстановительной среде, характер которой определяет наличие H₂, H₂O, CO из оксида трехвалентного железа образуется вюстит FeO, обладающий большой флюсующей способностью. По данным, при нагревании глин в вакууме до температуры 950 °С содержание H₂, CO, CO₂ изменяется в пределах 0,00-62,06%, 2,18-

67,08% и 0,112-92,26% соответственно. Максимальное содержание кислорода при температуре выше 550 °С не превышает 2,1 % при суммарном содержании H_2+CO не ниже 6,59%.

Обжиг керамических материалов в вакууме приводит к ускорению реакций между Fe_2O_3 и Al_2O_3 .

Содержание вюстита в образцах, обожженных в вакууме при температуре 900 °С, в наружном слое составляло 2,12 %, во внутреннем - 2,21 %, в то время как после обжига на воздухе его содержание не превышало 0,01 и 0,17 % соответственно.

В вакууме при разряжении 133 Па кирпич может быть обожжен за 9 ч при температуре на 80 °С ниже, чем при атмосферном давлении. При этом прочность кирпича возрастала в 3 раза.

Использование вакуума в технологии строительной керамики различного назначения обеспечивает интенсификацию физико-химических процессов структурообразования материала, позволяет расширить интервал спекания; повысить эксплуатационные характеристики изделий; заменить дорогостоящие огнеупорные глины широко распространенным керамическим сырьем; снизить температуру и сократить продолжительность термообработки.

Для обжига санитарных изделий и керамических труб применяют туннельные печи открытого пламени, для обжига керамических плиток — однорядные щелевые печи с роликовым и сетчатым конвейерами для передвижения плиток в обжиговом пространстве. Процесс обжига разделяют на три периода: нагрев до максимальной температуры, выдержка, охлаждение.

3.4 Виды брака и способы их устранения

Возможные виды брака, причины и способы устранения при производстве керамических изделий приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Распространенные виды брака

Виды брака	Причины	Способы устранения
1	2	3
Брак при пластическом формовании		
1 Наличие в изломе сырца отдельных прослоек непроработанной глины	Недостаточная переработка глиномассы	Повысить стадийность переработки
2 Надрывы на углах и поверхностях глиняного бруса	Неудовлетворительное орошение, засорение и износ мундштука	Улучшить орошение мундштука, очистить или заменить мундштук

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
3 Шероховатый срез	Засорение глины в карьере	Переход на новый уступ разработки карьера
4 Растрескивание глиняного бруса	Большое проворачивание массы при недостаточном увлажнении	Повысить влажность глиномассы
5 Структурные S-образные или круговые наслоения (свилы)	Неправильный режим формования	Совершенствование головки прессы, совмещение формования с вибрацией, паровое увлажнение глины, применение добавок-отощителей и ПАВ
Брак при прессовании		
1 Трещины расслоения на боковых поверхностях сырца	Упругое расширение	Повышение влажности глинопорошка, снижение давления прессования, применение 2-стадийного прессования
2 Заусеницы на краях сырца	Износ боковых пластин формы и штампа	Замена облицовки формы
3. Вырывы на поверхностях сырца	Прилипание массы к штампу	Снижение влажности глинопорошка, повышение температуры обжига штампа
Брак при сушке сырца		
1 Трещины на поверхностях сырца	Повышенная усадка, интенсивный режим сушки, повышенная температура	Введение отощающих добавок, регулирование режима сушки, увлажнение теплоносителя водяным паром
2 Коробление изделия	Неравномерная сушка	Улучшение схемы укладки сырца, обеспечение равномерной подачи теплоносителя, цикличная подача теплоносителя
Брак при обжиге		
1 Трещины на поверхностях изделия	Высокая скорость нагрева в период интенсивной усадки изделия	Регулирование скорости обжига
2 Оплавление изделий	Повышенная конечная температура обжига	Снижение максимальной температуры обжига
3 Невысокая прочность и морозостойкость изделий (недожог)	Низкая температура обжига, сокращенный период обжига, нарушение режима охлаждения	Регулирование параметров обжига
4 Наличие в объеме и на поверхностях изделий включений белого цвета ("дутик")	Использование глинистого сырья с высоким содержанием карбонатов (3-7 %)	Интенсивная подготовка сырья, включая тонкое измельчение

4 Основы производства пористой керамики

Керамзит представляет собой легкий пористый материал ячеистого строения в виде гравия, реже в виде щебня, получаемый при обжиге глинистых легкоплавких пород, способных всучиваться при быстром нагревании их до температуры 1050 – 1300⁰С в течение 25–45 мин. Качество керамзитового гравия характеризуется размером его зерен, объемным весом и прочностью. В зависимости от размера зерен керамзитовый гравий делят на следующие фракции: 5 – 10, 10 – 20 и 20 – 40 мм, зерна менее 5 мм относят к керамзитовому песку. В зависимости от объемного насыпного веса (в кг/м³) гравий делят на марки от 150 до 800. Водопоглощение керамзитового гравия 8–20 %, морозостойкость должна быть не менее 25 циклов.

Керамзит применяют в качестве пористого заполнителя для легких бетонов, а также в качестве теплоизоляционного материала в виде засыпок.

Керамзитовый гравий — частицы округлой формы с оплавленной поверхностью и порами внутри. Керамзит получают главным образом в виде керамзитового гравия. Зерна его имеют округлую форму. Структура пористая, ячеистая. На поверхности его часто имеется более плотная корочка. Цвет керамзитового гравия обычно темно-бурый, в изломе — почти черный. Его получают вспучиванием при обжиге легкоплавких глин во вращающихся печах. Такой гравий с размерами зерен 5 – 40 мм морозоустойчив, огнестоек, не впитывает воду и не содержит вредных для цемента примесей. Керамзитовый гравий используют в качестве заполнителя при изготовлении легкобетонных конструкций.

Керамзитовый щебень — заполнитель для легких бетонов произвольной формы, преимущественно угловатой с размерами зерен от 5 до 40 мм, получаемый путем дробления крупных кусков вспученной массы керамзита.

Некоторые глины при обжиге вспучиваются. Например, при производстве глиняного кирпича один из видов брака — пережог, иногда сопровождается вспучиванием. Это явление использовано для получения из глин пористого материала — керамзита.

Вспучивание глины при обжиге связано с двумя процессами: газовойделением и переходом глины в пиропластическое состояние.

Источниками газовойделения являются реакции восстановления окислов железа при их взаимодействии с органическими примесями, окисление этих примесей, дегидратация гидрослюдов и других глинистых водосодержащих минералов, диссоциация карбонатов и

т.д. При высокой температуре в глинах образуется жидкая фаза (расплав), в результате чего глина размягчается, приобретает способность к пластической деформации, в то же время становится газонепроницаемой и вспучивается выделяющимися газами.

Для изготовления керамзитобетонных изделий нужен не только керамзитовый гравий, но и мелкий пористый заполнитель.

Керамзитовый песок — заполнитель для легких бетонов и растворов с размером частиц от 0,14 до 5 мм получают при обжиге глинистой мелочи во вращающихся и шахтных печах или же дроблением более крупных кусков керамзита.

Производство керамзитового песка по обычной технологии во вращающейся печи неэффективно. Некоторая примесь песчаной фракции получается при производстве керамзитового гравия за счет разрушения части гранул в процессе термообработки, однако он сравнительно тяжелый, так как мелкие частицы глинистого сырья практически не вспучиваются (резервы газообразования исчерпываются раньше, чем глина переходит в пиропластическое состояние). Кроме того, в зоне высоких температур мелкие гранулы разогреваются сильнее крупных, при этом, возможно, их оплавление и налипание на зерна гравия.

На многих предприятиях керамзитовый песок получают дроблением керамзитового гравия, преимущественно в валковых дробилках. Себестоимость дробленого керамзитового песка высока не только в связи с дополнительными затратами на дробление, но главным образом потому, что выход песка всегда меньше объема дробимого гравия. Коэффициент выхода песка составляет 0,4—0,7, т.е. в среднем из 1 м³ гравия получают только около 0,5 м³ дробленого керамзитового песка. При этом почти вдвое возрастает его насыпная плотность.

В настоящее время при получении керамзитового песка лучшей считают технологию обжига в кипящем слое.

В вертикальную печь загружается глиняная крошка крупностью до 3 или 5 мм, получаемая дроблением подсушенной глины или специально приготовленных по пластическому способу и затем высушенных гранул. Через решетчатый (пористый) под печи снизу под давлением подают воздух и газообразное топливо (или же горячие газы из выносной топки). При определенной скорости подачи газов слой глиняной крошки разрыхляется, приходит в псевдооживленное состояние, а при ее увеличении как бы кипит. Газообразное топливо сгорает непосредственно в кипящем слое. Благодаря интенсификации теплообмена в кипящем слое происходит быстрый и равномерный

нагрев материала. Частицы глины обжигаются и вспучиваются примерно за 1,5 мин. Перед подачей в печь обжига глиняная крошка подогревается в кипящем слое реактора термopодготовки примерно до 300°C, а готовый песок после обжига охлаждается в кипящем слое холодильного устройства. Насыпная плотность получаемого керамзитового песка— 500—700 кг/м³. К зерновому составу керамзитового песка предъявляются требования, аналогичные требованиям к природному песку, но крупных фракций в нем должно быть больше.

Проблему получения керамзитового песка, достаточно эффективного по свойствам и себестоимости, нельзя считать полностью решенной. Часто при получении керамзитобетона в качестве мелкого заполнителя применяют вспученный перлит, а также природный песок.

4.1 Сырье для производства керамзитового гравия

Сырьем для производства керамзита служат глинистые породы, относящиеся в основном к осадочным горным. Некоторые глинистые камнеподобные породы — глинистые сланцы, аргиллиты — относятся к метаморфическим.

Для производства керамзита наиболее пригодны монтмориллонитовые и гидрослюдистые глины, содержащие не более 30% кварца. Общее содержание SiO₂ должно быть не более 70%, Al₂O₃ — не менее 12% (желательно около 12%), Fe₂O₃ + FeO — до 10%, органических примесей -1-2%.

Пригодность того или иного глинистого сырья для производства керамзита устанавливают специальным исследованием его свойств. Важнейшее из требований к сырью - вспучивание при обжиге.

Вспучиваемость характеризуется коэффициентом вспучивания

$$k_B = \frac{V_K}{V_C} \quad (4.1)$$

где V_K — объем вспученной гранулы керамзита;

V_C — объем сухой сырцовой гранулы до обжига.

Второе требование к сырьевым материалам (в значительной степени связанное с первым) — легкоплавкость. Температура обжига должна быть не выше 1250°C, и при этом переход значительной части наиболее мелких глинистых частиц в расплав должен обеспечить достаточное размягчение и вязкость массы. Иначе образующиеся при обжиге глины газы, не удерживаемые массой, свободно выйдут, не

вспучив материал.

Третье из важнейших требований — необходимый интервал вспучивания. Так называют разницу между предельно возможной температурой обжига и температурой начала вспучивания данного сырья. За температуру начала вспучивания принимают ту температуру, при которой уже получается керамзит с плотностью гранулы $0,95 \text{ г/см}^3$. Предельно возможной температурой обжига считается температура начала оплавления поверхности гранул.

Для расширения температурного интервала вспучивания используют такой прием, как опудривание сырцовых глиняных гранул порошком огнеупорной глины, что позволяет повысить температуру обжига и при этом избежать оплавления гранул.

4.2 Применение керамзитового гравия

Наиболее широкое применение керамзитобетон находит в качестве стенового материала. В ряде районов стеновые панели из керамзитобетона стали основой массового индустриального строительства. Особенно эффективно применение для стеновых панелей хорошо вспученного легкого керамзитового гравия марок 300, 400, до 500 (по насыпной плотности).

Плотность конструкционно-теплоизоляционного керамзитобетона для однослойных стеновых панелей, как правило, составляет $900\text{—}1100 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии — $5\text{—}7,5 \text{ МПа}$. Такой бетон в конструкции выполняет одновременно несущую и теплоизоляционную функции. В двух- или трехслойных стеновых панелях требуемую несущую способность может обеспечить слой (или два слоя) конструкционного керамзитобетона, а теплозащитную — слой крупнопористого теплоизоляционного керамзитобетона плотностью $500\text{—}600 \text{ кг/м}^3$.

Теплоизоляционный крупнопористый керамзитобетон - самый легкий бетон, который можно получить на данном заполнителе. Его плотность при минимальном расходе цемента лишь немного больше насыпной плотности керамзитового гравия.

На керамзите марок 700, 800 получают конструкционные легкие бетоны с пределом прочности при сжатии 20, 30, 40 МПа, используемые для производства панелей перекрытий и покрытий, в мостостроении, где особенно важно снизить массу конструкций.

4.3 Номенклатура керамзитового гравия

В ГОСТ 9759—76 предусматриваются следующие фракции керамзитового гравия по крупности зерен: 5—10, 10—20 и 20—40

мм. В каждой фракции допускается до 5% более мелких и до 5% более крупных зерен по сравнению с номинальными размерами. Из-за невысокой эффективности грохочения материала в барабанных грохотах трудно добиться разделения керамзита на фракции в пределах установленных допусков.

По **насыпной плотности** керамзитовый гравий подразделяется на 10 марок: от 250 до 800, причем к марке 250 относится керамзитовый гравий с насыпной плотностью до 250 кг/м³, к марке 300 — до 300 кг/м³ и т. д. Насыпную плотность определяют по фракциям в мерных сосудах. Чем крупнее фракция керамзитового гравия, тем, как правило, меньше насыпная плотность, поскольку крупные фракции содержат наиболее вспученные гранулы.

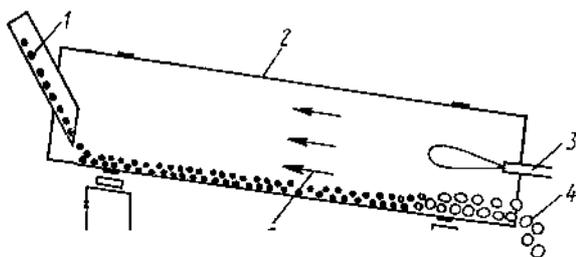
Для каждой марки по насыпной плотности стандарт устанавливает требования к прочности керамзитового гравия при сдавливании в цилиндре и соответствующие им марки по прочности (таблица 4.1). Маркировка по прочности позволяет сразу наметить область рационального применения того или иного керамзита в бетонах соответствующих марок. Более точные данные получают при испытании заполнителя в бетоне

Таблица 4.1 - Требования к прочности керамзитового гравия

Марка по насыпной плотности	Высшая категория качества		Первая категория качества	
	Марка по прочности	Предел прочности при сдавливании в цилиндре, МПа, не менее	Марка по прочности	Предел прочности при сдавливании в цилиндре, МПа, не менее
250	П35	0,8	П25	0,6
300	П50	1	П35	0,8
350	П75	1,5	П50	1,0
400	П75	1,8	П50	1,2
450	П100	2,1	П75	1,5
500	П125	2,5	П75	1,8
550	П150	3,3	П100	2,1
600	П150	3,5	П125	2,5
700	П200	4,5	П150	3,3
800	П250	5,5	П200	4,5

4.4 Технологический процесс производства керамзита

Сущность технологического процесса производства керамзита состоит в обжиге глиняных гранул по оптимальному режиму. Для вспучивания глиняной гранулы нужно, чтобы активное газовыделение совпало по времени с переходом глины в пиропластическое состояние. Между тем в обычных условиях газообразование при обжиге глин происходит в основном при более низких температурах, чем их пиропластическое размягчение. Например, температура диссоциации карбоната магния — до 600°C , карбоната кальция — до 950°C , дегидратация глинистых минералов происходит в основном при температуре до 800°C , а выгорание органических примесей еще ранее, реакции восстановления окислов железа развиваются при температуре порядка 900°C , тогда как в пиропластическое состояние глины переходят при температурах, как правило, выше 1100°C .



1- загрузка сырьевых гранул; 2- вращающаяся печь; 3- форсунка; 4- вспученный керамзитовый гравий; 5- поток горячих газов

Рисунок 4.1 - Схема вращающейся печи для производства керамзита

В связи с этим при обжиге сырьевых гранул в производстве керамзита необходим быстрый подъем температуры, так как при медленном обжиге значительная часть газов выходит из глины до ее размягчения, и в результате получают сравнительно плотные маловспученные гранулы. Но чтобы быстро нагреть гранулу до температуры вспучивания, ее сначала нужно подготовить, т. е. высушить и подогреть. В данном случае интенсифицировать процесс нельзя, так как при слишком быстром нагреве в результате усадочных и температурных деформаций, а также быстрого парообразования гранулы могут потрескаться или разрушиться (взорваться).

Оптимальным считается ступенчатый режим термообработки по С. П. Онацкому: с постепенным нагревом сырьевых гранул до 200°C —

600°С (в зависимости от особенностей сырья) и последующим быстрым нагревом до температуры вспучивания (примерно 1200°С).

Обжиг осуществляется во вращающихся печах (рисунок 4.1), представляющих собой цилиндрические металлические барабаны диаметром до 2,5—5 м и длиной до 40—75 м, футерованные изнутри огнеупорным кирпичом. Печи устанавливаются с уклоном примерно 3 % и медленно вращаются вокруг своей оси. Благодаря этому сырьевые гранулы, подаваемые в верхний конец печи, при ее вращении, постепенно передвигаются к другому концу барабана, где установлена форсунка для сжигания газообразного или жидкого топлива. Таким образом, вращающаяся печь работает по принципу противотока: сырьевые гранулы перемещаются навстречу потоку горячих газов, подогреваются и, наконец, попав в зону непосредственного воздействия огненного факела форсунки, вспучиваются. Среднее время пребывания гранул в печи — примерно 45 мин.

Чтобы обеспечить оптимальный режим термообработки, зону вспучивания печи, непосредственно примыкающую к форсунке, иногда отделяют от остальной части (зоны подготовки) кольцевым порогом. Применяют также двухбарабанные печи, в которых зоны подготовки и вспучивания представлены двумя сопряженными барабанами, вращающимися с разными скоростями.

В двухбарабанной печи удается создать оптимальный для каждого вида сырья режим термообработки. Промышленный опыт показал, что при этом улучшается качество керамзита, значительно увеличивается его выход, а также сокращается удельный расход топлива. В связи с тем, что хорошо вспучивающегося глинистого сырья для производства керамзита сравнительно мало, при использовании средне- и слабо вспучивающегося сырья необходимо стремиться к оптимизации режима термообработки.

Из зарубежного опыта известно, что для получения заполнителей типа керамзита из сырья (промышленных отходов), отличающегося особой чувствительностью к режиму обжига, используют трехбарабанные вращающиеся печи или три-четыре последовательно располагаемые печи, в которых обеспечиваются не только оптимальные скорость и длительность нагрева на каждом этапе термообработки, но и различная газовая среда.

Значение характера газовой среды в производстве керамзита обусловлено происходящими при обжиге химическими реакциями. В восстановительной среде окись железа Fe_2O_3 переходит в закись FeO , что является не только одним из источников газообразования, но и

важнейшим фактором перехода глины в пиропластическое состояние. Внутри гранул восстановительная среда обеспечивается за счет присутствия органических примесей или добавок, но при окислительной среде в печи (при большом избытке воздуха) органические примеси и добавки могут преждевременно выгореть. Поэтому окислительная газовая среда на стадии термоподготовки, как правило, нежелательна, хотя имеется и другая точка зрения, согласно которой целесообразно получать высокопрочный керамзитовый гравий с невспученной плотной корочкой. Такая корочка толщиной до 3 мм образуется (по предложению Северного филиала ВНИИСТ) при выгорании органических примесей в поверхностном слое гранул, обжигаемых в окислительной среде.

При производстве керамзита следует стремиться к повышению коэффициента вспучивания сырья, так как невспучивающегося или маловспучивающегося глинистого сырья для получения высокопрочного заполнителя имеется много, а хорошо вспучивающегося не хватает. С этой точки зрения наличие плотной корочки значительной толщины на керамзитовом гравии свидетельствует о недоиспользовании способности сырья к вспучиванию и уменьшению выхода продукции.

В восстановительной среде зоны вспучивания печи может произойти оплавление поверхности гранул, поэтому газовая среда здесь должна быть слабоокислительной. При этом во вспучивающихся гранулах поддерживается восстановительная среда, обеспечивающая пиропластическое состояние массы и газовыделение, а поверхность гранул не оплавляется.

Характер газовой среды косвенно, через окисное или закисное состояние железистых примесей, отражается на цвете керамзита. Красновато-бурая поверхность гранул говорит об окислительной среде (Fe_2O_3), темно-серая, почти черная окраска в изломе,— о восстановительной (FeO),

Различают четыре основные технологические схемы подготовки сырцовых гранул, или четыре способа производства керамзита: сухой, пластический, порошково-пластический и мокрый.

Сухой способ используют при наличии глинистого камнеподобного сырья (плотные сухие глинистые породы, глинистые сланцы). Он наиболее прост: сырье дробится и направляется во вращающуюся печь. Предварительно необходимо отсеять мелочь и слишком крупные куски, направив последние на дополнительное дробление. Этот способ оправдывает себя, если исходная порода однородна, не содержит вредных включений и характеризуется

достаточно высоким коэффициентом вспучивания.

Наибольшее распространение получил **пластический способ**. Рыхлое глинистое сырье по этому способу перерабатывается в увлажненном состоянии в вальцах, глиномешалках и других агрегатах (как в производстве кирпича). Затем из пластичной глиномассы на дырчатых вальцах или ленточных шнековых прессах формуется сырцовые гранулы в виде цилиндриков, которые при дальнейшей транспортировке или при специальной обработке окатываются, округляются.

Качество сырцовых гранул во многом определяет качество готового керамзита. Поэтому целесообразна тщательная переработка глинистого сырья и формование плотных гранул одинакового размера. Размер гранул задается исходя из требуемой крупности керамзитового гравия и установленного для данного сырья коэффициента вспучивания.

Гранулы с влажностью примерно 20 % могут сразу направляться во вращающуюся печь или, что выгоднее, предварительно подсушиваться в сушильных барабанах, в других теплообменных устройствах с использованием тепла отходящих дымовых газов вращающейся печи. При подаче в печь подсушенных гранул ее производительность может быть повышена.

Таким образом, производство керамзита по пластическому способу сложнее, чем по сухому, более энергоемко, требует значительных капиталовложений. Но, с другой стороны, переработка глинистого сырья с разрушением его естественной структуры, усреднение, гомогенизация, а также возможность улучшения его добавками позволяют увеличить коэффициент вспучивания.

Порошково-пластический способ отличается от пластического тем, что вначале помолом сухого глинистого сырья получают порошок, а потом из этого порошка при добавлении воды получают пластичную глиномассу, из которой формуют гранулы, как описано выше. Необходимость помола связана с дополнительными затратами. Кроме того, если сырье недостаточно сухое, требуется его сушка перед помолом. Но в ряде случаев этот способ подготовки сырья целесообразен. Если сырье неоднородно по составу, то в порошкообразном состоянии его легче перемешать и гомогенизировать. Если требуется вводить добавки, то при помоле их легче равномерно распределить. Если в сырье есть вредные включения зерен известняка, гипса, то в размолотом и распределенном по всему объему состоянии они уже не опасны; если такая тщательная переработка сырья приводит к улучшению

вспучивания, то повышенный выход керамзита и его более высокое качество оправдывают произведенные затраты.

Мокрый (шликерный) способ заключается в разведении глины в воде в специальных больших емкостях — глиноболтушках. Влажность получаемой пульпы (шликера, шлама) - примерно 50%. Пульпа насосами подается в шламбассейны и оттуда — во вращающиеся печи. В этом случае в части вращающейся печи устраивается завеса из подвешенных цепей. Цепи служат теплообменником: они нагреваются уходящими из печи газами и подсушивают пульпу, затем разбивают подсыхающую «кашу» на гранулы, которые окатываются, окончательно высыхают, нагреваются и вспучиваются. Недостаток этого способа — повышенный расход топлива, связанный с большой начальной влажностью шликера. Преимуществами являются достижение однородности сырьевой пульпы, возможность и простота введения и тщательного распределения добавок, простота удаления из сырья каменистых включений и зерен известняка. Этот способ рекомендуется при высокой карьерной влажности глины, когда она выше формовочной (при пластическом формовании гранул). Он может быть применен также в сочетании с гидромеханизированной добычей глины и подачей ее на завод в виде пульпы по трубам вместо применяемой сейчас разработки экскаваторами с перевозкой автотранспортом.

Керамзит, получаемый по любому из описанных выше способов, после обжига необходимо охладить. Установлено, что от скорости охлаждения зависят прочностные свойства керамзита. При слишком быстром охлаждении керамзита его зерна могут растрескаться или же в них сохранятся остаточные напряжения, которые могут проявиться в бетоне. С другой стороны, и при слишком медленном охлаждении керамзита сразу после вспучивания возможно снижение его качества из-за смятия размягченных гранул, а также в связи с окислительными процессами, в результате которых FeO переходит в Fe₂O₃, что сопровождается деструкцией и снижением прочности.

Сразу после вспучивания желательно быстрое охлаждение керамзита до температуры 800—900°С для закрепления структуры и предотвращения окисления закисного железа. Затем рекомендуется медленное охлаждение до температуры 600—700°С в течение 20 мин для обеспечений затвердевания стеклофазы без больших термических напряжений, а также формирования в ней кристаллических минералов, повышающих прочность керамзита. Далее возможно сравнительно быстрое охлаждение керамзита в течение нескольких

минут.

Первый этап охлаждения керамзита осуществляется еще в пределах вращающейся печи поступающим в нее воздухом. Затем керамзит охлаждается воздухом в барабанных, слоевых холодильниках, аэрожелобах.

Для фракционирования керамзитового гравия используют грохоты, преимущественно барабанные — цилиндрические или многогранные (бураты).

Внутризаводской транспорт керамзита — конвейерный (ленточные транспортеры), иногда пневматический (потоком воздуха по трубам). При пневмотранспорте возможно повреждение поверхности гранул и их дробление. Поэтому этот удобный и во многих отношениях эффективный вид транспорта керамзита не получил широкого распространения.

Фракционированный керамзит поступает на склад готовой продукции бункерного или силосного типа.

4.5 Способы получения керамзита

4.5.1 Вспучивание глинистого сырья на керамзит в печах кипящего слоя

В последнее время в некоторых отраслях промышленности, особенно цветной металлургии, получил развитие метод обжига материалов в кипящем слое. Этот метод успешно опробован также в производстве цементного клинкера, извести и нового заполнителя легких бетонов — перлита. Кипящий слой образуется тогда, когда через слой материала надлежащей крупности зерен проходит восходящий поток газа со скоростью, достаточно высокой, чтобы нарушить неподвижность и создать интенсивное турбулентное движение, напоминающее кипение жидкости. При этом скорость газового потока должна быть промежуточной между минимальной скоростью, при которой зерна как бы теряют массу (скорость витания), и скоростью, при которой они выносятся из рабочей камеры аппарата (взвешенное состояние).

Внутри кипящего слоя можно сжигать твердое, жидкое и газообразное топливо или подавать для обжига теплоноситель извне. Поверхность контакта зерен обжигаемого материала и теплоносителя достигает в кипящем слое максимальной величины, вследствие чего коэффициент теплопередачи отличается весьма высокими показателями—около $209 \text{ Вт/м}^0\text{С}$.

Увеличение поверхности контакта способствует ускорению тепло- и массообмена, а непрерывное перемешивание частиц

материала обеспечивает выравнивание температуры в слое, что позволяет проводить процесс быстро и в небольших рабочих объемах. Процессы в кипящем слое легко регулируются и поддаются автоматизации. Как показала практика, в кипящем слое можно обрабатывать зерна твердых материалов размером от долей миллиметра до 10 мм при различной влажности, так как влага, попадающая в кипящий слой, почти мгновенно испаряется.

Наряду с большими достоинствами метод кипящего слоя обладает и рядом недостатков. Так, интенсивное движение частиц в слое и взаимное их перемещение не позволяют предсказать положения частицы в какой-либо промежуток времени. Это означает, что часть поступающих в камеру свежих частиц может скорее выйти из слоя, чем это требуется, и перегревается, что для ряда технологических процессов неприемлемо. Другой недостаток метода вытекает из условий взаимного соударения частиц и ударов их о стенки камеры, что приводит к истиранию материала и накоплению пыли, а также преждевременному износу аппарата.

Печи для обжига в кипящем слое имеют самую разнообразную конструкцию. Они подразделяются на одно- и многокамерные. Каждая печь состоит из камеры, свода, пода, устройств для загрузки и выгрузки материала и газоходов.

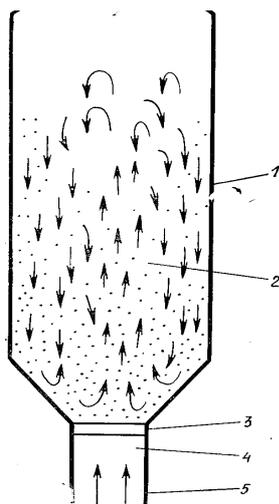
Места загрузки и выгрузки материала могут быть расположены сверху, снизу или сбоку печи, но всегда друг против друга. Наиболее существенной частью печи является под, представляющий собой устройство для равномерного распределения газа (воздуха), поступающего в печь, по нижнему горизонтальному сечению слоя. Каждая рабочая камера печи в горизонтальном сечении может быть выполнена в форме квадрата, прямоугольника, круга и т. д.

4.5.2 Циркуляционный способ

Кипящий слой псевдооживленного зернистого материала восходящими вверх газовыми потоками является не единственным его состоянием в этих условиях. Так, если в камеру 1 (рисунок 4.1) на решетку 3 через патрубок 4 засыпать гранулированный материал, то он образует плотный слой с определенной межзерновой пустотностью. При подаче через этот слой восходящего потока газа с постепенно увеличивающейся скоростью материал сначала будет оставаться неподвижным, а сопротивление слоя будет расти с увеличением скорости газа. Когда же сила сопротивления фильтрации газа сравняется с весом слоя зернистого материала, то дальнейший рост гидравлического сопротивления прекращается и увеличение скорости газового потока приводит к расширению слоя. При этом

слой взвешивается, увеличивается в объеме, частицы приобретают подвижность. Поверхность слоя в этом случае выравнивается, и если в стенке камеры сделать отверстие 2, то через него будет вытекать струя материала. Это и послужило основанием назвать слой зернистого материала со свойствами текучести—псевдооживленным. При дальнейшем увеличении скорости газа через псевдооживленный слой будут прорываться пузырьки, слой начнет интенсивно перемешиваться и бурлить, напоминая кипящую жидкость, что послужило основанием назвать его в этом состоянии кипящим слоем. Характерным состоянием кипящего слоя является его относительная плотность, при которой зерна не отрываются в пространство для витания.

Новое увеличение скорости газа сопровождается выносом зерен материала из кипящего слоя.



1 - корпус; 2 - центральный фонтан; 3 - решетка; 4 - патрубок для подвода газа; 5 - конус материала

Рисунок 4.2 - Схематическое изображение фонтанирующего слоя

Происходящая таким образом циркуляция частиц— подъем в фонтане центральной части слоя и опускание в периферийной — отражает новое состояние материала, получившего название фонтанирующего слоя. Циркуляция частиц здесь более интенсивна, чем в обычных псевдооживленных слоях.

Построенная в 1965 г. фирмой «Деннерт» в г. Хенге близ

Нюрнберга установка производительностью 400м³ керамзитового гравия в сутки с использованием метода обжига заполнителя в фонтанирующем слое характеризуется следующими особенностями.

Сырьем для производства керамзита служит тонкодисперсная легкоплавкая глина с карьерной влажностью 13—15 %. При указанной влажности глина сравнительно плотная и может подвергаться тонкому дроблению без замазывания механизмов. Ее химический состав характеризуется содержанием (в %): SiO₂—49,10; Fe₂O₃— 7,98; Al₂O₃— 21,89; MnO—0,11; CaO—3,58; MgO—1,57; SO₂—1,85; R₂O—2,86 и п.п.п.—11,06.

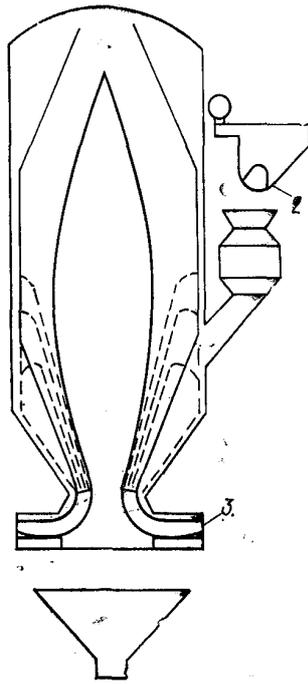
На карьере глину добывают многоковшовым экскаватором на гусеничном ходу. Параллельно фронту добычи глины установлен ленточный конвейер длиной 150 м. Предварительно глину, доставляемую с карьера измельчают на валковой дробилке. Затем она поступает в ящичный подаватель, проходит через металлический желоб с электромагнитом для очистки от металлических включений и поступает в ударно-отражательную дисковую мельницу, где тонко измельчается и гомогенизируется при естественной влажности. Далее тонкоизмельченная глина непрерывным потоком направляется в тарельчатый гранулятор, где к ней добавляют 2—4 % воды и специальную добавку, способствующую образованию шаровидной формы гранул. По ленточному конвейеру гранулы поступают в сушильный противоточный барабан длиной 10 и диаметром 1,5 м.

После выхода из сушильного барабана от материала отделяются мелкие и крупные фракции, которые направляются обратно для повторной переработки в ударно-отражательную дисковую мельницу, а гранулы размером от 1 до 12 мм, нагретые в сушильном барабане до 200°С, конвейером подаются в промежуточный бункер объемом 5 м³.

При рассмотренной системе подготовки перерабатываться может также глина и с влажностью выше 20 °/о. В этом случае мельница, тарельчатый гранулятор и сушильный барабан имеют соответственно большие размеры и постоянно загружаются с избытком. Избыточный материал автоматически отводится обратно в мельницу. Здесь сухой материал смешивается с влажным сырьем и перерабатывается по схеме.

Печная установка состоит из бункера объемом 5 м³, загрузочного шлюза, камеры обжига, специальной горелки и затвора. Установка работает периодически с загрузкой каждые 40 с.

Из бункера сухие гранулы поступают в объемный дозатор, откуда они периодически загружаются в печь, где обжигаются в фонтанирующем слое (рисунок 4.3).



1- отходящие газы; 2 - загрузка; 3 - выгрузка

Рисунок 4.3 – Схема печи с фонтанирующим слоем

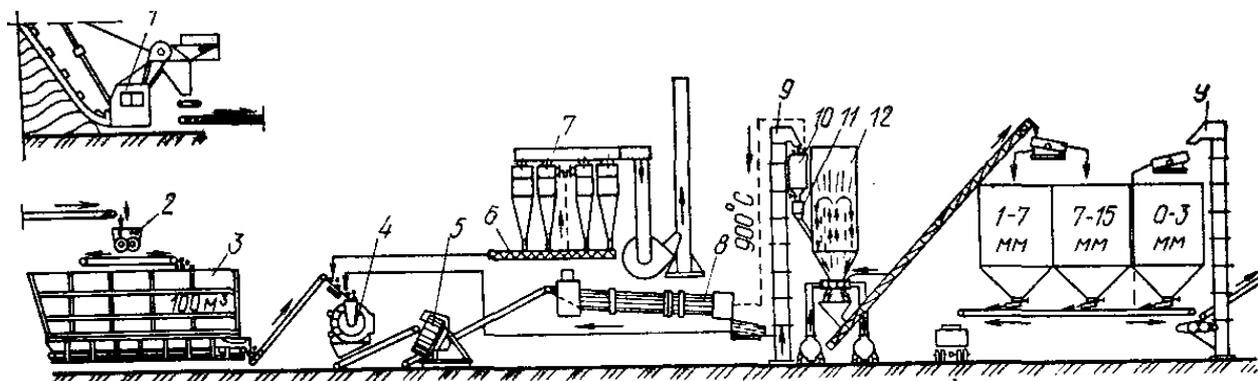
В печи гранулы захватываются идущим вверх потоком газов и поднимаются вверх до тех пор, пока сила газового потока не станет меньше силы тяжести обжигаемого материала, который попадает вниз, затем снова захватывается и поднимается потоком газа и т. д. Циркулируя таким образом в течение 40 с, гранулы вспучиваются. Затем подача топлива прекращается, открывается затвор и в течение 4 с вспученный материал выгружается. Обожженный материал отгружается конвейером на сортировку, а новая партия гранулированного материала поступает в печь на вспучивание.

Вследствие теплового удара зерна керамзита имеют твердую прочную оболочку, значительно увеличивающую прочность зерна. При этом вследствие равномерной тепловой обработки мелкие и крупные гранулы одинаково хорошо вспучиваются. Печь футерована легковесным огнеупорным теплоизоляционным материалом. Наружная температура стены не превышает 50°C, т. е. потери теплоты через излучение малы.

Высота обжиговой печи 10 м, внутренний диаметр в свету 2,5 м. За исключением затвора и шлюза подвижных деталей печь не имеет. Отработанные дымовые газы из печи поступают в сушильный барабан и после выхода из него обеспыливаются в циклонах.

В противоположность классическому способу производства керамзита во вращающихся печах циркуляционный способ позволяет пускать и останавливать всю установку в любое время без опасности для печи и футеровки, а также без больших теплотерь. На растопку полностью остывшей установки требуется 60 мин, а частично остывшей— 15 мин.

Управление всей установкой автоматизировано. Продолжительность загрузки и разгрузки печи контролируется реле времени. Изменение продолжительности или температуры обжига вызывает изменение насыпной плотности обжигаемого материала и наоборот. Зона обжига контролируется телевизионной камерой, а работа печи регулируется с пульта управления. Печь в настоящее время работает на легком моторном масле, но может также работать на природном газе и мазуте. Расход теплоты на обжиг 1 кг керамзита в фонтанирующем слое составляет всего 3990 кДж, а расход электроэнергии 15 кВт/т. Выпускаемый керамзитовый гравий с насыпной плотностью 500 кг/м³ характеризуется повышенной прочностью и используется для приготовления высоко-прочного керамзитобетона при изготовлении напряженно-армированных конструкций. Схема производства керамзитового гравия с обжигом по циркуляционному способу показана на рисунке 4.4



1 - многоковшовый экскаватор; 2 - валковая дробилка; 3 -ящичный подаватель (100 м³); 4 - ударно-отражательная дисковая мельница; 5 - тарельчатый гранулятор; 6 - шнек для отвода пыли; 7 - циклонный пылеулавливатель; 8 - сушильный барабан; 9 - ковшовый элеватор; 10 - запасной бункер (5 м³), 11 - загрузочный шлюз; 12 - печь с фонтанирующим слоем

Рисунок 4.4 - Технологическая схема производства

керамзитового гравия по циркуляционному способу

4.5.3 Вспучивание глинистого сырья на керамзит вибрационным методом

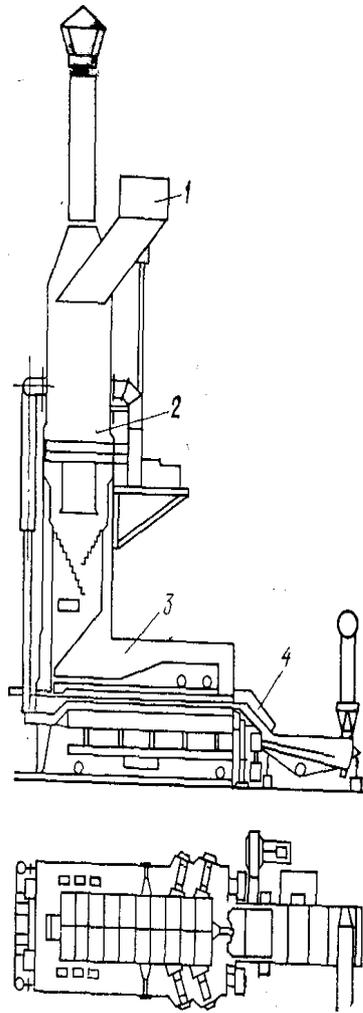
Новизна метода, названного вибрационным, состоит в применении для обжига керамзитового гравия специальной комбинированной установки, выполняющей следующие технологические функции: сушку гранулированного материала, предварительный его подогрев, вспучивание и охлаждение обожженного продукта.

Существенная особенность вибрационного способа изготовления керамзитового гравия — приготовление гранулированного глинистого сырья шаровидной формы и примерно одинакового размера, что легко достигается на тарельчатом грануляторе.

Технологический процесс изготовления керамзитового гравия по вибрационному способу характеризуется следующей последовательностью. Исходная глина в природном состоянии или после ее подсушки до 15%-ной влажности измельчается в порошок с максимальным размером зерен около 0,2 мм и подается в тарельчатый гранулятор, где при добавке 2—4 % воды формируются шаровидной формы гранулы примерно одинакового размера. Для лучшего склеивания порошкообразного материала применяют специальную химическую добавку.

Одинаковый размер гранул при формовании достигается правильно отрегулированным положением тарелки, скоростью ее вращения и дозированием воды.

Вибрационная установка работает по следующей схеме. Полученный на тарельчатом грануляторе однородный по размеру зерен материал по загрузочной трубе подается в сушильную камеру установки (рисунок 4.5), откуда под действием силы тяжести поток материала поступает в шахту предварительного нагрева. В шахте происходит теплообмен между материалом и восходящими потоками топочных газов, поступающих из камеры горения.



1 - загрузка; 2 - шахта для подогрева; 3 - вибростол; 4 – выгрузка

Рисунок 4.5 - Установка для производства керамзита по вибрационному методу (ФРГ)

Установку для вспучивания загружают через загрузочный желоб, работу которого регулируют с помощью электромагнитных импульсов

Гранулированный материал проходит горизонтальную область зоны вспучивания в течение примерно 1 мин. Зона обогревается непосредственно с помощью двух пар форсунок, работающих на жидком топливе. Температура в зоне вспучивания поддерживается на уровне около 1100°С. Вибрирующая поверхность транспортера на качающейся раме с воздушным охлаждением защищена от

воздействия высоких температур огнеупорной футеровкой. Материал движется по инерционному столу спокойным потоком.

Горячие, вспученные зерна скатываются на охлаждающий желоб.

Достоинством установки является то, что она объединяет в одной конструкции устройства для сушки, подогрева, вспучивания и охлаждения. Это делает ее весьма энергетически экономичной. Расход теплоты на 1 кг керамзита составляет около 2940 кДж, а электроэнергии—около 14,5 кВт·ч на 1 т. Конструктивные размеры печи производительностью 50 т керамзита в сутки следующие: площадь основания 24 м², высота 10 м.

4.5.4 Вспучивание глинистого сырья на керамзит в электрическом поле высокой частоты

Применение метода кипящего слоя позволило устранить ряд недостатков классической технологии производства керамзита с обжигом во вращающихся печах, однако многие из них, особенно обусловленные нерациональным топливосжиганием и подводом теплоты к частицам материала, остались нерешенными.

Глинистые гранулы различных размеров и формы как в отдельности, так и в слое в разные периоды обжига имеют различную влажность, плотность, теплопроводность и температуропроводность. Поэтому они нагреваются и вспучиваются неравномерно, что приводит к преждевременному перегреву одних и недожогу других, а показатели насыпной плотности и прочности керамзита характеризуются нередко большим разбросом.

Тодес О. М., Гринбаум М. Б., Станякин В. М., Черемский А. Л. и др. предложили и исследовали новый метод получения керамзита с обжигом в электрическом поле высокой частоты, в значительной мере лишенный указанных недостатков. Способ основан на использовании токов высокой частоты для внутреннего диэлектрического нагрева зерен глинистого материала до температуры вспучивания и выделения теплоты при поддержании экзотермических реакций в температурном интервале порообразования.

Воздействие поляризации в высокочастотном поле на глинистый материал приводит к интенсификации реакций газовой выделенности, что исключает необходимость ввода ряда добавок, стимулирующих вспучивание.

Тепловой высокочастотный удар обеспечивает также перемещение ряда реакций газовой выделенности в область высоких температур, когда материал приводится в пиропластическое состояние с оптимальной для вспучивания вязкостью. Особое

преимущество диэлектрического нагрева состоит в определенной его избирательности, что делает процесс обжига стабильным и не зависимым от плотности, размера формы, теплопроводности и температуропроводности зерен материала.

Рациональное аппаратурное оформление конструкции установки, сочетающей в себе высокочастотный нагрев в кипящем слое с эффективным использованием теплоты отходящего газа и керамзита в двух движущихся слоях, показано на рисунке 4.6.

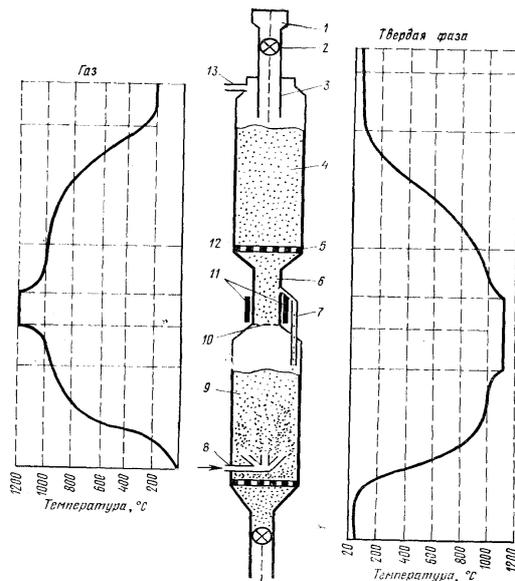


Рисунок 4.6 - Схема модели печи кипящего слоя с обжигом в электрическом поле токов высокой частоты и распределения температуры газов и материала по высоте

Гранулированный материал равномерно подается из бункера 1 питателем 2 через патрубок 3 в движущийся слой 4. В этом слое материал прогревается за счет отходящих газов, направляемых через патрубок 13. Далее материал через отверстия решетки 5, регулируемые шибером 12, поступает в кипящий слой 6 на решетку 10. Кипящий слой, в котором частицы поддерживаются в псевдооживленном состоянии, нагревается до температуры вспучивания токами высокой частоты через пластины высокочастотного конденсатора 11, и вспученный материал через патрубок 7 отводится в зону слоя 9, где охлаждается воздухом, поступающим из паукообразного распределителя 8, и отводится на транспортер.

На основе проведенных исследований осуществляется обработка технологических и электрических параметров установок

полигонного и стационарного типов.

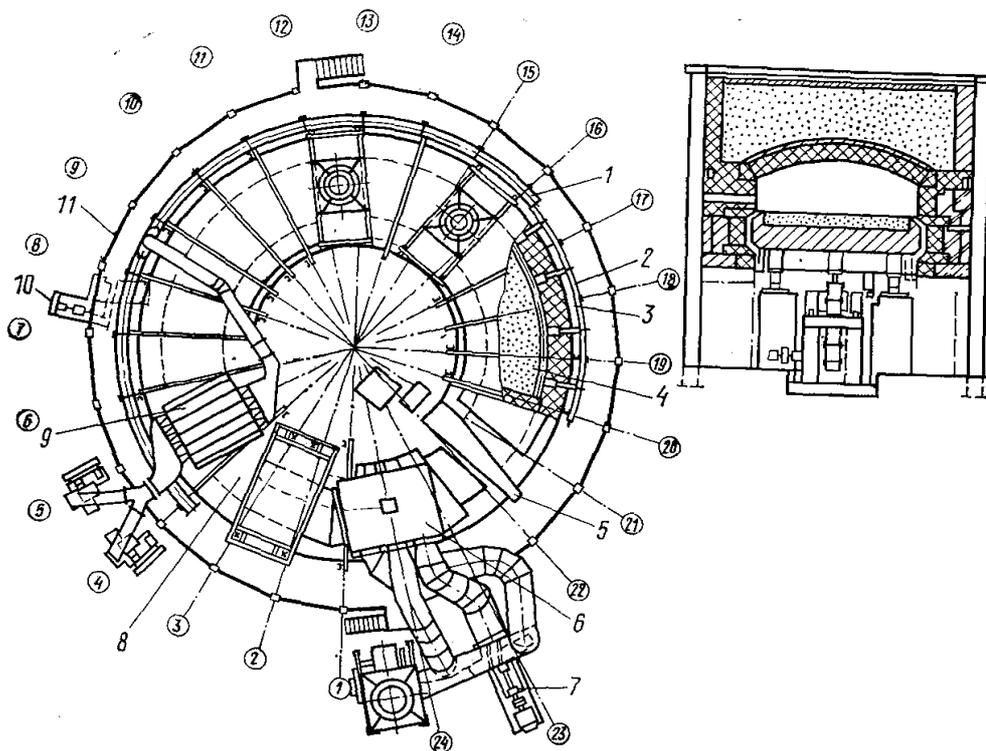
4.5.5 Производство керамзита по ступенчатому способу в кольцевой печи с вращающимся подом

Отмечая известные, серьезные недостатки распространенных однобарабанных вращающихся печей для производства керамзита: нестабильность выпуска заполнителя по прочности и плотности; сложность обжига слабовспучивающихся с малым интервалом вспучивания глин; невозможность создания в них требуемого ступенчатого режима термообработки гранул на керамзит; большой унос мелочи и т. д., —Р. Б. Оганесян, Н. А.Тетруашвили и В. А. Мещеряков предложили использовать для этих целей модернизированную кольцевую печь с вращающимся подом, широко распространенную в металлургической промышленности.

В общем виде технологическая схема производства керамзита на указанной линии предусматривает формовку сырцовых гранул на ленточном кирпичеделательном прессе, сушку в сушильном барабане с окаткой в нем гранул, подогрев полуфабриката в слоевом подогревателе примерно до 200—250° С с последующим вспучиванием гранул в кольцевой печи на непрерывно вращающемся поде при однослойной его загрузке, охлаждение, сортировку и складирование заполнителя.

Обжиговый агрегат технологической линии включает слоевой подогреватель, кольцевую обжиговую печь и холодильник-аэрожелоб.

Кольцевая печь (рисунок 4.7) состоит из стационарных стен толщиной 750 мм и свода с теплоизоляционной засыпкой—700 мм, вращающегося пода (включая металлическую платформу, футеровку толщиной 500 мм, кольцевой рольганг), гидрозатвора. Средний диаметр кольцевой печи 11,25, ширина 2,4, высота от поверхности пода до замка свода 0,81 м. Длина зоны обжига (от узла загрузки до узла выгрузки керамзита) 28 м, в том числе зоны расположения горелок—19 м.



1 - труба дымовая; 2 - кладка печи; 3 - газооборудование; 4 - футеровка кольцевого пода; 5- выгрузатель; 6 - подготовитель слоевой; 7 - вентиляционная установка слоевого подготовителя; 8 -автоматика; 9 - установка дымовых вентиляторов и рекуператора; 10 - под кольцевой с приводом; 11 - каркас печи.

Рисунок 4.7 - Схема кольцевой печи для обжига керамзита

Кольцевой канал заканчивается дымоотборной шахтой, из которой дымовые газы по борову подаются в слоевой подогреватель и далее дымососом направляются в трубу. Часть дымовых газов поступает в сушильный барабан.

На участках газопровода предусмотрены поворотные заслонки для автоматического регулирования расхода природного газа. Керамзит с поверхности футеровки пода удаляется выгрузателем. Частота вращения пода печи изменяется плавно в широких пределах с помощью регулируемого асинхронного электропривода. Контроль и управление процессом обжига, управление работой оборудования печи осуществляется со щита КИП.

5 Современные поризованные материалы

Расширение номенклатуры теплоизоляционных, конструктивно-теплоизоляционных и теплоизоляционно-декоративных (защитных) изделий из минерального сырья является актуальной задачей. Это ячеистые бетоны, газостекло, газокерамика и др. Закономерности формирования высокопористой структуры строительных материалов на основе строительного гипса, цемента, извести достаточно полно теоретически обоснованы. Установлено, что только при оптимальных технологических параметрах кремнеземвяжущих шламов в процессе химической реакции выделяющиеся в системе газы выполняют работу поризации массы, а пористая структура закрепляется вследствие повышения вязкости, гидратации и твердения вяжущих веществ.

Такие поропласты, как "Пенополистирол", "Пеноизол", "Изолон", "Пенофол" и другие имеют предельно низкие величины теплопроводности 0,028-0,04Вт/(м°С) и средней плотности 30-45 кг/м³, однако при использовании полимерных пенопластов и волокнистых утеплителей на органических связующих необходимо решать проблемы долговечности, экологической, санитарной и пожарной безопасности стен отапливаемых зданий.

С позиции обеспечения этих требований приоритетное развитие должны получить минеральные теплоизоляционные и теплоизоляционно-конструктивные строительные материалы. В настоящее время к таким материалам относятся: ячеистые бетоны пониженной средней плотности, поросиликатные и порокерамические изделия. Теплоизоляционные изделия из минерального сырья: "Бисипор", "Силаст", "Сибирфом" и другие имеют повышенную среднюю плотность 150-250 кг/м³ и теплопроводность 0,06-0,10 Вт/(м°С) по сравнению с поропластами, но они выгодно отличаются от последних высокой долговечностью. В настоящее время доля таких материалов в структуре производства теплоизоляционных изделий ничтожно мала.

Одним из главных достоинств производства отмеченных теплоизоляционных изделий является региональная распространенность минерального сырья (кварцевый песок, глинистые и цеолитовые породы). Расширение номенклатуры теплоизоляционных, конструктивно-теплоизоляционных и теплоизоляционно-декоративных (защитных) изделий из минерального сырья является актуальной задачей. Это ячеистые бетоны, газостекло, газокерамика и др. Дефицит в объеме производства и номенклатуры долговечных, экологически безвредных

минеральных утеплителей можно уменьшить выпуском штучных изделий из высокопористой керамики. Основанием такому заключению служит факт наличия в достаточных объемах, технической и экономической доступностью местного сырья. Поризованная керамика является перспективным материалом, используемым в качестве термовкладышей в многослойных ограждающих конструкциях. Для получения строительных теплоизоляторов могут использоваться глинистые породы, считающиеся распространенным местным сырьем. Анализ технической литературы показывает, что разработано два способа поризации материалов на основе глинистого сырья: 1 - формирование пористой структуры, изделий на стадии формования; 2 - поризация массы в период высокотемпературного обжига.

Технологические основы получения поризованных материалов за счет довспучивания гранулированного сырья или вспучивания шихты разработаны в России и Германии (материал "Sipor-ton", "Zytan" и др.). Однако следует отметить, что такой способ поризации является наиболее топливоемким и технологически трудным.

В Польше разработан керамический материал, полученный вспениванием исходной массы за счет использования моющих средств типа "ТеероГ, "Shell" и др. На Украине имеется экспериментальное подтверждение получения штучного материала из газокерамики, а также краткое сообщение о получении в России на глине конкретного месторождения пенокерамических изделий.

Отмеченные работы имеют информационный частный характер и не раскрывают специфику применяемого сырья, физико-химическую природу процессов и особенностей технологии, в частности на стадии приготовления составов и глиняных поризованных шликеров. Вопросом производства пустотных и поризованных керамических изделий посвящены работы [5, 28-36].

5.1 Виды поризованных материалов

В настоящее время распространены три вида поризованных керамических изделий, каждый из них имеет свои технологические особенности.

Газокерамика. С учетом свойств и состава глинистого сырья поризация глинистого шликера может осуществляться за счет реакции газовыделения в смесь $Al_2(SO_4)_3$ при использовании закарбонизированных глинистых пород или добавление в них $CaCO_3$.



Поризация обеспечивается также за счет введения в шликер алюминиевой пудры, при этом для обеспечения реакции газовой выделения необходимо создание в системе щелочной среды ($pH > 12$), что достигается введением извести до 10 % от массы основного сырья. Реакция протекает следующим образом



Водотвердое отношение (В/Т) принималось равным 0,8-1,0. В качестве стабилизатора структуры рекомендуется применение полуводного гипса (6-8 %) и жидкого стекла, В/Т= 0,8.. 1,0.

Пенокерамика. Технология производства пенокерамических стеновых материалов на стадии приготовления пеноминеральной массы подобна получению пенобетона, особенностью является процесс сушки и обжига заформованных изделий.

Для получения пенокерамических материалов используются глины с низкой чувствительностью к сушке, к которым добавляются отощители (шамот, золы-унос и т.д.) и детергенты. Компоненты смешиваются с водой и полученная смесь подается в мешалку, где осуществляются вспенивание детергентов и гомогенизация всей массы.

Термопоризованная керамика. Способ включает основные операции: переработку глины, подготовку шихты и формовку гранул, сушку и предварительную термообработку гранул, послойный обжиг и вспучивание гранул, охлаждение изделий.

Принципиально новый строительный материал "Зитан" типа пористой керамики, разработан в Германии. Исходное сырье - гранулы из глинистых или глиносодержащих пород. На первой стадии нагрева (обжига) происходит неполное вспучивание гранул. На второй стадии нагрева до температуры около 1200 °С в течение не более 2-4 мин происходит дальнейшее вспучивание гранул, засыпаемых в специальную форму, частичное их оплавление, заполнение образующейся вязко-текучей массой пустот между гранулами, которые прочно спекаются.

5.2 Теоретические основы получения поризованной керамики

Некоторые технологические параметры и закономерности поризации цементно-кремнеземистых шламов при получении газо- и пенобетонов могут служить исходными данными для разработки

принципов поризации глинистых шликеров.

Полностью распространить теорию поризации масс с участием минеральных вяжущих на поризацию системы "глина-вода" не представляется возможным по следующим основным причинам:

- во-первых, водоглиняные системы не обладают вяжущими свойствами;

- во-вторых, оптимальная для поризации текучесть глиняных шликеров достигается при большем водозатворении и значительно колеблется в зависимости от минералогического состава применяемых глинистых пород;

- в-третьих, в процессе структурообразования пористого полуфабриката требуется высокая скорость набора структурной прочности, начиная от процесса газовыделения до стадии фиксации структуры;

- в-четвертых, значительная усадка образцов (до 12-15 %) при термообработке.

В основу теоретической предпосылки установления закономерностей "холодной" поризации системы "глина-вода" явилось положение о тиксотропном упрочнении глиномасс, т.е. способностью их самопроизвольно восстанавливать нарушенную структуру и упрочняться при неизменной влажности. Основополагающие принципы теории тиксотропного упрочнения разработаны М.И. Роговым [8].

Самоупрочнение происходит вследствие процесса переориентации частиц глины и молекул воды таким образом, что они стыкуются концами, имеющими разноименные заряды, тем самым увеличивая силу их сцепления. Очевидно, при этом также происходит процесс перехода части воды из свободных форм в связанные, вследствие более глубокой с течением времени гидратации отдельных зерен глинистой массы. Таким образом, если цельную (сплошную) структуру шликера на определенной стадии ее самоупрочнения нарушить посредством барботирования или газовой поризации, то надо полагать, что вследствие регулируемой с помощью ПАВ и электролитов процессов самоуплотнения в системе глинистой составляющей будет формироваться пористая структура с образованием каркаса, способного сохранить эту структуру. Разработана методика для оценки тиксотропного упрочнения газо- и пенокерамических шликеров [5]. Формуются пено- или газокерамические образцы различного состава при изменяющихся значениях водоглиняного отношения и через фиксированное время на поверхность образцов устанавливается экспериментальный резиновый

шарик диаметром 3 см и регистрируется величина диаметра отпечатка шарика на поверхности образцов.

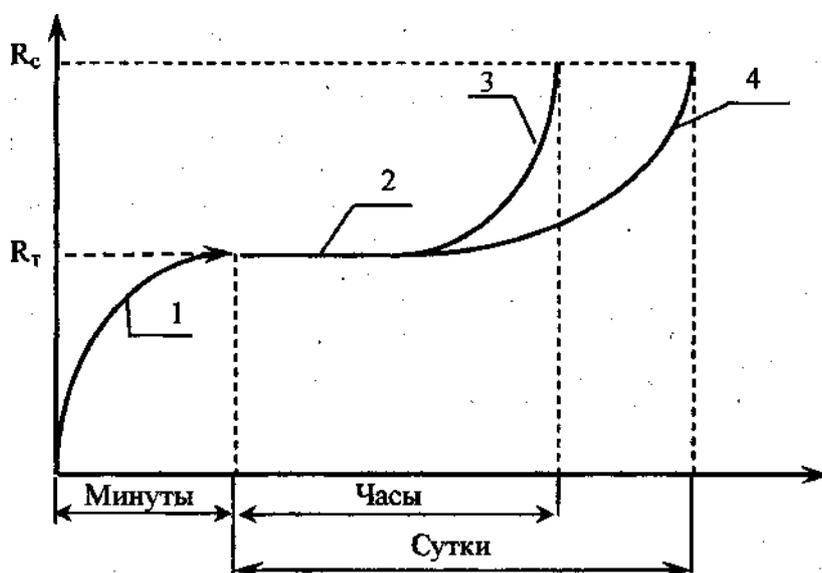
По величине отношения диаметра отпечатка к диаметру шарика определяют сравнительную прочность тиксотропного упрочнения (структурную прочность) различных глиняных шликеров и строят кривые скорости набора прочности шликеров в координатах "время-отношение диаметров". По модельным кривым можно также определять оптимальное для поризации водоглиняное отношение шликера. Установлено, что чем выше скорость набора структурной прочности, тем меньше эффект оседания поризованной глиняной массы, меньше величина средней плотности и выше механическая прочность поризованных керамических образцов. Скорость тиксотропного упрочнения глин выше, чем у суглинков. Это можно объяснить тем, что у средних и тяжелых суглинков максимальная влагоемкость составляет 18-22 %, а у легких и средних глин 25-30 %. Для ускорения процесса тиксотропного упрочнения в период газовой выделения использовались жидкое стекло ($R_2O-nSiO_2$) или полуводный гипс ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$) в количестве от 6 до 8 % от массы исходного глинистого порошка. Оптимальная вязкость суглинистого шлама для обеспечения процесса вспучивания находится в пределах величины водоглиняного отношения от 1,00 до 1,15. Щелочная среда обеспечивалась известковой водой затворения, а затем полученная суспензия перемешивается в течение 3 мин с глинопорошком до получения текучего шликера. Процесс газовой выделения (поризации) продолжается в течение 30-40 мин. Проводился сравнительный анализ скорости набора структурной прочности газошликером и паст на основе истинно глин и суглинков, а также составов суглинистых шликеров со стабилизаторами.

Установлено, что максимально возможная тиксотропная прочность у шликеров на основе суглинков достигается по истечении 60-65 мин с момента его приготовления, а у шликеров на основе глин это время составляет 30-40 мин, причем эта прочность у глинистого полуфабриката на 15-20 % выше, чем у суглинистого. Это объясняется различным содержанием в глинистых породах глинистых фракций, а также тем, что у средних и тяжелых суглинков максимальная влагоемкость составляет 18-22 %, а у легких и средних глин-25-30%. Введением в суглинистый шликер стабилизаторов в виде кремнеземистой и цеолитовой связующих суспензий, прочность ее приближается к прочностным показателям глинистого шлама и ускоряет процесс тиксотропного упрочнения.

5.3 Особенности технологии получения газокерамики

При обычной бетонной технологии получения газокерамики технологический процесс связан с образованием "горбушки" с дальнейшей операцией ее удаления. При изготовлении газокерамических изделий осуществляются следующие процессы: приготовление газоглиняного шликера; формование; тиксотропное упрочнение массы; период стабильного сохранения тиксотропной прочности; формирование структурной (сырцовой) прочности. На рисунке 5.1 представлена принципиальная схема формирования сырцовой прочности поризованных масс для производства изделий высокопористой керамики.

В такой технологической линии при обычных условиях длительный период занимает период тиксотропного состояния, при этом очень медленно удаляется формовочная вода, что сдерживает процесс начального структурообразования полуфабриката. Удастся значительно сократить этот период за счет форсированного воздействия на систему теплоносителя и тем самым ускорить формирование структуры газополуфабриката. Установлено, что скорость набора структурной прочности значительно повышается когда влажность массы становится менее 30 %.



1 - тиксотропное упрочнение; 2 - стабильное состояние тиксотропной прочности; 3,4 - структурное упрочнение соответственно при искусственной и естественной сушке

Рисунок 5.1. – Формирование структурной прочности керамических поризованных масс

Производство пороцерамических теплоизоляционных изделий возможно по пено- или газотехнологии. При обычной бетонной технологии получения газокерамики технологический процесс связан с образованием "горбушки" с дальнейшей операцией ее удаления.

При производстве газокерамических изделий можно избежать получения "горбушки" в процессе газовыделения. В этом случае необходимо организовать процесс газовыделения и получения поризованной массы при перемешивании составляющих смесь компонентов с последующим ее разливом в формы. В этом случае технология газокерамических изделий несколько подобна технологии получения пеноминеральных строительных материалов, однако здесь не требуется применение дефицитных пенообразователей.

Исследования показали, что для производства строительных изделий из поризованной керамики желателен применение истинно глинистых пород, однако для этих целей вполне могут служить суглинистые породы. В этом случае важным технологическим решением является применение в составе масс стабилизаторов структуры поризованной массы и добавки-плавни для активного спекания высокопористой керамической структуры. В настоящее время не удается до конца решить проблему значительной осадки газомассы после формования, что приводит к повышению средней плотности образцов и усадки изделий при термической обработке.

В качестве стабилизатора предложено использовать кремнеземистые и цеолитовые суспензии и другие минеральные дисперсные материалы, предварительно приготовленные по специальной технологии. Введение в массу таких стабилизаторов снижает усадку отформованных изделий на 15-20% общую усадку изделий при термообработке на 10-15 %.

В исследуемом интервале составов и технологических параметров на основе суглинков получены поризованные керамические образцы величиной средней плотности 0,5-0,7 г/см³ и прочностью при сжатии 1,2-1,8 МПа.

На основе предварительно полученных результатов предложена технология сухих глинистых смесей для получения газокерамических изделий, что позволит расширить рынок сбыта таких смесей для организации производства керамических утеплителей в местах отсутствия сырьевой базы и технологических линий по переработке сырья, а также теплоизоляционно-декоративных изделий.

Литература

- 1 Фролов А. В. Новая технология обжига кирпича в печах "Теска" // Строительные материалы. – 1999. – № 9. – С. 30–31
- 2 Ашмарин Г.Д. Восемнадцатый общеевропейский конгресс производителей керамического кирпича и черепицы (ТВЕ) // Строительные материалы. – 1996. – № 4. – С. 24-27
- 3 Завадский В.Ф. Технология изделий стеновой и кровельной керамики : учеб. пособие. – Новосибирск : НГАСУ, 1998. – 76 с.
- 4 Альперович И.А. Керамические стеновые и теплоизоляционные материалы в современном строительстве // Строительные материалы. – 1997. – № 2. – С. 12–14.
- 5 Канаев В.К. Новая технология строительной керамики. – М. : Стройиздат, 1990. – 264 с.
- 6 Стороженко Г.И. Технология производства изделий стеновой керамики из активированного глинистого сырья : авто-реф. дисс. – Томск, 2000. – 44 с.
- 7 Пардинас Х.Х. Кирпичные и черепичные заводы с ротационными печами и сушилками // Строительные материалы. – 1994. – № 6. – С. 27–30
- 8 Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. – М. : Стройиздат, 1974. – 420 с.
- 9 Августшик А.И. Керамика. – Л. : Стройиздат, 1975. – 592 с.
- 10 Мороз ИИ. Технология стеновой керамики. – Киев : Вища школа. 1980. – 384 с.
- 11 Вакалова Т.В. Глины. Особенности структуры и методы исследования: учеб. пособие. – Томск, 1998. – 120 с.
- 12 Завадский В.Ф. Теоретические основы и проблемы технологии строительных материалов, изделий и конструкций : учеб. пособие. – Новосибирск: НГАСУ, 2001. – 76 с.
- 13 Книгина Г И Лигнин в производстве строительной керамики // Строительные материалы. – 1984. – № 10. – С. 19–20.
- 14 Болдырев А.С., Золотов П.П. Строительные материалы. Справочник. – М. : Стройиздат, 1990. – 568 с.
- 15 Овчаренко Г.И. Цеолиты в строительных материалах. – Барнаул : Алт ГТУ, 2000. – 320 с.
- 16 Верещагин В. И. Диопсидовые породы - универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов // Промышленность строительных материалов. Сер. 5. Аналитический обзор. – Вып.2. – М. : ВНИИЭСМ, 1990. – 60 с.
- 17 Стороженко Г.И. Механическая активация сырья как способ

повышения эффективности метода полусухого прессования кирпича. // Строительные материалы. – 1997. – № 8. – С. 19–20.

18 Паничев А.Ю. Обогащение и активирование суглинков с использованием кавитационного и ударно-волнового воздействия // Строительные материалы. – 2000. – № 9. – С. 30–31.

19 Буянов Ю.Д. Совершенствование техники и технологии обогащения минерального сырья. // Строительные материалы. – 1998. – № 10. – С. 24–25.

20 Придатко Ю.М. Влияние жизнедеятельности микроорганизмов на строительные свойства грунтов // Изв. вузов. Строительство. – 1994. – № 11. – С. 30–34.

21 Хавкин А.Я. Кирпичные заводы малой мощности с применением технологии "жесткой" экструзии // Строительные материалы. – 2000. – № 4. – С. 18–19.

22 Тарасевич Б.П. Новые технологии производства керамического кирпича // Строительные материалы. – 1992. – № 5. – С. 5–8.

23 Тарасевич Б.П. О выборе технологии получения керамического кирпича // Строительные материалы. – 1993. – № 3. – С. 2–5.

24 Матяшин Л.А. Принципы расчета производительности технологических линий предприятий керамических стеновых материалов // Строительные материалы. – 1982. – № 1. – С. 12–13.

25 Кузубов В.А. Технический анализ работы кирпичных заводов полусухого прессования с сухой массоподготовкой. // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – № 9. – С. 120–123.

26 Шлегель И.Ф. Перспективы повышения качества кирпича. // Строительные материалы. – 2000. – № 2. – С. 30–31.

27 Боженков П.И. Использование вакуума в технологии строительной керамики. // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 4. – С. 56–61.

28 Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Ралко А.В. Золо-керамические стеновые материалы. – Алма-Ата : Наука, 1982. – 292 с.

29 Чентемиров М.Г. Технология производства нового пористого керамического строительного материала. // Строительные материалы. – 1997. – № 11. – С. 16–17.

30 Черепанов Б. С. Образование поровой структуры пенокерамических материалов, вспененных при обжиге // Техника и технология силикатов. – 1994. – № 1. – С. 12–16.

31 Верещагин В.И. Керамические теплоизоляционные материалы из природного и техногенного сырья Сибири.

//Строительные материалы. – 2000. – № 4. – С. 34–35.

32 Тамов М. Ч Интенсификация спекания пористокерамических изделий // Строительные материалы. – 1998. – № 1998. – С. 18–19.

33 Беркман А.С. Пористая проницаемая керамика. – Л. : Изд-во литературы по строительству, 1969. – С. 78.

34 Балкевич В.Л. Техническая керамика. – М. : Стройиздат, 1984. – 256 с.

35 Путро КБ. Высокопористая строительная керамика. // Проблемы архитектуры и строительства: сб. мат-лов XX региональной науч.-техн. конферен. – Красноярск, 2002. – С. 76–78.

36 Путро КБ. Технологические параметры производства высокопористой строительной керамики // Архитектура и строительство: Материалы межд. науч.-технич. конференции. – Томск, 2002. – С. 77–78.

37 Волкова Ф.Н. Общая технология керамических изделий. – М. : Стройиздат, 1989. – 324 с.

38 Золотарский А.З., Шейнман А.Ш. Производство керамического кирпича. – М. : Высшая школа, 1989. – 358 с.

39 Наназашвили И.Х. Строительные материалы, изделия и конструкции. Справочник. – М. : Высшая школа, 2004. – 458 с.

40 Сайбулатов С.Ж. Производство керамического кирпича. – М. : Стройиздат, 1989. – 285 с.

41 Сайбулатов С.С. Полусухое прессование керамического кирпича на основе суглинка. – Алматы : Каз. ГАСА, 2000. – 365 с.

42 Боженков П.И., Глибина И.В., Григорьев Н.А. Строительная керамика из побочных продуктов промышленности. – М. : Стройиздат, 1986. – 255 с.

43 Горбунов Г.И. Основы строительного материаловедения (состав, химические связи, структура и свойства строительных материалов): учеб. издание. – М., 2002. – 168 с.

44 Кошляк Л.Л., Калиновский В.В. Производство изделий строительной керамики. – М. : Высшая школа, 1985. – 345 с.

45 Кривоносова Н.Т. Повышение качества строительной керамики. – Киев, 1981. – 88 с.

46 Лукин Е.С., Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики. – М. : Стройиздат, 1986. – 272 с.

47 Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М. : Стройиздат, 1977. – 264 с.

48 Пиевский И.М., Гречкина В.В., Базаренко Г.А., Степанова А.И. Сушка керамических строительных материалов пластического формования. – Киев : Наукова думка, 1985. – 342 с.

49 Поляков С.В., Чигрин С.И. Производство и применение индустриальных керамических панелей. – М. : Стройиздат, 1990. – 191 с.

50 Сайбулатов С.Ж., Кулебаев А.А., Сайбулатов С.С., Лян А.Н., Тайжанов С.С. Использование золошлаковых отходов ТЭС в производстве керамических материалов: учебное пособие. – Алматы, 2000. – 215 с.

51 Сайбулатов С.Ж. Ресурсосберегающая технология керамического кирпича на основе зол. – М. : Стройиздат 1990. – 248 с.

52 Строительные материалы (справочник) /под. ред. Болдырева В.Н. – М., 1997. – 572 с.

53 Завадский В.Ф., Кучерова Э.А. Керамические стеновые материалы (сырье, технология). – Новосибирск, 2002. – 84 с.

54 Капустин А.П., Станевич В.Т и др. Изготовление керамического кирпича из отходов угледобычи Экибастузского бассейна // Строительные материалы. – 1991. – № 10. – С. 13–14.

55 Станевич В.Т и др. Использование вскрышных пород угледобычи ЭУБ для производства керамических строительных материалов //–Вестник национальной инженерной академии РК. –Алматы, 2004. – № 4 (14). – С. 115–118

Содержание

	Введение.....	3
1	Сырьевые материалы.....	5
1.1	Глинистые породы.....	5
1.1.1	Классификация сырьевых материалов.....	5
1.1.2	Структура и свойства минералов.....	8
1.1.3	Коллоидные свойства.....	10
1.1.4	Химический состав.....	12
1.1.5	Примеси и их влияние на технологический процесс.....	12
1.1.6	Отношение к нагреванию.....	14
1.1.7	Особенности глинистого сырья для стеновой керамики.....	18
1.2	Добавки - регуляторы свойств глинистых пород.....	20
1.3	Новые виды керамического сырья.....	22
1.4	Регулирование технологических свойств глиномасс.....	24
2	Способы повышения качества глинистых пород.....	26
2.1	Физическая (естественная и технологическая) обработка глинистых пород.....	27
2.2	Механические способы активации.....	29
2.3	Химическая активация.....	32
2.4	Биологическая активация.....	32
3	Современные способы производства изделий строительной керамики.....	33
3.1	Характеристика способов производства.....	33
3.1.1	Производство изделий пластическим способом.....	34
3.1.2	Производство изделий жестким прессованием.....	36
3.1.3	Производство изделий способом полусухого прессования.....	37
3.1.4	Комбинированный способ.....	42
3.1.5	Шликерный способ производства изделий.....	42
3.2	Варианты технологических схем производства.....	44
3.3	Термическая обработка керамических изделий.....	50
3.3.1	Теория сушки.....	50
3.3.2	Физико-химические основы обжига.....	56
3.4	Виды брака и способы их устранения.....	60
4	Основы производства пористой керамики.....	62
4.1	Сырье для производства керамзитового гравия.....	64
4.2	Применение керамзитового гравия.....	65
4.3	Номенклатура керамзитового гравия.....	65
4.4	Технологический процесс производства керамзита.....	67

4.5	Способы получения керамзита.....	72
4.5.1	Вспучивание глинистого сырья на керамзит в печах кипящего слоя.....	72
4.5.2	Циркуляционный способ.....	73
4.5.3	Вспучивание глинистого сырья на керамзит вибрационным методом.....	78
4.5.4	Вспучивание глинистого сырья на керамзит в электрическом поле высокой частоты.....	80
4.5.5	Производство керамзита по ступенчатому способу в кольцевой печи с вращающимся подом.....	82
5	Современные поризованные материалы.....	84
5.1	Виды поризованных материалов	85
5.2	Теоретические основы получения поризованной керамики...	86
5.3	Особенности технологии получения газокерамики	89
	Литература.....	91

В.Т. Станевич

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА

Учебное пособие

Павлодар