

# **КЕРАМИЧЕСКИЕ СТЕНОВЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Кызыл  
2018

ФГБОУ ВО «ТУВИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**КЕРАМИЧЕСКИЕ СТЕНОВЫЕ  
И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Учебное пособие*

КЫЗЫЛ  
2018

**УДК 691.4**  
**ББК 38.31**  
**К21**

Печатается по решению Учебно-методического Совета  
Тувинского государственного университета

**Керамические стеновые и теплоизоляционные материалы:** учебное пособие / сост. Б.К. Кара-Сал, Д.С. Куулар, А.А. Чылбак. – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2018. – 120 с.

В учебном пособии представлены основные виды керамических стеновых и теплоизоляционных материалов также приведены их технологические и экспериментальные свойства. Рассмотрены требования к сырьевым материалам для производства изделий стеновой и теплоизоляционной керамики, а также характеристики глинистых пород месторождений Тувы.

Показаны современные технологии производства керамических стеновых материалов и теплоизоляционных изделий.

Описаны теоретические основы формования сушки и обжига керамических изделий и возможности регулирования технологических свойств массы и сырца, а также эксплуатационные характеристики полученных изделий.

Приведены расчеты по составу сырьевой шихты и по выбору технологического оборудования.

Учебное пособие предназначено для бакалавров магистрантов, аспирантов и специалистов предприятий по выпуску изделий стеновой керамики.

Рецензенты:

А.С. Сандан, к.т.н., доцент кафедры «Общеинженерные дисциплины»  
Тувинского государственного университета;

Н.М. Биче-оол, к.т.н., главный инженер ООО «Стройгруппа».

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ВИДЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	7
1.1. Виды керамических стеновых материалов .....	7
1.2. Эксплуатационные свойства керамических стеновых материалов .....	10
1.3. Теплозащитные свойства .....	17
1.4. Долговечность .....	21
1.5. Вопросы для самоподготовки по главе 1 .....	25
2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	26
2.1. Виды глинистых пород .....	26
2.2. Химический состав .....	27
2.3. Минералогический состав .....	29
2.4. Гранулометрический состав .....	31
2.5. Технологические свойства .....	32
2.6. Спекаемость керамических масс .....	34
2.7. Глинистые породы Тувы и их химико-минералогические и технологические особенности .....	38
2.8. Вопросы для самоподготовки по главе 2 .....	47
3. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	49
3.1. Производство изделий пластическим способом .....	49
3.2. Производство изделий способом полусухого прессования .....	52
3.3. Теоретические основы основных технологических процессов производства стеновых керамических изделий .....	56
3.3.1. Особенности сушки сырца .....	56
3.3.2. Физико-химические основы обжига изделий .....	60
3.4. Новые способы обжига .....	63
3.5. Виды брака и способы их устранения при производстве керамических стеновых материалов .....	70

3.6. Технологический контроль качества изделий .....	76
3.7. Вопросы для самоподготовки по главе 3 .....	79
4. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ И КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ .....	80
4.1. Технологические способы активизации сырья .....	80
4.2. Введение добавок в состав шихты .....	82
4.3. Новые способы сушки и обжига .....	86
4.4. Вопросы для самоподготовки по главе 4 .....	93
5. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ	94
5.1. Газокерамические стеновые изделия.....	94
5.2. Пенокерамические изделия.....	97
5.3. Пеностеклокерамические изделия.....	98
5.4. Изделия, полученные выгоранием составляющих .....	102
5.5. Вопросы для самоподготовки по главе 5 .....	104
6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ШИХТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	105
6.1. Расчет состава сырьевой шихты .....	105
6.2. Расчет мощности перерабатывающего и формовочного оборудования .....	108
6.3. Расчет теплотехнического оборудования.....	109
6.4. Задания для самостоятельного выполнения по главе 6 ..	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	114

## ВВЕДЕНИЕ

Кирпич является одним из древнейших строительных материалов в мире наряду с природным камнем. Керамическим кирпичом украшали фасады зданий в Древнем Египте и Вавилоне, кирпичом облицована Великая Китайская стена, символом российской архитектуры стала Московский Кремль с его зубчатыми стенами и башнями из красного кирпича. В царской России керамический кирпич пользовался большим уважением, где старые мастера ставили на нем личные клейма [1].

Стена из керамических изделий по сравнению с другими материалами отличаются архитектурной выразительностью возможностью создавать различные фасады с цветной палитрой и долговечностью. Керамические стены благодаря повышенной паропроницаемостью тепловой инерции, высокой аккумулирующей способностью солнечной энергии создает благоприятный климат в помещениях. Стены из современных керамических изделий обладают повышенной удельной прочностью, высокими теплозащитными и звукоизоляционными показателями. Важным достоинством в условиях загрязнения окружающей среды является повышенная коррозионная стойкость и долговечность. Экономическим преимуществом является дешевизна и доступность сырья и относительно низкие энергозатраты при производстве.

По данным Росстата, в России в год выпускается более 9 млрд штук условного керамического кирпича [2].

В общем объеме стеновых материалов доля керамических материалов превышает более половины [3].

Ассортимент керамических стеновых материалов значительно расширился. Наряду обыкновенного стенового и облицовочного кирпича стали выпускать клинкерный кирпич стенового, отделочного, дорожного и технологического назначения [4].

Перспективным направлением – является производство легких пустотелых керамических стеновых изделий с поризованным черепком средней плотностью  $750-900 \text{ кг/м}^3$  и прочностью 5-10 МПа [5].

Производство эффективных керамических стеновых изделий по сравнению с производством полнотелого кирпича позволяет снизить расход сырья на 25-30%, расход топлива на 10-15%. Применение пустотелых керамических стеновых материалов, за счет их пониженной теплопроводности уменьшает толщину наружных стен на 20-30% [6].

Доля керамических стеновых материалов в общем объеме стеновых изделий в зарубежных странах, как Италия, Германия, Дания, Бельгия, Франция составляет 60-80% [7,8].

Знаменитые фирмы «Морандо» (Италия), «Келлер» (Германия), «Санки» (Испания) выпускают керамические стеновые изделия самого высокого качества и расширяют сеть своих заводов в самых разных странах, в том числе России.

В производстве керамических стеновых изделий существуют много технологические проблемы, решение которых зависит от профессионального уровня специалистов данной отрасли.

# 1. ВИДЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

## 1.1. Виды керамических стеновых материалов

Кирпич и камни керамические изготавливают в форме параллелепипеда и в зависимости от размеров подразделяют на 16 видов согласно ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия» [8].

Керамические изделия подразделяются на рядовые и лицевые. К керамическим стеновым материалам относятся: кирпич, керамический камень и блоки. Наряду с обычным керамическим кирпичом, впервые в ГОСТе отличен клинкерный кирпич, который применяется для фундаментов, облицовки стен и дорожного покрытия.

Наиболее распространенными являются: кирпич полнотелый и дырчатый размером 250x120x65 мм; кирпич утолщенный - 250x120x88 мм; камни керамические 250x120x138 мм (рис.1.1).

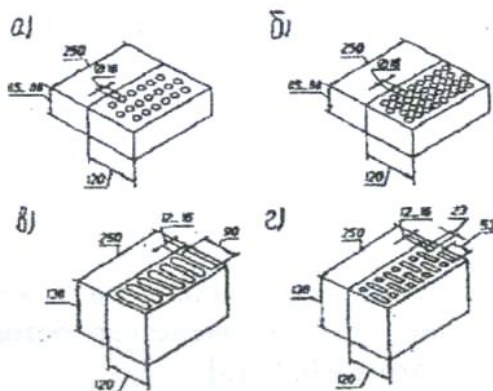


Рис. 1.1. Кирпич и камни керамические:

а - кирпич с 19 пустотами (пустотность 13%); б - кирпич с 32 пустотами (пустотность 22%); в - камень с 7 пустотами (пустотность 25,33%); г - камень с 18 пустотами (пустотность 27,36%).



Кирпич керамический лицевой должен удовлетворять требованиям и ГОСТ 7484 - 78.

Предельные отклонения от номинальных размеров в миллиметрах для изделий пластического формования и полусухого прессования не должны превышать: по длине  $\pm 4$ ; по ширине  $\pm 3$ ; по толщине - для кирпича  $\pm 3$ ; по толщине - для камня  $\pm 4$ .

Отклонение от перпендикулярности граней в миллиметрах для изделий пластического формования и полусухого прессования не должно превышать  $\pm 3$ .

По прочности кирпич с вертикально расположенными пустотами, подразделяют на марки - М100; М125; М150; М175; М200; М250; М300; клинкерный кирпич - М300; М400; М500; М600; М800; М1000; камни – М25; М35; М50; М75; М100; М125; М150 до М300.

По морозостойкости изделия подразделяют на марки: F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300.

По показателю средней плотности керамические изделия подразделяют на классы 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0; 2,4.

Условное обозначение керамических изделий должно состоять из названия, вида, марки по прочности и морозостойкости, обозначения настоящего стандарта.

По теплотехническим характеристикам стеновые керамические изделия в зависимости от класса средней плотности подразделяют на группы: высокой эффективности (класс средней плотности 0,7; 0,8); повышенной эффективности (1,0); эффективные (1,2); условно-эффективные (1,4) и малоэффективные (2,0; 2,4).

### ***Примеры условных обозначений***

Кирпич керамический полнотелый одинарный марки по прочности 100,

марки по морозостойкости F15:

Кирпич К - 100/1/15/ГОСТ 530-95

Кирпич керамический пустотелый одинарный марки по прочности 150, по морозостойкости F15:

Кирпич КП - 0 150/15/ГОСТ 530-95

Камень керамический марки по прочности 100, по морозостойкости F15:

Камень К 100/15/ГОСТ 530-95

Виды дефектов керамического кирпича и камней приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Допустимые дефекты

Вид дефекта	Число дефектов
1. Отбитости углов глубиной от 10 до 15 мм (для рядовых)	4
2. Отбитости и притупленности ребер глубиной не более 10 мм и длиной от 10 до 15 мм	2
3. Трещины протяженностью до 30 мм по постели полнотелого кирпича и пустотелых изделий не более чем до первого ряда пустот (глубиной на всю толщину кирпича или на 1/2 толщины тычковой или ложковой грани камней): на ложковых и тычковых гранях (для рядовых)	4

Марку камня по прочности устанавливают по значению предела прочности при сжатии, а кирпича - по значению пределов прочности при сжатии и изгибе, указанных в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Показатели прочности и марка керамического кирпича и камней

Марка изделия	Предел прочности, МПа					
	при сжатии		при изгибе			
	всех видов изделий		полнотелого кирпича пластического формования		кирпича полусухого прессования и пустотелого кирпича	
	Средний для 5 образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для 5 образцов	Наименьший для отдельного образца	Средний для 5 образцов	Наименьший для отдельного образца
300	30,0	25,0	4,4	2,2	3,4	1,7
250	25,0	20,0	3,9	2,0	2,9	1,5
200	20,0	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3
175	17,5	15,0	3,1	1,5	2,3	1,1
150	15,0	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0
125	12,5	10,0	2,5	1,2	1,9	0,9
100	10,0	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8

Водопоглощение керамических стеновых изделий должно быть: не более 6% - для клинкерного кирпича и не менее 6% - для остальных изделий.

По коэффициенту теплопроводности в кладке керамические стеновые материалы подразделяются:

Таблица 1.3

Группа изделий по теплопроводности

Группы изделий по теплотехническим характеристикам	Коэффициент теплопроводности кладки в сухом состоянии $\lambda$ , Вт/(м·°С)
Высокой эффективности	до 0,20
Повышенной эффективности	0,20-0,24
Эффективные	0,24-0,36
Условно-эффективные	0,36-0,46
Малоэффективные	Более 0,46

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) в изделиях не должна быть более 370 Бк/кг.

## 1.2. Эксплуатационные свойства керамических стеновых материалов

Наряду с общеизвестными физико-механическими свойствами для стеновых материалов являются их эксплуатационные свойства, которые определяют долговечность конструкций.

Стеновые материалы имеют следующие эксплуатационные свойства прочность, водопоглощение, морозостойкость, теплопроводность и стойкость к различным агрессивным средам.

В процессе эксплуатации стеновые материалы подвергаются к внешним природным, механическим и техногенным воздействиям, что вызывает фазовые и структурные изменения в материале. Чтобы долго служить и выполнять свои функциональные назначения, стеновые материалы должны иметь соответствующие эксплуатационные свойства.

**Прочность** – способность материала сопротивляться разрушению при действии внешних сил, вызывающих в нем внутренние напряжения. Когда на любой материал или изделие действует внешнее усилие, то между частицами или молекулами изделия возникают напряжения, величина которых постепенно растет с увеличением внешнего усилия. В случае, когда величина напряжения превышает прочность материала, наступает разрушение. По-другому, прочность – это сила связи между частицами, которая зависит от химической породы связи. Для строительных материалов характерны ковалентная, водородная, ионная и металлическая связи между элементарных частиц. Строительные материалы с кристаллической структурой в основном имеют ионную и ковалентную связь.

Предел прочности измеряется в  $\text{кг/см}^2$ , и мега паскалях (МПа).

Критериями прочности в зависимости от класса материала, вида напряженного состояния (сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг и др.) могут быть временное сопротивление, предел текучести, предел устойчивости и другие виды сопротивления.

Прочность строительных материалов оценивают временным сопротивлением или пределом прочности  $R$ , определяемым при данном виде деформации.

Пределы прочности строительных материалов при сжатии и изгибе определяют по ГОСТу 8462-85. Для стеновых и несущих изделий прочность является определяющим свойством.

Прочность при сжатии некоторых стеновых материалов, по которой устанавливается их марка, составляет: для керамического и силикатного кирпича – 7,5-30 МПа; керамзитобетона – 5,0-15 МПа; ячеистого бетона – 2,5-10 МПа; древесины вдоль волокон – 20-50 МПа; арболита – 2,5-5,0 МПа.

Следует отметить, что на прочность материалов и изделий при эксплуатации влияют действующая внешняя нагрузка, температура и влажность среды.

В процессе эксплуатации материалов и конструкций внешняя нагрузка должна быть ниже установленной величины. Если внешняя нагрузка велика, то изделие и конструкция разрушится. Разрушение произойдет тем позднее, чем меньше

деформирующие усилия. При разрушении материала разрываются связи, обеспечивающие его целостность.

Влажность эксплуатационной среды оказывает большую роль на прочностные показатели материала и конструкций. В результате влагонасыщений и гигроскопичности изделий наблюдается снижение прочности материалов вследствие следующих факторов:

- действием адсорбционной среды;
- растворением метастабильных контактов срастания кристаллов, составляющих структуру материала.
- набуханием некоторых составляющих материала.

Для большинства хрупких и пластичных материалов повышение температуры снижает прочностные показатели материала, особенно при растяжении и изгибе. Это связано с явлением температурного расширения и увеличением межатомного расстояния. Для полимерных материалов повышение температуры снижает прочность образцов. [10]

**Водопоглощение.** Это способность материала поглощать и удерживать воду в порах. Водопоглощение изделий зависит от пористости и наличия пор определенного диаметра.

Водопоглощение косвенная характеристика пористости, которая показывает способность материала впитывать влагу в период эксплуатации. Впитывание жидкости происходит, если капиллярный потенциал в каждой точке соприкосновения жидкости с внутренней поверхностью капилляра превышает потенциал поля тяжести. Эффект впитывания тем выше, чем больше разность потенциалов.

Под капиллярным потенциалом понимают потенциальную энергию поля капиллярных сил, отнесенную к единице массы жидкости.

Капиллярами принято называть большей частью каналы поры, которые способны впитывать жидкость. Этот процесс имеет место при определенных условиях, связанных с радиусом капилляра, свойствами жидкости и твердой фазы, а также взаимодействием жидкости с внутренней поверхностью капилляра.

При поднятии уровня жидкости в капилляре разность потенциалов уменьшается и при равенстве капиллярного

потенциала и потенциала поля тяжести высота капилляра достигает максимума.

Средний радиус капилляра, т.е. поры, в которой имеет место капиллярный подсос, колеблется в пределах 1-20 мкм. Минимальное значение пор, которые впитывают молекулы воды, не более 0,5 мкм.

При уменьшении радиуса пор ниже 0,5 мкм исчезает капиллярный подсос, однако жидкость все же заполняет даже мельчайшие поры за счет конденсации паров на их стенки с последующим переходом пленок в столбик жидкости. Такое свойство заполнения пор жидкостью называют гигроскопичностью структуры.

По П.А. Ребиндеру по насыщению жидкостью поры классифицируются на крупнопористые (размер пор более 20 мкм), среднепористые (0,5-20 мкм) и мелкопористые (менее 0,5 мкм). При этом крупнопористые поры относятся к макропорам. Среднепористые поры относятся к группе капилляров. А мелкие поры диаметром менее 0,5 мкм относятся к микропорам и в них наблюдаются процессы сорбции и конденсации.

Водопоглощение характеризуется коэффициентом насыщения пор водой, которое определяется по формуле

$$K_n = \frac{V_v}{P};$$

где  $K_n$  – коэффициент насыщения;

$V_v$  – водопоглощение по объему, %;

$P$  – пористость материала, %.

Коэффициент насыщения может изменяться от 0 до 1.

Вода, заполненная в порах, в основном оказывает агрессивное действие в зависимости от химической основы материала.

Водостойкостью называют способность материалов сопротивляться агрессивному воздействию на них воды. Результатом такого воздействия является снижение прочности материала, связанное с частичным разрушением структуры вследствие разрыва наиболее слабых химических связей. Причиной разрушения структуры является возникновение больших растягивающих напряжений при превращении воды в порах в лед.

Критерием водостойкости принято считать 20%-ное снижение прочности в результате водонасыщения материала. Количественно водостойкость характеризуется коэффициентом размягчения  $K_{\text{разм}}$ , который определяется по формуле

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}};$$

где  $R_{\text{сух}}$  и  $R_{\text{нас}}$  – пределы прочности при сжатии соответственно сухих и водонасыщенных образцов, МПа.

Материалы, имеющие коэффициент размягчения менее 0,8 считаются неводостойкими.

**Морозостойкость.** В строительном материаловедении изделия делятся на две группы: плотные и пористые. Для абсолютно плотных материалов морозостойкость – это способность материала сохранять эксплуатационные свойства при низких температурах. К таким материалам (стекло, металлы, полимеры) предъявляются требования в зависимости от их назначения с учетом условий эксплуатации.

Механизм разрушения структуры плотных материалов при перепадах температуры связан с явлением сжатия и изменением других свойств материала. При низких температурах материал становится более хрупким, ломким, резко снижается ударная прочность. Это в большей степени относится к металлам и полимерным материалам.

Морозостойкость пористых строительных материалов связана с способностью материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии без видимых признаков разрушения и допустимого понижения прочности.

Разрушительное воздействие мороза на стеновые материалы делится на три периода: водонасыщенное, промерзание и разрушение материала. Летом происходит водонасыщение поверхностного слоя ограждающих конструкций.

При наступлении холодов наружные слои стены постепенно охлаждаются и фронт низких температур распространяется внутрь материала.

Водяной пар в порах стены со стороны теплых помещений квартиры, перемещается к холодным наружным слоям. Попадая

в зону низких температур, водяной пар конденсируется в порах, вблизи наружной поверхности ограждающей конструкции.

С наступлением морозов (-5 и ниже) вода, находящаяся в наружных порах, замерзая и превращаясь в лед, создает напряженное состояние в материале.

Испытание материалов на морозостойкость проводится в морозильной камере. Продолжительность замораживания водонасыщенного образца при -20°C составляет 2ч. Оттаивание при +20°C продолжается в течении 2ч. Продолжительность одного цикла 4ч. После каждого цикла проводится осмотр образцов с выявлением дефектов и повреждений, также определяют величину потери массы.

По морозостойкости строительные материалы имеют марки F15; F25; F35; F50; F100; F200. Минимально допустимая марка для рядовых стеновых материалов F15, для лицевых изделий F25.

**Теплопроводность.** Данное свойство характерно для стеновых и теплоизоляционных материалов. Это способность материала передавать через свою толщину тепловой поток при наличии разности температур на поверхностях, ограничивающих материал. Теплопроводность определяется стандартным способом (ГОСТ 7076-87) путем регистрации теплового потока, проходящего через материал и расчета теплопроводности по формуле

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot \tau \cdot \Delta t};$$

где Q – количество теплоты, дж;

$\delta$  – толщина образца материала, м;

S – площадь образца, м<sup>2</sup>;

$\tau$  – время прохождения теплового потока, г;

$\Delta t$  – разность температур на противоположных поверхностях материала, °C.

Теплопроводность выражает в  $\frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})}$ .

Для стеновых пористых материалов (кирпич, бетон, газобетон, пенобетон и др.) теплопроводность можно определить по эмпирической формуле В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16 \cdot (\sqrt{0,0196 + 0,22 \cdot \gamma_0^2} - 0,16)$$



где  $\gamma_0$  - объемная масса материала, кг/м<sup>3</sup>.

Величина теплопроводности различных стеновых материалов в пределах  $\left(\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}\right)$  древесины – 0,24; древеснобетонных блоков – 0,35-0,40; легкого бетона на пористых заполнителях при средней плотности 1200 кг/м<sup>3</sup> – 0,40-0,45; ячеистых бетонов при средней плотности 600-800 кг/м<sup>3</sup> – 0,25-0,30; кирпичной кладки из керамического кирпича – 0,55-0,60; кладка из силикатного кирпича – 0,70-0,75.

Теплопроводность является физическим свойством материала, связанным с переносом в нем тепловой энергии за счет взаимодействия их мельчайших частиц (атомов, ионов, электронов).

Перенос тепловой энергии осуществляется непосредственно от частиц, обладающих большей энергией, к частицам с меньшей энергией и приводит к выравниванию температуры тела [11].

Взаимодействие частиц происходит в результате непосредственного их столкновения при перемещении или колебании.

Механизм переноса тепловой энергии в веществах, находящихся в различных агрегатных состояниях, неодинаков. В твердых телах – за счет взаимодействия соседних атомов решетки. Однако внутри каждого вида агрегатного состояния имеют место свои особенности переноса энергии, которые, в свою очередь, зависят от структуры и свойств конкретного вещества.

**Коррозионная стойкость.** Это способность материала противостоять действию агрессивных сред (коррозии).

Коррозия (от латинского слова *corrosio*, что означает разъедание) – разрушение материала вследствие химического взаимодействия со средой.

В период эксплуатации строительные изделия и конструкции подвергаются к воздействию различных сред, многие из которых являются агрессивными. Действия агрессивных сред делятся на коррозионные и эрозионные.

Эрозия строительных материалов наблюдается при контакте материала с расплавами шлаков, металлов и с газообразными веществами [12].

Коррозия строительных материалов бывает газовая и жидкостная. При газовой коррозии действуют инертные и активные газы.

Жидкостная коррозия бывает кислотная, солевая, щелочная, морская, речная и в расплаве.

В результате коррозии материал имеет следующие виды разрушений: равномерное, неравномерное, избирательное, поверхностное, местное, растрескивание, межкристаллитное.

Коррозионная стойкость определяется массой материала, превращенного в продукты коррозии в единицу времени с единицы площади, находящегося во взаимодействии с агрессивной средой, а также размером разрушенного слоя в мм за год.

### **1.3. Теплозащитные свойства**

В целях повышения уровня теплозащитных характеристик кирпича в ГОСТ 530-95 введен в качестве контролируемого параметра показатель теплопроводности, который должен определяться на фрагменте кирпичной стены, т.е. с учетом влияния раствора и воздуха в пустотах на ее теплозащитные качества. Определять теплопроводность кирпича в кладке для отапливаемых зданий вполне правомерно, так как теплопроводность кирпича вне кладки на 50-60% ниже, чем в кладке.

Целесообразно ввести в ГОСТ требования по теплопроводности кирпича как в сухом состоянии, так и при расчетном значении эксплуатационной влажности.

У керамического кирпича максимальное значение сорбционной влажности не превышает 1%, а у цементно-песчаного раствора 5...6%.

Теплопроводность стеновых керамических материалов определяется как на отдельных образцах, а также изделий в строительной кладке.

Например, определение теплопроводности кирпича в кладке производится согласно ГОСТ 530-95 в лабораторных условиях в климатической камере с автоматическим поддержанием температуры в холодной и теплой зонах ( $30 \pm 1$ ) °С и плюс ( $20 \pm 1$ ) °С на большом и малом фрагментах стены в соответствии с ГОСТ.

**Определение теплопроводности на большом фрагменте стены** Теплопроводность изделий определяют на фрагменте стены, размер которого с учетом растворных швов должен соответствовать:

- по толщине ( $\delta$ ) - исходя из условий наличия одного тычкового и одного ложкового рядов кирпичей или камней для изделий с горизонтальным расположением пустот фрагмент по толщине изготавливают в двух вариантах:

первый - из тычкового ряда изделий, второй из ложкового; по длине ( $l$ ) и высоте ( $h$ ) - не менее чем  $4,5 \delta$ , но не менее 1810 мм.

В случае если высота кирпичной или каменной кладки не соответствует установленной высоте фрагмента стены, снизу и сверху фрагмент кладки дополняют слоями кладочного раствора, состоящего из мелкого кирпичного боя и сложного раствора в соотношении 50 на 50% по объему.

Кладку фрагмента стены выполняют с однорядной цепной перевязкой на сложном растворе марки 50 средней плотности  $1800 \text{ кг/м}^3$  состава 1:0,9:8 (цемент : известь : песок) по объему, на портландцементе марки 400 с осадкой конуса для полнотелых изделий 12...13 см, для пустотелых - 9 см.

Кладку фрагмента стены из укрупненных изделий со сквозными пустотами размером более 20 мм выполняют с заполнением пустот эффективным утеплителем (пористые заполнители, пенополистирол, пенобетон и др.) или по технологии, исключающей заполнение пустот кладочным раствором. Изготовленный фрагмент стены выдерживают в течение месяца в помещении температурой воздуха 15...20 °С и относительной влажностью 40...60 %.

Фрагмент кладки устанавливают в климатическую камеру и заделывают зазоры по контуру камеры теплоизоляционным материалом.

На внутренней и наружной поверхностях фрагмента стены устанавливают по пять термопар: три на поверхностях ложкового и тычкового рядов и две на горизонтальном и вертикальном растворных швах. Преобразователь теплового потока (тепломер) применяют квадратного сечения со стороной, равной сумме высоты одного элемента кладки и толщины одного растворного шва. Тепломер устанавливают в центре фрагмента стены на внутренней поверхности ложкового элемента кладки с захватом половины толщины верхнего и нижнего растворных швов (рис. 1.2).

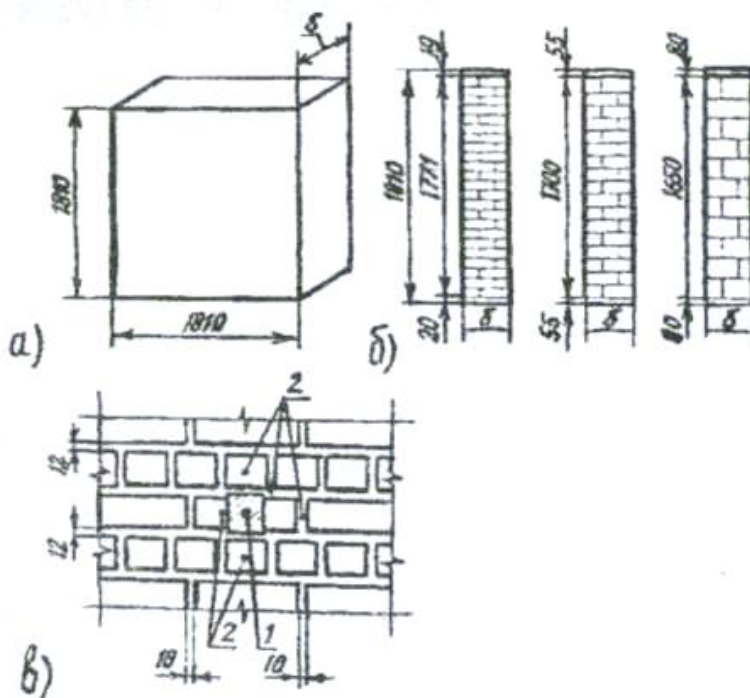


Рис. 1.2. Фрагмент кирпичной кладки для определения ее теплопроводности

- кладка в аксонометрии; б - виды кладок в поперечном сечении (одинарный и утолщенный кирпич, камень); в - расположение тепломера и термопар, 1 - тепломер; 2 - термопара.

Испытания проводят в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 26254.

Экспертное заключение теплопроводности в кладке в состоянии фактической влажности ( $\lambda_{\text{эксп}}$ ), Вт/(м °С), вычисляют по формуле:

$$\lambda_{\text{эксп}} = q \cdot \delta / \tau_{\text{В}} - \tau_{\text{н}}, \quad (1.1)$$

где  $q$  - плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>, определяемая по формуле 5 ГОСТ 26254;  $\tau_{\text{В}}$ ,  $\tau_{\text{н}}$  - средневзвешенное значение температуры соответственно внутренней и наружной поверхностей фрагмента стены, °С;  $\delta$  - толщина фрагмента стены, м.

За результат принимают значение теплопроводности изделий в сухом состоянии, вычисляемое по формуле

$$\lambda_0 = \lambda_{\text{эксп}} - K W_{\text{эксп}}, \quad (1.2)$$

где  $\lambda_0$  - теплопроводность изделий в кладке в сухом состоянии, Вт/(м °С);  $W_{\text{эксп}}$  - фактическое значение влажности материала в кладке в % по массе, определяемое по ГОСТ 24816;  $K$  - коэффициент приращения значения теплопроводности в зависимости от влажности материала, принимаемый равным:  $K=0,09$  - для изделий средней плотностью от 1200 до 1500 кг/м<sup>3</sup>;  $K = 0,11$  - для изделий средней плотностью св 1500 до 1700 кг/м<sup>3</sup>;  $K = 0,13$  — для изделий средней плотностью св 1700 до 1900 кг/м<sup>3</sup>.

Для изделий с горизонтальным расположением пустот за результат принимают значение теплопроводности изделий в кладке в сухом состоянии, определяемое по формуле:

$$\lambda_0 = (\lambda_{\text{т}} + \lambda_{\text{л}}) / 3, \quad (1.3)$$

где  $\lambda_{\text{т}}$ ,  $\lambda_{\text{л}}$  - значение теплопроводности тычкового и ложкового рядов кладки в сухом состоянии, Вт/(м °С).

### ***Определение теплопроводности на малом фрагменте стены.***

По методике Научно-исследовательского института строительной физики, допускается определять теплопроводность изделий на малом фрагменте стены, состоящем из 12 кирпичей или камней.

Перед испытанием фрагмент высушивают до постоянной массы, покрывают парафином с целью предохранения его от увлажнения в процессе испытания. Допускается фрагмент

стены высушивать до постоянной массы, а влажность материала определять после окончания испытания в соответствии с ГОСТ 24816, пробы материала после испытаний отбирают, шлямбуром из фрагмента стены с места расположения тепломера.

Фрагмент кладки помещают в проем разъемной охранной зоны, выполненной из материала, близкого по теплофизическим свойствам испытываемым изделиям. Охранная зона вместе с исследуемым фрагментом обжимается крепежной рамкой и устанавливается в стенку, разделяющую климатическую камеру на тепловую и холодную зоны. Преобразователь теплового потока (тепломер) и термоэлектрические термометры устанавливают в соответствии с рис. 1.2. Испытания проводят в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 26254, замеряют значение плотности теплового потока ( $q$ ) и перепадов температур ( $\tau_B - \tau_H$ ).

Экспериментальное значение теплопроводности вычисляют по формуле (1.1), теплопроводность изделий в кладке в сухом состоянии - по формуле (1.2) настоящего стандарта.

Теплопроводность полнотелого керамического кирпича в кладке составляет 0,7...0,8 Вт/(м °С), пустотелых изделий - 0,5...0,55 Вт/(м °С).

#### 1.4. Долговечность

*Долговечность* - срок службы строительного изделия до потери 50-и процентов величины показателей его основных свойств определяется совокупностью таких характеристик как химическая, биологическая, климатическая стойкости, невосприимчивость к ультрафиолетовому облучению и др. Долговечность определяется периодом времени (годы) надежной эксплуатации строительной конструкции.

Основными критериями долговечности стеновых керамических изделий являются: сохранение прочности при циклических изменениях температуры, влажности среды, а также нарушение декоративности лицевых поверхностей в следствие высолов (выцветов) в период эксплуатации [9, 10].

**Морозостойкость.** Согласно ГОСТ 7025-91, контроль морозостойкости стеновых керамических материалов осуществляется двумя методами: при объемном и одностороннем замораживании. Эти методы не взаимозаменяемы.

***Контроль морозостойкости при одностороннем замораживании.***

Для контроля морозостойкости по степени повреждений или потере массы отбирают не менее восьми целых образцов, а по потере прочности - не менее шестнадцати целых образцов [11].

Образцы насыщают водой в течение 72ч. Образцы керамических изделий перед водонасыщением высушивают до постоянной массы.

Допускается использовать образцы непосредственно после определения их водопоглощения при условии дополнительного водонасыщения в течение 24 ч.

Образцы собирают в виде фрагмента ограждающей конструкции толщиной в один кирпич в теплоизолирующей запорной раме или кассетах контейнера аппарата для одностороннего замораживания образцов (АДОЗО).

Во фрагменте из каждых восьми образцов два (предварительно распиленных поперек пополам) устанавливают парными половинками одна за другой тычком, а шесть образцов - один за другим ложком. Горизонтальные и вертикальные поперечные швы между образцами имитируют прокладками из резиновых пластин. Вертикальные продольные швы оставляют в виде воздушной прослойки.

В случае неполного заполнения рамы или кассеты образцами оставшейся

высоты объём заполняют теплоизолятором (резиновыми пластинами пенопластом и т.п.).

Продолжительность сборки фрагмента не должна превышать 1 ч.

После сборки поверхность фрагмента, предназначенную для замораживания, подвергают предварительному дождеванию не менее 8 ч. таким образом, чтобы она покрылась сплошной

водяной пленкой. Температура воды, омывающей поверхность фрагмента, должна быть  $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$ .

Теплоизолирующий контейнер аппарата с кассетами помещают внутрь морозильной камеры. Схема испытания приведена на рис. 1.3.

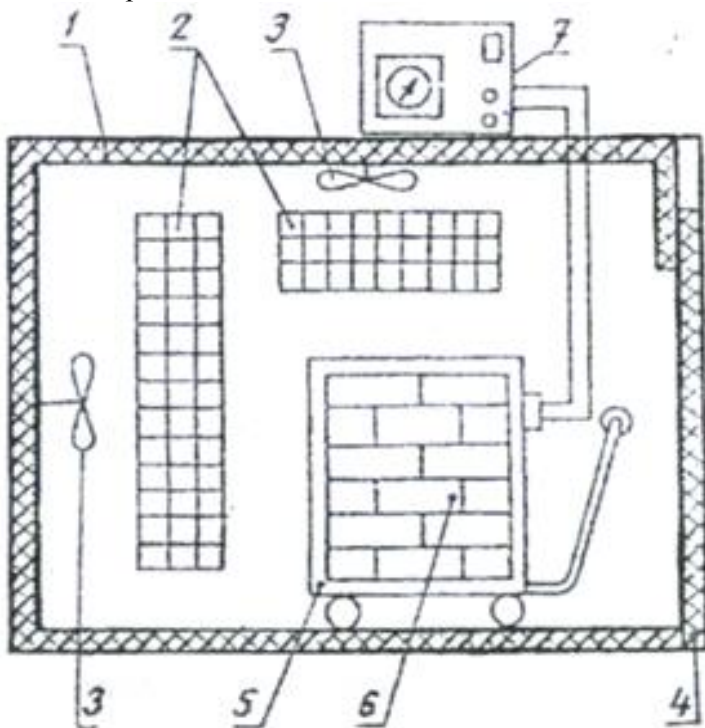


Рис. 1.3. Схема испытания при использовании аппарата для одностороннего замораживания образцов: 1 - морозильная камера; 2 - испарители; 3 - вентиляторы; 4 - дверь морозильной камеры; 5 - теплоизолирующий контейнер; 6 - фрагмент ограждающей конструкции в кассете; 7 - щит управления.

Температура воздуха морозильной камеры до загрузки образцами должна быть не выше  $-15^\circ\text{C}$ , а после загрузки не должна превышать  $-5^\circ\text{C}$ . Началом замораживания образцов считают момент установления в камере температуры  $-15^\circ\text{C}$ . Температура воздуха в камере от начала до конца



замораживания должна быть от -15 до - 20°С. При этом температура с неохлаждаемой стороны (противоположной замораживаемой) фрагмента должна быть (20±5) °С.

Продолжительность одного замораживания образцов должна быть не менее 8 ч., перерыв в процессе одного замораживания образцов не допускается.

После окончания замораживания образцов охлажденную поверхность фрагмента оттаивают дождеванием. Дождевание осуществляют, отсоединив теплоизолирующую запорную раму от морозильной камеры или выгрузив из камеры теплоизолирующий контейнер АДОЗО и вынув из него кассеты.

Время оттаивания должно быть равно времени замораживания. Продолжительность цикла замораживания-оттаивания не должна превышать 24 ч.

При окончании испытания на морозостойкость или его временном прекращении образцы после оттаивания хранят в ванне с гидравлическим затвором. При возобновлении испытания образцы, собранные в виде фрагмента, дополнительно водонасыщают дождеванием не менее 8 ч.

При оценке морозостойкости по степени повреждений и потере массы используют не менее пяти (двух тычковых и трех ложковых) образцов, а при оценке морозостойкости по потере прочности - не менее десяти (четырёх тычковых и шести ложковых) образцов со стороны фрагмента, предназначенной для замораживания. При этом в качестве контрольных при оценке по потере прочности используют смежные с ними образцы с неохлаждаемой стороны (противоположной замораживаемой) фрагмента.

**Высолы.** Образование высолов на стеновых керамических изделиях объясняется следующими основными причинами [10]:

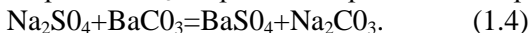
- наличием в глинистом сырье водорастворимых солей;
- наличием серы в технологическом топливе при сушке и обжиге;
- выделением солей из растворной части кирпичной кладки.

Основными методами предотвращения высолов являются: введение в глиномассу соединений бария, нанесение защитных и фактурных покрытий на лицевые поверхности изделий,

механическая обработка и обработка моющимися средствами [10].

Сульфаты натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), магния ( $\text{MgSO}_4$ ), кальция ( $\text{CaSO}_4$ ) вызывают выцветы на керамических изделиях при их эксплуатации. Наиболее вредным является сульфат натрия.

Для борьбы с выцветами рекомендуется вводить в состав глиномассы фтористый натрий  $\text{NaF}$ , хлорное железо  $\text{FeCl}_3$ , углекислый барий  $\text{BaCO}_3$  и др. Благодаря обменной реакции:



Ионы  $\text{SO}_4$  остаются в глине связанными, а растворимый карбонат натрия при обжиге реагирует с глинистыми минералами, выделяя  $\text{CO}_2$  не образуя выцветов на поверхности изделия.

### 1.5. Вопросы для самоподготовки по главе 1

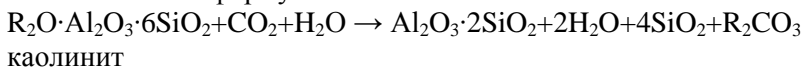
1. Наиболее распространенные размеры керамических камней и кирпича?
2. Какие установлены нормами марки кирпича?
3. Какие достоинства имеет керамическое изделие по отношению других материалов?
4. Какие глинистые породы более предпочтительны для формования керамических изделий?
5. От чего зависит прочность керамического кирпича?
6. Какой предел теплопроводности обыкновенного стенового керамического кирпича?
7. Как определяется теплопроводность на большом фрагменте стены?
8. Какие существуют методы определения морозостойкости кирпича?
9. Какой структурой должны обладать морозостойкие керамические изделия?
10. Какие существуют критерии долговечности стеновых керамических изделий?

## 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 2.1. Виды глинистых пород

Глинами называют тонкодисперсные осадочные породы, содержащие глинистые минералы, которые при смачивании с водой образуют пластичную массу, способную при высыхании при высыхании сохранять приданную ей форму, а после обжига приобретает камневидное состояние.

Образование глинистых минералов связано с длительными сложными геологическими процессами считается, что образованию глинистых пород способствовали механическое выветривание горных пород (в основном полевых шпатов), биохимическое разложение под влиянием жизнедеятельности бактерий. Химическое воздействие горячих растворов фторидов, хлоридов, боридов и сернистых и др. соединений. Образование глинистого минерала – каолинита путем механического выветривания полевых шпатов описывается по формуле:



Продукты выветривания магматических пород подразделяют на первичные (элювиальные), находящиеся на месте образования и вторичные (осадочные), перенесенные на другие места. Среди вторичных пород различают три вида в зависимости от условий переноса продуктов выветривания. Дождевые талые воды, смывая породы, образовали делювиальные месторождения глинистых пород, которые располагаются вблизи местонахождения материнской породы. Для них характерны слоистые напластования, неоднородный состав и наличие многочисленных примесей.

При переносе пород ветрами по окраинам пустынь образовались месторождения лессовидных глинистых пород, обладающих пористым строением и значительной дисперсностью (пылеватостью). В результате движения и таяния ледников возникли ледниковые месторождения глинистых пород, которые характеризуются линзообразным

залеганием и сильной засоренностью каменистыми и другими включениями.

Глинистые породы в зависимости от содержания глинистых минералов (размеры менее 0,005 мм) и посторонних включений делятся на три вида:

1. чистые глины, где содержание глинистых минералов более 30%.
2. Суглинки с содержанием глинистых минералов 15-30%.
3. Супеси, в которых доля тонкодисперсных глинистых частиц менее 15%.

Кроме глинистых минералов в составе глинистых пород присутствуют кварц, полевые шпаты, слюда карбонаты, железистые соединения, сульфаты, растворимые соли и органические вещества.

Вид и содержание глинистых минералов, которые представлены – каолинитом, монтмориллонитом и гидрослюдой, определяют все свойства глинистых пород.

Как правило, чем больше глинистого минерала, тем выше качество сырья и его технологические свойства.

Содержание основных минералов и других компонентов в глинистой породе тесно связано с ее химическим составом, зная который можно примерно выявить минеральный состав и предсказать технологические свойства породы, а также провести необходимые расчеты для корректировки состава керамической массы для получения изделий с заданными свойствами.

## 2.2. Химический состав

Химический состав глинистых пород представлен различными оксидами и их содержание колеблется в широких пределах (%):

$\text{SiO}_2$  - 45...75;  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  - 7...28;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - 2...14;  $\text{CaO}$  - 0,5...20;  $\text{MgO}$  - 0,2...4;  $\text{R}_2\text{O}$  - 0,3...7; п.п.п. 3... 15;  $\text{SO}_3$  - не более 0,8.

*Кремнезем ( $\text{SiO}_2$ )* находится в связанном и свободном состоянии, в последнем случае - это примесь. Большое содержание  $\text{SiO}_2$  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. В зависимости от содержания  $Al_2O_3$  глинистые породы делятся на 5 групп: высокоглиноземистые ( $Al_2O_3$  более 45%); высокоосновные (38-45%), основные (28-38%), полукислые (14-28%), кислые (менее 14%). Высокое содержание  $Al_2O_3$  (более 30%) свидетельствует о большом количестве минерала каолинита и повышенной огнеупорности. Малое содержание  $Al_2O_3$  при большом количестве  $SiO_2$  (более 60%) может свидетельствовать о запесоченности сырья или о том, что глинообразующим минералом является монтмориллонит и гидрослюда.

Щелочеземельные оксиды  $CaO$  и  $MgO$  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. Кроме того, оксид железа является красящим элементом и после обжига придает изделиям красный цвет.

*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. Глинистые породы с высоким содержанием щелочных оксидов (более 5%) хорошо спекаются при обжиге, что обеспечивает высокую прочность изделиям.

При низком содержании  $K_2O$  и  $Na_2O$  в исходном сырье, черепок при обжиге плохо спекается из-за отсутствия легкоплавкого компонента и изделия отличаются низкой прочностью.

Сернистые соединения  $SO_3$  являются источниками высолообразования в обожженных керамических изделиях и их присутствие нежелательно.

Большая величина потери при прокаливании (при обжиге) свидетельствует о высоком содержании паро и газовыделяющихся компонентов, которым относятся глинистые минералы и карбонаты. Глинистые минералы при обжиге, теряют массу до 10% (особенно монтмориллонит), а при разложении карбонатов масса продуктов уменьшается до 44%.

Химический состав связан с минералогическим составом: повышенное содержание глинозема характерно для каолинита ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ); резкопониженное количество  $Al_2O_3$  и повышенное  $SiO_2$  характерно для монтмориллонита ( $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$ ). Гидрослюда занимает промежуточное положение.

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

### 2.3. Минералогический состав

Глинистые породы состоят из различных минералов, поэтому их считают полиминеральными. Основными определяющими минералами в глинистых породах являются глинистые минералы, которые делятся на три группы: каолинитовые, гидрослюдистые и монтмориллонитовые. Минералы глин имеют преимущественно слоистое (листовое) строение. Кристалличность минералов глин колеблется от совершенных кристаллов до структурно неупорядоченных фаз, вплоть до аморфных.

К группе каолинитовых глинистых минералов относятся каолинит, дикит, накрит с общей формулой  $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ . Каолинитовые глинистые породы отличаются светлым цветом (белые и серые). Изделия после обжига имеют белую и светлую окраску. Каолинитовые глины отличаются тугоплавкостью и огнеупорностью.

Минералы монтмориллонитовой группы отличаются наличием изоморфных замещений в кристаллической решетке.

При замене ионов алюминия магниевыми минерал называется сапонитом. При наличии ионов железа вместо алюминиевых минерал называется нонтронитом. Если ионы алюминия заменены с ионами хрома, то образуется глинистый минерал – волконскоит. Минералы монтморрилонитовой основы имеют формулу  $[\text{Si}_8 \text{Al}_4 \cdot \text{O}_{20} \cdot (\text{OH})_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Монтморрилонитовые минералы присутствуют в легкоплавких глинистых породах. Из-за наличия изоморфных замечаний свойства минерала неодинаковы. Минералы указанной группы отличаются повышенным содержанием химически связанной воды. Монтморрилонитовые минералы хорошо набухают в воде, отличаются высокими сорбционными свойствами, пластичностью и способностью к набуханию при увлажнении. Монтморрилонит встречается в виде разноразмерных пластинчатых тонкодисперсных частиц с неправильными краями и склонными к слипанию.

В гидрослюдистую группу глинистых минералов входят иллит, гидромусковит, глауконит и гидробиотит – продукты вторичного изменения и гидратации хорошо окристаллизованных слюд в результате процессов выветривания в условиях повышенной влажности и гидротермальной переработки при низких температурах. Общая формула  $\text{K}_m(\text{H}_3\text{O}) \cdot [\text{Al} \quad \text{Si}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . По сравнению монтморрилонита содержание химически связанной воды 5-7%. В воде частицы иллита хорошо распускаются. Иллитовые глины легкоплавки (огнеупорность 1100-1200<sup>0</sup>С), среднепластичны, чувствительны к сушке. Являются основным сырьем для производства кирпича и других стеновых керамических изделий.

Наряду с глинистыми минералами в глинистых породах присутствуют кварц, полевые шпаты, карбонаты, железистые минералы, сульфаты, хлориды и органические вещества. Все они относятся примесями и играют нейтральную и отрицательную роль на формирование структуры и свойств керамического материала.

Кварц содержится в глинистых породах до 60%. Кварцевые частицы уменьшают пластичность и связующую способность глин, ухудшая тем самым формовочные свойства.

Мелкие частицы кварца повышает чувствительность глин к сушке. Крупные кварцевые частицы улучшают сушильные свойства глин, снижает усадку. При обжиге до 1100<sup>0</sup>С не вступает в химические реакции, претерпевая лишь модификационные превращения.

## 2.4. Гранулометрический состав

**Гранулометрический состав** - процентное содержание минеральных частиц различной величины в глинистой породе.

В составе глинистых пород содержатся следующие частицы: глинистые размером менее 0,005 мм; пылеватые - 0,050...0,005 мм; песчаные - 0,05...2,00 мм. В зависимости от содержания глинистых частиц глинистое сырье подразделяются на следующие группы: глины, суглинки, супеси.

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

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

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

Глины и суглинки с большим содержанием пылеватых частиц относятся к лёссовидным. Пылеватые определяют основные свойства глинистых пород (пластичность, чувствительность к сушке и т. д.).

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

К сырью 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 %. Содержание грубых включений (размеры более 2 мм) не должно превышать 10 %.

## 2.5. Технологические свойства

**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.

**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** - 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. Хрупкий при разрыве разрушается без изменения своего поперечного сечения, при вязко-текучем масса растекается под действием собственной массы.

Физический смысл пластичности - интервал влажности, в котором глина сохраняет пластичное состояние. По величине показателя пластичности глинистые породы подразделяются на 5 классов: высокопластичные, число пластичности более 25; среднепластичные - 15...25; умереннопластичные - 7... 5; малопластичные - 3... 7; непластичные - менее 3.

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 отошающими добавками.

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

**Формуемость** керамической массы называют ее способности 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. 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.

**Чувствительность к сушке** характеризуется коэффициентом чувствительности к сушке, который составляет: для малочувствительных пород - менее 1; для среднечувствительных - 1...1.5; для высокочувствительных - более 1,5.

**Усадка** - изменение линейных размеров и объема заформованных из глинистого сырья образцов при термической обработке. Воздушная усадка составляет 6... 10%, огневая -

1...2%. Интервал спекания глинистых пород должен быть не менее 50°C.

Для изготовления изделий стеновой керамики используют в основном легкоплавкие глинистые породы со значительным диапазоном гранулометрического, химического и минералогического составов, а также корректирующие добавки [1, 14, 39, 45].

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

## 2.6. Спекаемость керамических масс

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. ..1000°C - 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:

$$I_{\text{воз}} = [(l_0 - l_1) / l_0] \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

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, каолиновые - 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 удаление 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:

$$K_r = V_y/V_n, \quad (2.2)$$

где  $V_y$  - объем усадки;  $V_n$  - объем пор.

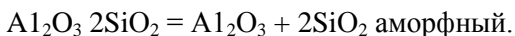
Опыт исследования показал, что глина с  $K_r < 0,5$  также растрескивается при сушке. Трещиностойкость зависит от прочности, растяжимости, коэффициента усадки, теплопроводности. С повышением коэффициента усадки трещиностойкость снижается, а с повышением теплопроводности увеличивается. Запесоченные глины 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 не трещиностойким.

**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:  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O = Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O \uparrow$  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 1000 °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  $3(Al_2O_3 + 2SiO_2) = 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 4SiO_2$  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:

$$I_{огн.} = [(I_c - I_{ог}) / I_0] \cdot 100, \% \quad (2.3)$$

где  $I_c$ ,  $I_{ог}$  - соответственно линейные размеры абсолютно сухого и обожженного образца.

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.

Оксид кальция резко понижает интервал спекания. Щелочные оксиды, в особенности  $\text{Na}_2\text{O}$ , расширяют интервал спекания. У каолинистых 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 %.

## **2.7. Глинистые породы Тувы и их химико-минералогические и технологические особенности**

На кафедре строительства Тувинского государственного университета проведен комплекс работ по изучению возможности использования местных глинистых пород для производства различных видов керамических изделий. Всесторонняя оценка глинистого сырья предполагает определение химического, минералогического и гранулометрического составов, технологических характеристик и физико-механических свойств, полученных керамических изделий [22-24].

В табл. 2.2 приведен химический состав глинистых пород Тувы. По содержанию  $Al_2O_3$  местные глины и суглинки относятся к полукислым (менее 20%). Для местного керамического сырья характерно высокое содержание железистых соединений ( $Fe_2O_3$  более 4%). Кроме того, тувинские глины и суглинки отличаются значительным содержанием щелочно-земельных оксидов  $CaO$  и  $MgO$ , в то же время наиболее ценные щелочные оксиды ( $K_2O$  и  $Na_2O$ ) для спекания черепка присутствуют в незначительном количестве (до 4%).

Таблица 2.2

## Химический состав глинистых пород

Глинистые породы	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	п.л.п
Глины										
Онгар-Ховунская	55,15	16,48	0,89	5,01	5,54	2,9	2,18	1,24	0,64	9,62
Красно-ярская	56,63	15,13	0,97	6,31	5,78	2,85	1,08	1,25	0,87	8,35
Шеминская	61,22	18,24	1,03	7,68	0,6	2,58	2,16	1,55	0,08	4,65
Улуг-ховунская	56,89	16,7	0,82	6,24	3,41	3	2,12	0,91	0,6	6,35
Шуйская	54,02	16,67	0,97	8,26	3,9	3,21	2,01	0,85	0,14	6,57
Суглинки										
Бий-Хемский	62,72	14,05	0,24	4,73	2,92	1,73	1,03	0,74	0,28	3,47
Шагонарский	59,52	14,63	0,69	7,1	5,05	2,52	0,64	1,02	0,45	8,1
Чаданский	62,49	17,82	0,52	5,21	1,37	2,64	1,94	1,07	0,29	6,02
Сукпакский	54,54	13,64	0,8	6,22	7,09	0,4	1,8	1,6	0,18	9,18



По содержанию отдельных компонентов химического состава можно выявить некоторые особенности минералогического состава и свойств глинистых пород. Например, содержание  $Al_2O_3$  и низкая температура огнеупорности (менее  $1350^\circ C$ ) указывают на преимущество наличия легкоплавких минералов. Это хорошо согласуется с результатами термического и рентгеновского анализов. Установлено, что по минералогическому составу тувинские глины и суглинки делятся на монтмориллонитовые и гидрослюдистые.

К монтмориллонитовой группе относятся онгарховунская, красноярская глины и бий-хемский, шагонарский суглинки. Керамическое сырье Западной Тувы — шеминская, улуг-ховунская, шуйская глины и чаданский суглинок содержат гидрослюду. Наряду с основными глинистыми минералами в местном керамическом сырье присутствуют кварц, полевой шпат и железистые соединения. При воздействии соляной кислоты карбонатные включения обнаружены в красноярской глине и шагонарском суглинке.

Более детальным изучением структуры глинистых минералов с помощью ядерной гамма-резонансной спектроскопии установлено, что монтмориллонит в местных глинистых породах присутствует с нарушенной структурой кристаллов, то есть имеются изоморфные замещения алюминия железом. Подтверждением этого является высокое содержание железа и ранний максимум кривых ДТА ниже  $580^\circ C$ , что характерно для железистых разновидностей монтмориллонита. Соответственно неупорядоченность основного глинообразующего минерала влияет на технологические свойства сырья (рис. 2.1. и 2.2).

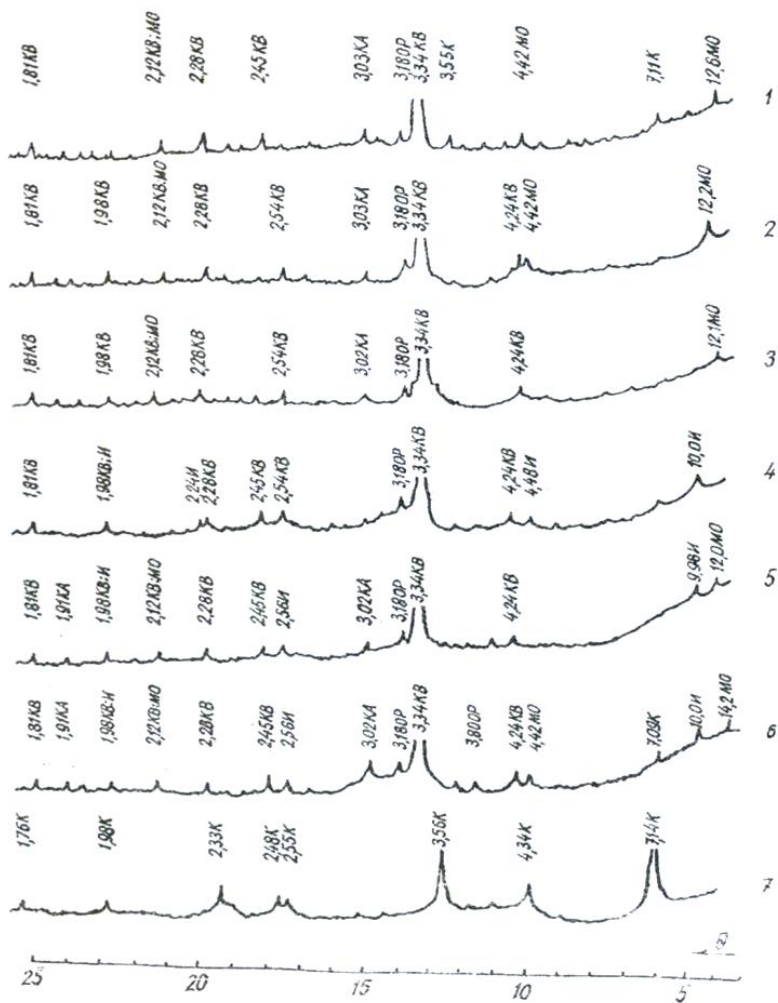


Рис. 2.1. Рентгенограммы глинистых пород  
 1 – онгар-ховунская глина, 2 – красноярская глина, 3 – шагонарский суглинок, 4 – шеминская глина, 5 – чаданский суглинок, 6 – холская глина, 7 – сарыг-хаинские глинистые сланцы

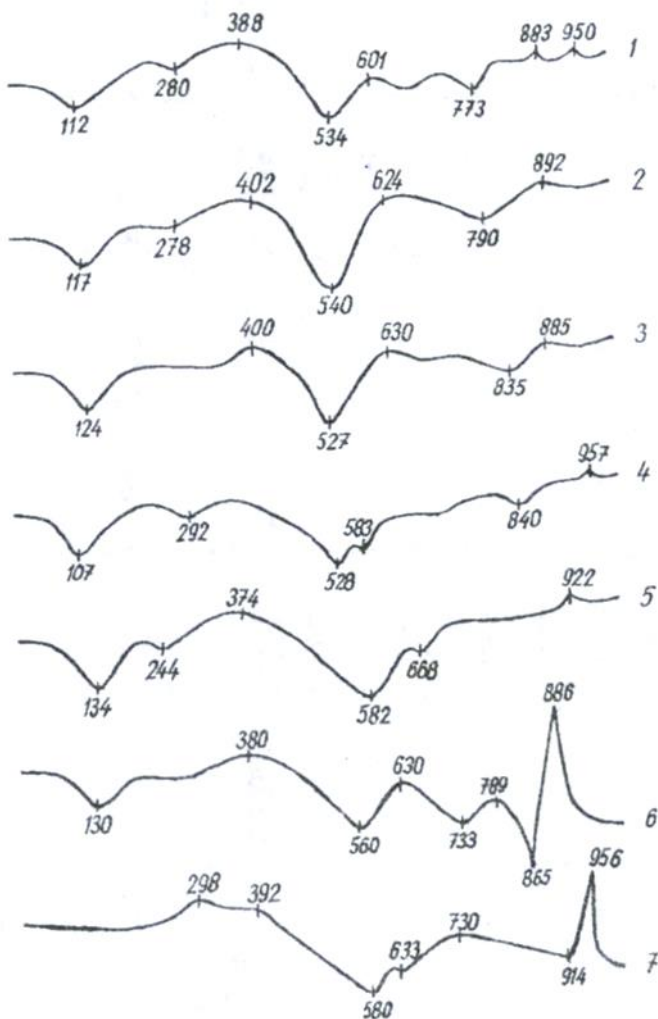


Рис. 2.2. Термограммы глинистых пород: 1 - онгар-ховунская глина, 2 - красноярская глина, 3 – шагонарский суглинок, 4 - шеминская глина, 5 - чаданский суглинок, 6 - холская глина, 7 - сарыг-хаинские глинистые сланцы

Анализ данных гранулометрического состава местного керамического сырья, приведенных в табл. 2.3, показывает, что

высоким содержанием глинистых частиц отличаются породы месторождений Онгар-Хову, Красный-Яр, Шеми и Шуй. Бедны глинистой фракцией бий-хемский, шагонарский и чаданские суглинки. В данных породах преобладают пылеватые частицы, которые сильно снижают пластичность массы и вызывают технологические трудности при формовании изделий. Кроме того, именно эти породы сильно запесочены, в них содержание свободного кварца до 42%.

В отличие от известных глинистых пород Сибирского региона, зерновой состав тувинских глин и суглинков характеризуется существенными колебаниями доли основных компонентов. В пределах одного месторождения содержание глинистых частиц изменяется в 2 раза. Соответственно по показателю пластичности глинистая порода переходит в другую категорию. Следует отметить, что генезис тувинских глин и суглинков далеко не благоприятный.

Содержание глинистых частиц хорошо согласуется с величиной числа пластичности. Более пластичные онгар-ховунская, шеминская и шуйская глины при приготовлении массы требуют больше воды и соответственно имеют высокую формовочную влажность. Соответственно именно из указанных глин получают массы с хорошей формуемостью и при сушке не наблюдается деформаций и трещин, характерных для тощих и сухарных пород. В то же время онгар-ховунская и красноярская монтмориллонитовые глины, имея примерно одинаковое содержание глинистых частиц, как и шеминская и шуйская глины, отличаются повышенной формовочной влажностью. Это связано с вышеупомянутым нарушением структуры порообразующего минерала.

Таблица 2.3

Гранулометрический состав и формовочные свойства

Глинистые породы	Глинистые частицы % (менее 5 мкм)	Пылеватые частицы, % (15-50 мкм)	Песчаные частицы % (50-100 мкм)	Число пластичности	Формовочная влажность, %
Глины					
Онгар-Ховунская	44-56	28-36	16-18	16	18

Красно-ярская	26-35	36-48	16-24	14	17
Шеминская	38-49	24-30	16-24	15	17
Улуг-ховунская	31-43	29-38	20-28	14	16
Шуйская	38-56	28-36	9-16	16	18
Суглинка					
Бий-Хемский	14-22	46-54	26-35	8	16
Шагонарский	17-27	42-60	14-22	11	15
Чаданский	14-24	20-28	40-48	11	15
Сукпакский	19-28	27-40	26-38	10	15

В целом гранулометрический состав местного керамического сырья характеризуется значительными колебаниями глинистых и песчаных частиц, при этом последние в основном преобладают. Тонкодисперсная фракция (менее 5 мкм) сложена в основном монтмориллонитом (50...60%) и гидрослюдой типа иллита (35...40%), тонкодисперсным кварцем (2...5%) и незначительной частью других минералов.

Определение химико-минералогических и фракционных особенностей позволяет прогнозировать поведение глинистой породы при ее технологической переработке. Влияние вещественного состава местных глин суглинков на качество получаемых керамических изделий выявлено в результате изучения физико-механических свойств, которые представлены в табл. 2.4.

В зависимости от химико-минералогических особенностей местные глину и суглинки после обжига имеют пористый и плотный черепок. Изделия с пористым черепком (водопоглощение более 5%) получаются на основе глин и суглинков монтмориллонитовой группы. Это, прежде всего сырье Центральной Тувы - онгар-ховунская, красноярская глины и бий-хемский, сукпакский суглинки. Керамический обожженный материал на основе указанных глин и суглинков отличается легкостью и плотностью. Например, образцы красноярской глины после обжига при температуре 900°C имели плотность 1,86 г/см<sup>3</sup>, а образцы из шеминской гидрослюдистой глины показали 1,98 г/см<sup>3</sup>. Это связано с

морфологической структурой минералов монтмориллонитовой группы, для которых характерна рыхлая пространственная структура с повышенным содержанием химически связанной воды.

Таблица 2.4

Свойства обожженных керамических образцов

Глинистые породы	T, °C	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta V$ , %	B, %	R, МПа
Глины					
Красноярская	700	1,74	1,5	18,7	21,2
	800	1,79	2,6	17,8	24,8
	900	1,86	4,1	16,6	29,7
	1000	1,89	6,5	14,5	36,8
	1100	1,99	12,6	10,1	47,1
Шуйская	700	1,89	2,2	17,3	23,2
	800	1,92	4,9	15,3	29,6
	900	1,97	7,3	12,8	37,9
	1000	2,05	11,2	8,8	43,7
	1100	2,1	14,4	4,9	63,8
Шеминская	700	1,88	2,4	16,8	24,6
	800	1,92	5,1	13,9	30,1
	900	1,98	7,8	12,3	37,2
	1000	2,06	11,7	8,6	44,7
	1100	2,12	14,8	3,9	72,3
Суглинки					
Бий-Хемский	700	1,73	1,7	19,2	18,7
	800	1,79	2,7	18,7	23,7
	900	1,85	3,9	17,1	28,5
	1000	1,89	6,2	13,2	35,3
	1100	1,98	11,9	11	44,7
Сукпакский	700	1,74	1,6	19,1	18,9
	800	1,78	2,7	18,4	24,3
	900	1,85	4	17	29,2
	1000	1,88	6,3	13,1	36,7
	1100	1,98	12,2	10,8	46,3
Чаданский	700	1,89	2	17,8	22,3
	800	1,92	4,8	16,2	28,7
	900	1,97	6,7	13,7	38,5
	1000	2,04	10,4	10,1	42,7
	1100	2,09	13,2	6,8	54,3

Как следствие интенсивного спекания керамической массы величина усадки образцов на основе шуйской и

шеминской глин значительно больше, чем объемное уменьшение образцов из монтмориллонитовых глин. Соответственно такую же зависимость имеет водопоглощение изделий. Если керамическое изделие с водопоглощением менее 5% на основе гидрослюдистых шеминской и шуйской глин получается после обжига при температуре 1100°C, то на основе местных монтмориллонитовых глин плотный черепок вообще не формируется. Это свидетельствует о том, что местные гидрослюдистые глины отличаются более широким интервалом спекания (в пределах 70...80°C), чем монтмориллонитовые глины (40...50°C).

Прочностные показатели образцов на основе местных глин и суглинков находятся и прямой зависимости от величины усадки. Анализ полученных данных показывает, что при одной и той же температуре обжига прочность образцов на основе гидрослюдистых глин и суглинков больше, чем прочность изделий из монтмориллонитового сырья. Если прочность образцов на основе глин обеих групп после обжига при 700...800°C имеет незначительную разность (10... 15%), то после термической обработки при 1100°C наблюдается существенное увеличение прочности образцов из гидрослюдистых глин (превышение на 60...80%). Необходимо отметить, что максимальную прочность в пределах 63...72 МПа имели изделия на основе шуйской и шеминской глин. Высокая прочность образцов из глин гидрослюдистой основы объясняется совершенно другим фазовым составом и структурой. Микроскопические исследования показали, что если в образцах онгар-ховунской глины после обжига при 1100°C стеклофаза фиксируется в виде отдельных скоплений, то в образцах шеминской глины стеклофаза распределена равномерно по всей площади. Кроме того, в последних образцах зона контакта стеклофазы с другими составляющими черепка неразличима, а в образцах онгар-ховунской глины контуры отчетливо видны. В фазовом составе образцов из шеминской глины, обожженных при 1100°C, наряду со стеклофазой, кварцем, остатками глинистых частиц присутствуют первичный муллит и железистые шпинели. Изучение микроструктуры полученных изделий показало, что образцы из онгар-ховунской глины,

обожженные при 1000°C, имеют зерна неправильной формы, частицы разделены многочисленными крупными щелевидными порами. Структура характеризуется высокой общей и открытой пористостью.

Доля закрытой пористости незначительна. Совершенно другую структуру имеют образцы из гидрослюдистой шеминской глины после обжига при той же температуре. Между плотно спекшимися частицами имеются закрытые мелкие и крупные поры, все они в основном изолированы и однородны.

Анализируя результаты выполненной работы, следует отметить, что существующие предприятия по выпуску керамических изделий (сезонные кирпичные цеха в городах Туран, Шагонар, Чадан и ныне действующий Кызылский кирпичный завод) работают на сырье с низким качеством. Более качественное керамическое сырье - онгар-ховунская, красноярская, шеминская и шуйская глины практически не используются.

В результате всестороннего исследования керамического сырья Тувы установлено, что местные глинистые породы монтмориллонитовой основы необходимо использовать для производства изделий пористого черепка (кирпич, керамический камень, пенокерамика). Производство керамических изделий плотного черепка следует организовать на базе сырья, содержащего гидрослюдистые минералы.

В рамках разработки целевых программ по созданию новых предприятий стройиндустрии регионов России при выборе глинистого сырья для производства конкретных видов керамических изделий необходимо руководствоваться комплексной оценкой состава, структуры и свойств исходных пород, знание которых позволит определить наиболее оптимальные технологии и получить изделия необходимого качества.

## **2.8. Вопросы для самоподготовки по главе 2**

1. В чем смысл измельчения глинистых пород перед применением?



2. Какие глинистые породы более предпочтительны для формования керамических изделий?
3. Какое теоретическое условие образования глинистых минералов существует?
4. За счет какого процесса обеспечивается пластичность массы?
5. Что такое гранулометрический состав?
6. Какие особые требования предъявляются к гранулометрическому составу?
7. Что является критерием пригодности сырья для производства керамических изделий?
8. Что такое сольватация?
9. За счет какого процесса обеспечивается пластичность массы?
10. Влияет ли на качество керамического материала усадка?
11. Какие процессы происходят при обжиге керамического изделия?
12. Что такое огнеупорность керамических материалов?
13. В каких пределах должно быть водопоглощение керамических стеновых материалов?
14. Глины, каких месторождений Республики Тыва наиболее качественны для производства керамических стеновых материалов?
15. К какой группе по минералогическому составу относятся тувинские глины?

### **3. СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

#### **3.1. Производство изделий пластическим способом**

Пластический способ производства кирпича нашел наибольшее распространение как на предприятиях России, 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 многопередельный, 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 формуют 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 сформованное 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 мероприятия: паровое увлажнение глины; деление 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 съемным 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.

### 3.2. 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 или 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 способ применяется для производства 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 как отечественных, так и зарубежных. 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.

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...24ч, 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 съёмным сводом, а также в ротационных и колпаковых печах.

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...6ч по сравнению с 30...48ч 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-переключатель с сушильной вагонетки на печную, транспортное оборудование между сушильным и обжиговым отделением и другое оборудование капитальные вложения уменьшаются на 30. ..50 %.

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

### **3.3. Теоретические основы основных технологических процессов производства стеновых керамических изделий**

#### **3.3.1. Особенности сушки сырца**

Процесс сушки характеризуется следующими факторами: изменением температуры полуфабриката, его влагосодержанием, 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 (рис. 3.1).

*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.

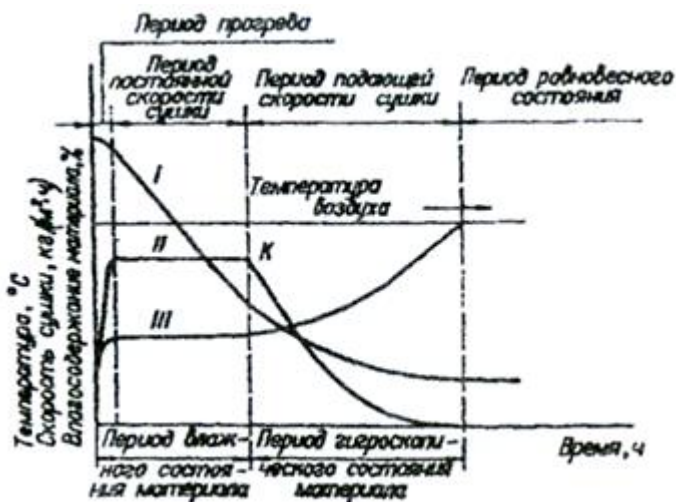


Рис. 3.1. Кривые сушки: I - усадка (влагоотдача), II - скорость сушки (уменьшение массы  $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ); III - температура материала,  $^{\circ}\text{C}$ ; К - точка критической влажности

*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 ( $W_p$ ):  $W_{кр} > W_k > W_p$ .

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 полуфабрикате 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, но 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 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  $4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ . 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 стежок 12...15 мм.

Продолжительность сушки может быть сокращена в первом периоде за счет добавки в массу отдающих 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.

Сушка методом конвективного нагрева изделий теплоносителем получила наибольшее распространение.

Применение циклической подачи теплоносителя, инъекционная 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.

### **3.3.2. Физико-химические основы обжига изделий**

**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 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.

Подобрев 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  $\text{FeCO}_3$  диссоциируют с выделением  $\text{CO}_2$ . 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  $\text{SO}_2$ , а при 700...800 °С - диссоциация карбонатов  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , заканчивающаяся при 950... 1000 °С с выделением  $\text{CO}_2$  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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Поскольку в глинах железо чаще всего встречается в виде Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 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 обжит 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2SiO<sub>2</sub>, шпинели 2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3SiO<sub>2</sub>, MgO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si<sub>3</sub>Al<sub>4</sub>O<sub>12</sub> силлиманит 3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub> и др., придающие прочность керамическому кирпичу.

Прочность охлажденного 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.

### 3.4. Новые способы обжига

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. В нашей стране также проводится работа в этом направлении.

В основе сверхвысокочастотных технологиях (СВЧ) лежит эффект выделения тепла в диэлектриках с потерями при распространении в них электромагнитных волн. Глубина проникновения электромагнитного поля в диэлектрик с потерями  $\Delta$  определяется по формуле:

$$\Delta = \lambda_0 / 2\pi n \sqrt{2} \operatorname{tg} \delta, \quad (3.1)$$

где  $\lambda_0$  - длина волны электромагнитных колебаний в вакууме;  $n$  - коэффициент преломления волн на границе вакуум - диэлектрик;  $\operatorname{tg} \delta$  - тангенс угла потерь поля в веществе,



определяемый частотой, проводимостью и магнитной проницаемостью вещества.

На глубину  $\Delta$  электромагнитное поле проникает практически мгновенно и в этом слое сразу же начинает выделяться тепло. Толщина слоя  $\Delta$  пропорциональна длине волны  $\lambda_0$  [32].

В обычных технологиях тепло, получаемое от сжигания топлива, выделяется в основном в инфракрасном и оптическом диапазонах, соответствующих

длинам волн доли или единицы микрон. Поэтому такие волны выделяют свою энергию в поверхностном слое обрабатываемого материала, а вглубь материала тепло попадает только за счет эффекта теплопроводности. При таких условиях сушки отмечается большая энергоемкость и длительность процесса сушки, а также высокие деформативные напряжения в материале при повышении скорости сушки.

Принятые в качестве стандартных в СВЧ энергетике частоты колебаний составляют 910 и 2450 МГц, что соответствует длинам волн 33 и 12,7 см. Учитывая, что для реальных диэлектриков, используемых в производстве строительных материалов величина  $n\sqrt{2}\operatorname{tg}\delta = 1-3$ , то глубина проникновения для таких волн в нагреваемые среды составляет единицы и даже десятки сантиметров, что во много раз больше, чем для волн инфракрасного диапазона. При этом возможно значительное ускорение скорости сушки и уменьшения механических напряжений в материале при экономии электроэнергии.

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. Привесыма 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 органических; 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 в камере и возможности регулировки мощности генератора можно обеспечить однородный нагрев образцов до температуры 900...950°C. Эти выводы были сделаны на основании проведенных технологических испытаний и петрографических исследований керамического материала, полученного обжигом в лабораторной камере для СВЧ нагрева.

При сушке образцов-кубиков и балочек в лабораторной камере в течение 15 мин влажность материала снизилась с 19,7% до 6,8%. Прочность полученных образцов обожженных в течение 25...30 мин соответствует М75 ( $R_{сж} = 8.27$  МПа,  $R_{изг} = 1.98$  МПа), средняя плотность - 1,67 г/см<sup>3</sup>. Общая усадка изделий составила 5,3%, водопоглощение – 15%, морозостойкость – 15 циклов.

*Обжиг керамических изделий при пониженном давлении.*

Перспективным направлением, расширяющим технологические возможности управления процессами формирования эксплуатационных свойств керамических материалов и изделий, является обжиг при пониженном давлении [4].

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°C ниже, а интенсивное

газовыделение на 50...100°C ниже, чем при обжиге в условиях атмосферного давления. Для примесных минералов глин процесс газовыделения при пониженном давлении 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°C ниже, чем на воздухе для часов-ярской, рябовской, дружковской и кембрийской глин, и на 300°C - 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  $10^4$  Па - для кембрийской и шагонарской глин. В интервале температур 700... 1000°C прочность образцов часов-ярской 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  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$  из оксида трехвалентного железа образуется вюстит  $FeO$ , обладающий большой флюсующей способностью. По данным, при нагревании глин в вакууме до температуры 950 °С содержание  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  изменяется в пределах 0,00...62,06%, 2,18...67,08% и 0,112.. 92,26% соответственно. Максимальное содержание кислорода при температуре выше 550°C 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°C ниже, чем при атмосферном давлении. При этом прочность кирпича возрастала в 3 раза.

В табл. 3.1. представлены физико-механические свойства образцов из местных глин Тувы, обожженных в вакууме и при нормальном давлении [34-36].

Таблица 3.1

Физико-механические свойства образцов, в вакууме и при нормальном давлении

Наименование сырья	Температура обжига, °С	При пониженном давлении				При нормальном давлении				
		$\gamma_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta V$ , %	В, %	R <sub>сж</sub> , МПа	$\gamma_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta V$ , %	В, %	R <sub>сж</sub> , МПа	
Онгар-ховунская глина	700	1,79	3,7	18,0	29,0	1,74	1,5	18,7	19,5	
	800	1,83	6,1	16,7	38,3	1,79	2,6	17,8	30,5	
	900	1,89	6,6	16,1	49,5	1,86	4,0	16,6	37,7	
	1000	1,94	7,9	14,2	57,3	1,88	6,5	14,8	48,7	
	1050		деформировались				1,93	10,1	13,2	58,4
	1100		деформировались				1,99	13,0	10,1	72,1
Красноярская глина	800	1,83	0,6	16,6	26,2	1,81	0,3	17,7	21,2	
	900	1,85	1,7	14,9	32,5	1,83	0,5	16,3	24,8	
	1000	1,88	3,8	13,3	37,3	1,85	1,1	14,6	29,7	
	1050		деформировались				1,88	4,2	13,1	36,5
	1100		деформировались				1,94	7,4	9,8	40,1
Шагонарский суглинок	700	1,82	1,1	18,2	16,1	1,73	0,8	19,8	12,5	
	800	1,83	2,9	17,7	19,4	1,74	2,1	18,7	14,3	
	900	1,84	3,5	15,8	22,7	1,75	2,4	18,2	19,5	
	1000	1,85	3,6	14,9	28,9	1,74	2,8	16,3	24,6	
Шеминская глина	700	1,92	1,1	16,8	27,0	1,88	0,4	18,1	24,6	
	800	1,96	1,7	14,1	33,3	1,92	1,1	16,5	30,1	
	900	2,02	2,6	11,5	38,5	1,98	2,0	12,4	32,2	

	1000	2,10	5,9	9,1	48,7	2,06	5,7	10,8	43,5
	1040	2,20	11,3	4,3	72,6	2,14	9,7	8,5	52,5
	1100	деформировались				2,34	19,2	7,0	105,0
Шуйская глина	800	1,95	3,6	15,0	36,2	1,92	3,3	16,1	37,0
	900	2,00	5,3	14,2	40,8	1,96	7,6	14,5	37,0
	1000	2,04	6,4	11,1	48,6	2,00	10,5	14,0	39,8
	1040	2,11	11,8	7,4	66,7	2,06	13,3	11,4	44,6
	1100	деформировались				2,14	16,0	6,3	58,8
Чаданский суглинок	800	1,98	1,1	15,9	34,8	1,92	0,3	16,4	33,0
	900	1,99	1,4	14,5	37,9	1,97	0,5	15,7	34,7
	1000	2,02	1,8	13,6	39,0	1,98	1,6	14,3	37,2
	1050	2,06	3,2	7,3	54,2	2,00	2,8	12,2	41,5
	1100	деформировались				2,09	4,2	10,8	49,6
Холская глина	800	1,80	5,1	14,6	54,7	1,77	3,8	16,5	48,6
	900	1,81	7,8	13,0	59,1	1,78	5,9	14,4	54,1
	1000	1,84	9,2	10,2	63,2	1,80	8,8	11,8	57,4
	1050	деформировались				1,82	10,1	9,0	61,8
	1100					1,86	14,6	7,8	74,1
Сарыг-хайнские глинистые сланцы	900	2,04	10,0	8,0	68,3	2,01	8,6	8,2	53,5
	1000	2,15	16,8	7,6	74,7	2,13	16,1	7,8	62,1
	1100	2,32	19,1	4,2	112,4	2,19	18,2	6,7	90,4

Анализ полученных данных свидетельствует о раннем спекании керамических масс при пониженном давлении и соответственно улучшении эксплуатационных свойств керамических изделий, обожженных в таких условиях.

Регулирование при обжиге газовой среды и давления 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 [28].

### **3.5. Виды брака и способы их устранения при производстве керамических стеновых материалов**

При формировании пустотелого кирпича или керамических камней возможно появление различных видов брака. Если при прессовании пустотелых изделий на вакуумном прессе из мундштука выходит малосвязный рыхлый брус, то это является следствием недостаточного вакуума. Чтобы ликвидировать этот недостаток, требуется устранить подсосы и увеличить глубину вакуума [29].

Наблюдающееся иногда образование слоистой структуры при глубоком вакууме устраняется большим отощением массы или повышением её влажности.

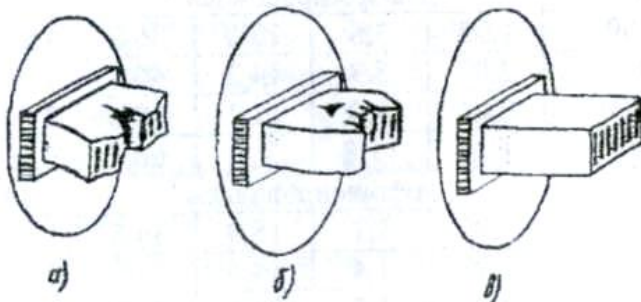


Рис. 3.2. Схема выходящего из мундштука глиняного бруса: а - при опережении середины бруса, б - при отставании середины бруса, в - равномерное движение по всему сечению бруса

Если при выходе из мундштука брус расходится в разные стороны (рис. 3.2 а), следовательно, средняя часть бруса опережает периферийные. Для устранения этого надлежит уменьшить уклон кернов в местах отставания или увеличить конусность мундштука. Небольшое увеличение конусности мундштука при одной и той же длине повышает подачу глины к наружным стенкам мундштука.

Если глиняный брус приобретает вогнутость, это означает, что середина бруса тормозится и выходит медленней (рис. 3.2 б). Для устранения такого недостатка надлежит увеличить уклон кернов или укоротить их в средней части бруса.

Появление трещины, параллельной нижней поверхности бруса, является следствием того, что масса переувлажнена, неравномерным распределением влаги в формируемой массе, а ось мундштука находится выше оси вала пресса.

Из различных видов брака, наблюдающихся во время формования сырца или выявляющихся в последующем, наиболее часто встречаются "драконов зуб", свилеобразные трещины, S-образная трещина, брус неполного сечения (рис. 3.3).

**"Драконов зуб"** представляет собой разрывы на ребрах глиняного бруса: возникает при очень тощей глине, но главным образом в результате засорения углов мундштука,



недостаточном орошении или малом угле наклона стенок мундштука. Этот дефект устраняют прочисткой и промывкой мундштука и подбором соответствующего угла наклона стенок мундштука

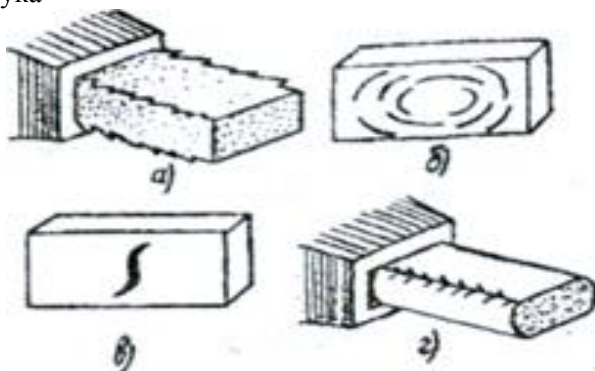


Рис. 3.3. Виды брака при формовании: а - "драконов зуб", б - свилеобразные трещины, в - S-образная трещина, г - брус неполного сечения

**Свилеобразные трещины** вызываются винтовыми шнековыми лопастями пресса.

При вращении винтообразного шнека и проталкивании глины его лопастями в результате интенсивного трения происходит полировка слоев массы, повторяющих форму витков шнека. Шнек подает массу в виде слоистой спирали, витки которой недостаточно слипаются между собой в мундштуке.

Свилеобразная структура сырца, которая часто не видна при прессовании, но при сушке и обжиге проявляется в виде свилеобразных трещин на постелях кирпича, не заходящих на грани и ребра, представляет собой наиболее трудно устранимый порок. Кирпич с такими трещинами теряет монолитность, прочность, морозостойкость.

**S-образные трещины** возникают в полнотелом кирпиче из-за выступающего конца вала: при неполном его обтекании движущейся массой создается пустое пространство, образующееся за тупым концом шнекового вала. В переходной

головке пресса и мундштука глиняная масса сжимается, но остается след от образовавшейся пустоты.

Меры борьбы со свилеобразными и S-образными трещинами заключаются в повышении количества отошителей, увеличении расстояния за счет установки дополнительного кольца шириной 100...200 мм между цилиндром и конусной головкой пресса. Это позволяет уплотнить массу.

Если из мундштука пресса выходит глиняный брус с незаполненным по углам мундштука сечением, то причиной этого является повышенная влажность массы. В этом случае давления для продвижения подвижной массы недостаточно, чтобы вытолкнуть более твердую массу, заполнившую ранее углы мундштука.

Для устранения этого недостатка необходимо прочистить мундштук, довести массу до соответствующей влажности, равномерно подавать массу в пресс и избегать частой остановки пресса и смесителя.

Возможные виды брака, причины и способы устранения при производстве керамических материалов приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Распространенные виды брака**

Виды брака	Причины	Способы устранения
1	2	3
<b>Брак при пластическом формовании</b>		
1. Наличие в изломе сырца отдельных прослоек непроработанной глины 2. Надрывы на углах и поверхностях глиняного бруса 3. Шероховатый срез 4. Растрескивание глиняного бруса	Недостаточная переработка глиномассы Неудовлетворительное орошение, засорение и износ мундштука  Засорение глины в карьере Большое проворачивание массы ара недостаточном увлажнении	Повысить стадийность переработки  Улучшить орошение мундштука, очистить или заменить мундштук Переход на новый уступ разработки карьера Повысить влажность глиномассы
5. Структурные S-образные или круговые наслоения(свилы)	Неправильный режим формования	Совершенствование головки пресса, совмещение формования с вибрацией, паровое увлажнение глины, применение добавок- отощителей и ПАВ
<b>Брак при прессовании</b>		
1. Трещины расслоения на боковых поверхностях сырца	Упругое расширение	Повышение влажности глинопорошка, снижение давления прессования, применение 2- стадийного прессования

<p>2. Заусеницы на краях сырца 3. Вырывы на поверхностях сырца</p>	<p>Износ боковых пластин формы и штампа Прилипание массы к штампу</p>	<p>Замена облицовки формы Снижение влажности глинопорошка, повышение температуры обжига</p>
<p>Брак при сушке сырца</p>		
<p>1. Трещины на поверхностях сырца 2. Коробление изделия</p>	<p>Повышенная усадка, интенсивный режим сушки, повышенная температура Неравномерная сушка</p>	<p>Введение отощающих добавок, регулирование режима сушки, увлажнение теплоносителя водяным паром Улучшение схемы укладки сырца, обеспечение равномерной подачи теплоносителя, цикличная подача теплоносителя</p>
<p>Брак при обжиге</p>		
<p>1. Трещины на поверхностях изделия 2. Оплавление изделий 3. Невысокая прочность и морозостойкость изделий (недожог) 4. Наличие в объеме и на поверхностях изделий включений белого цвета ("дутик")</p>	<p>Высокая скорость нагрева в период интенсивной усадки изделия Повышенная конечная температура обжига Низкая температура обжига, сокращенный период обжига, нарушение режима охлаждения Использование глинистого сырья с высоким содержанием карбонатов (3-7 %)</p>	<p>Регулирование скорости обжига Снижение максимальной температуры обжига Регулирование параметров обжига Интенсивная подготовка сырья, включая тонкое измельчение</p>

### 3.6. Технологический контроль качества изделий

Таблица 3.3

#### Схема технологического контроля

Контролируемые операции	Контрольные определения	Периодичность отбора проб	Методика контроля
1	2	3	4
Глинистое сырье	Влажность	1 раз в неделю и при каждом изменении заходки	Весовой метод (потеря массы, весы, сушильный шкаф)
	Гранулометрический состав	То же	Метод Б.И. Рутковского
	Наличие крупнозернистых включений (>0,5 мм)	То же	Мокрый способ, сито 0,5 мм ГОСТ 21216.4-81
	Число пластичности	1 раз в две недели	Метод балансирного конуса ГОСТ 21216-81
	Наличие известковых включений	То же	10% соляная кислота ГОСТ 21264-81
	Химический состав	При геологоразведке и контрольных определений	ГОСТ 26423-86 ГОСТ 21216.3-81
	Минералогический состав	То же	ГОСТ 21216.10-81
Сырье в процессе переработки	Влажность	Ежедневно	Весовой метод

Сушка изделий	Температурный режим сушки	2 раза в смену	Термометр сопротивления, логометр
	Относительная влажность теплоносителя в сушилке	То же	Психрометр
	Влажность изделий после сушки	Один раз в сутки	Весовой метод
Добавки: - минеральные твердые органические - пластифицирующие (в виде раствора)	Зерновой состав	1 раз в неделю	Ситовой анализ
	Влажность	То же	Весовой метод
	Насыпная плотность	То же	Весовой метод с использованием мерной ёмкости
	Плотность раствора	То же	Омметр
Обжиг изделий	Температурный режим	При каждом толкании вагонетки	Термопары с показывающим прибором
	Максимальная температура	3 раза в смену	Оптический пирометр, пироскопы
	Аэродинамический режим	1 раз в смену	Микроманометр
	Расход газа	Каждый час	Расходомер
	Давление газа	Каждый час	Манометр
	Давление воздуха	Каждый час	Манометр
Переработка смеси (глинопорошок, глиномасса)	Влажность: (до перемешивания и после перемешивания)	Ежедневно	Весовой метод (потеря массы)

	Однородность	То же	Среднестатистический метод. Отклонение показателей не более 5%
Формование	Влажность глиномассы	1 раз в смену	Весовой метод
	Глубина вакуума	При появлении разрыва сплошности бруса	Визуально контролирующие приборы
Прессование	Влажность пресс-порошка	1 раз в смену	Весовой метод
	Давление прессования	При появлении дефектов прессования	Маномент, визуально
	Прочность сырца	1 раз в смену	ГОСТ 8462-85
Готовые изделия	Размеры изделий	1 раз в смену	Линейные измерения ГОСТ 427
	Кривизна	То же	ГОСТ 10905
	Водопоглощение	То же	Весовой метод
	Предел прочности	То же	ГОСТ 4071.1 или ГОСТ 25714
	Средняя плотность	То же	Линейные измерения, определение массы

### 3.7. Вопросы для самоподготовки по главе 3

1. Какие способы формования керамических изделий существуют?
2. Какие глинистые породы применяют при пластическом способе формования?
3. Для уменьшения воздушной усадки изделий при сушке, какие добавки добавляют?
4. Какова объемная масса эффективных керамических стеновых материалов?
5. Какая структура должна быть для керамических изделий плотного и пористого черепка?
6. Какая технологическая схема при жестком прессовании?
7. Каков технологический процесс производства методом полусухого прессования?
8. Какими факторами характеризуется процесс сушки?
9. Что такое воздушная усадка?
10. Какие физико-химические свойства приобретает керамический стеновой материал в результате обжига?



## 4. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЫРЬЯ И КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

### 4.1. Технологические способы активизации сырья

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 [45].

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 интервала существуют свои, наиболее эффективные добавки: для кварца  $AlCl_3$ ,  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ , -нафтенное мыло; для линистых 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.

**Увлажнение** - важный способ регулирования технологических свойств, глинистого сырья и формовочных смесей на его основе. Увлажнение может осуществляться водой или водяным паром однократным или ступенчатым способом.

Паровое увлажнение значительно улучшает технологические свойства глиняной массы увеличивает производительность прессов и снижает их энергопотребление на 15...20%. При пароувлажнении используется пар перегретый на 20...30°C, при этом температура глиномассы не должна превышать 70°C, т. к. при большей температуре пар практически перестает на ней конденсироваться.

**Подогрев массы.** В глиносмесителе осуществляют паро- или газопрогрев глиномассы при температуре 50...80 °C через систему нагревательных трубок, что облетает работу головки пресса и подготавливает отформованное изделие - сырец к более быстрой сушке.

**Вакуумирование.** При формировании керамического кирпича и камней используют пресс 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 разработана, что предстоит сделать новому поколению исследователей-материаловедов.

#### 4.2. Введение добавок в состав шихты

**Корректирующие добавки.** В производстве стеновой керамики в зависимости от природных свойств глины используют три основных вида добавок: *отошающие* - понижающие пластичность, воздушную и огневую усадку глин; *выгорающие* - способствующие процессу обжига и снижающие среднюю плотность изделий и *пластифицирующие* - повышающие пластичность и связующую способность глин. Некоторые добавки оказывают комбинированное действие [14, 15, 31, 45].

В качестве отошающих добавок используют песок, шамот, дегидратированную глину, тонкомолотый шлак, золу ТЭС и др.

**Песок** должен быть крупнозернистым с размером зерен 0.5...2 мм. Пылевидные пески ухудшают формовочные сушильные свойства изделия. Лучшим для отошения является кварцевый песок с модулем крупности 2...2,5. Добавляют песок в количестве 10...25%. Добавка большого количества песка снижает прочность и морозостойкость керамического материала

и может явиться причиной "разрыхления" керамического черепка из-за модификационных превращений кварца.

**Шамотом** называют керамический материал, полученный обжигом глины при температуре, равной температуре обжига изделий из этой же глины. Он является более эффективным по технологическим свойствам отощителем, чем кварцевый песок, улучшая одновременно сушильные и обжиговые, а иногда и формовочные свойства глины. Предельная крупность зерен шамота не должна превышать 2 мм.

На заводах керамического кирпича в качестве шамота используют порошок, получаемый помолом отходов обожженного кирпича.

**Дегидратированной глиной** называют глину, обожженную до температуры, при которой она необратимо теряет химически связанную воду и свойства пластичности, степень дегидратации составляет 60...85%. Температура дегидратации равна 700...750 °С. Максимальные размеры зерен порошка должны находиться в пределах 1,5...2 мм, а содержание фракции 0,15 мм может достигать 30...40%. Добавляют ее в количестве 30...50%. При введении в шихту дегидратированной глины температура обжига кирпича повышается на 30...50 °С.

**Отходы керамзитового и аглопоритового производства.** Пылеуносы керамзитобжигательных агрегатов и возврат аглопоритового производства представляют, собой глину различной степени дегидратации и используются в качестве отощителей в производстве стеновой керамики. Максимальная величина зерен - 2 мм.

**Гранулированный шлак** является мелкозернистым материалом, почти не содержит пылевидной фракции, не требует помола и поэтому является в технологическом отношении выгодным отощителем. Экономически его использование наиболее эффективно кирпичными заводами, расположенными в районах размещения металлургических комбинатов.

**Выгорающие добавки** выгорают при обжиге керамических стеновых изделий. К таким добавкам относятся: древесные

опилки, каменные и бурые угли, отходы углеобогажительных фабрик, золы ТЭС, гидролизный лигнин и др.

**Древесные опилки** применяют для улучшения сушильных свойств кирпича сырца. Они армируют керамическую массу, повышая ее сопротивление разрыву, а вместе с тем и трещиностойкость при сушке. При обжиге опилки выгорают; и обеспечивают обожженному материалу требуемую прочность и морозостойкость. При изготовлении кирпича обычно добавляют 8...15% опилок по объему.

**Каменные и бурые угли** добавляют в шихту в количестве 2...2,5% от объема глины. Отловное назначение добавки угля - создать восстановительную среду в толще обжигаемого материала. Благодаря этому железистые оксиды из окисного состояния переходят в закисные, обладающие большой реакционной способностью, интенсивно образуют железистые стекла и интенсифицируют процесс спекания и упрочнения керамического черепка.

**Отходы углеобогащения.** Зольная часть этих отходов в большинстве случаев является глинистой с содержанием  $Al_2O_3$  до 16%, а теплота сгорания отходов достигает 8400 кДж на 1 кг. Некоторые заводы используют в качестве выгорающей добавки углеотходы вместо углей, что выгодно экономически и технологически, поскольку обеспечивается более равномерное распределение горючей массы в обжигаемых изделиях.

**Золы ТЭС** действуют как отошители, а вследствие наличия в них невыгоревшего коксового остатка так же, как и выгорающие добавки. Удельная поверхность зол колеблется в пределах 2000...3000  $см^2/г$ . Теплота сгорания зол ТЭС достигает 12500 кДж/кг. Для добавки в шихту необходимо использовать золу с содержанием  $CaO + MgO$  не выше 5% и потерями при прокаливании не менее 20%. Добавляют ее до 15%, а на некоторых заводах - до 50%, что позволяет снизить среднюю плотность изделий до 1250  $кг/м^3$ .

**Лигнин** - отход химической переработки древесины. Он действует не только как выгорающая, но и как пластифицирующая добавка, улучшающая сушильные и формовочные свойства глиняной массы. Лигнин вводят в глиномассу в количестве 4...15%. Наиболее распространенным

является гидролизный лигнин, который позволяет повысить пластичность глиняных смесей на 2...4 единицы и сыпучесть глинопорошков [31].

**Пластифицирующими добавками** являются высокопластичные глины, бентониты, лигносульфонаты и др [15].

**Высокопластичные глины и бентониты.** Назначение этих материалов - улучшить формовочные и сушильные свойства малопластичных суглинков.

**Бентониты** - высокодисперсные глинистые породы с преобладающим содержанием монтмориллонитовых минералов. Бентонит добавляют до 3% по массе. Высокопластичные глины и бентониты вводят в шихту в виде шликера с влажностью 40...50%.

**Сульфитно-спиртовая барда** - отход целлюлозного производства. Ее добавляют к суглинистым породам в виде слабо концентрированных растворов в количестве 0,3...0,5% в расчете на сухое вещество. ССБ способствует более равномерному распределению влаги в сырце и снижению сопротивляемость сдвиговым усилиям керамической массы, в результате чего улучшаются сушильные и формовочные свойства изделий, почти в 3 раза повышается прочность высушенного сырца и возрастает прочность обожженных изделий. В качестве корректирующих шихту добавок в производстве изделий стеновой керамики могут использоваться экологически безвредные отходы производства и специально приготовленные добавки.

Если карьерная влажность глинистой породы превышает величину формовочной влажности при условии работы предприятия по пластичному способу необходимо в начальной стадии переработки шихты вводить добавку, снижающую влажность исходной породы.

Требуемое количество сухой добавки-разувлажнителя  $M_c$  на 1т. карьерной влажности (в пересчете на сухое вещество) определяется по формуле:

$$M_c = W_r - (W_\phi - W_k)/(W_\phi - W_k) - W_d, \quad (4.1)$$

где  $W_\phi$  - абсолютная влажность формовочной влажности, %;  $W_r$  - абсолютная влажность карьерной глины, %;  $W_d$  -

абсолютная влажность сухой добавки, %;  $W_K$  - увеличение влажности массы при конденсации пара, %.

Пример расчета:

$W_\phi = 23,45$  % при относительной формовочной влажности массы, равной 19 %;  $W_r = 28,21$  % при относительной влажности карьерной глины 22 %;  $W_d = 1$  для дегидратированной глины;  $W_K = 2$  %.

Расход добавки:

- на 1 т. глины

$$W_c = 28,21 - (23,45 - 2,0) / (23,45 - 2,0) - 1 = 0,33 \text{ т.}$$

- на 1 м<sup>3</sup> - 0,53 т.

В работах [25, 26] предлагается использовать в качестве добавок при производстве керамических изделий отходов некоторых предприятий Тувы, в частности отходов асбестообогащения и отвалыные золы ТЭС.

### 4.3. Новые способы сушки и обжига

#### **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. В нашей стране также проводится работа в этом направлении.

В основе сверхвысокочастотных технологиях (СВЧ) лежит эффект выделения тепла в диэлектриках с потерями при распространении в них электромагнитных волн. Глубина проникновения электромагнитного поля в диэлектрик с потерями  $D$  определяется по формуле:

$$\Delta = \lambda_0 / 2\pi n \sqrt{2tg\delta}, \quad (4.2)$$

где  $\lambda_0$  - длина волны электромагнитных колебаний в вакууме;  $n$  - коэффициент преломления волн на границе вакуум

- диэлектрик;  $\operatorname{tg}\delta$  - тангенс угла потерь поля в веществе, определяемый частотой, проводимостью и магнитной проницаемостью вещества.

На глубину  $\Delta$  электромагнитное поле проникает практически мгновенно и в этом слое сразу же начинает выделяться тепло. Толщина слоя  $\Delta$  пропорциональна длине волны  $\lambda_0$  [36].

В обычных технологиях тепло, получаемое от сжигания топлива, выделяется в основном в инфракрасном и оптическом диапазонах, соответствующих

длинам волн доли или единицы микрон. Поэтому такие волны выделяют свою энергию в поверхностном слое обрабатываемого материала, а вглубь материала тепло попадает только за счет эффекта теплопроводности. При таких условиях сушки отмечается большая энергоемкость и длительность процесса сушки, а также высокие деформативные напряжения в материале при повышении скорости сушки.

Принятые в качестве стандартных в СВЧ энергетике частоты колебаний составляют 910 и 2450 МГц, что соответствует длинам волн 33 и 12,7 см. Учитывая, что для реальных диэлектриков, используемых в производстве строительных материалов величина  $n\sqrt{2}\operatorname{tg}\delta = 1-3$ , то глубина проникновения для таких волн в нагреваемые среды составляет единицы и даже десятки сантиметров, что во много раз больше, чем для волн инфракрасного диапазона. При этом возможно значительное ускорение скорости сушки и уменьшения механических напряжений в материале при экономии электроэнергии.

При СВЧ-нагреве и обжиге глиняных образцов из суглинков отмечаются следующие характерные особенности, протекающие при этом процессе. 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 камере и возможности регулировки мощности генератора можно обеспечить однородный нагрев образцов до температуры 900...950°C. Эти выводы были сделаны на основании проведенных технологических испытаний и петрографических исследований керамического материала, полученного обжигом в лабораторной камере для СВЧ нагрева.

При сушке образцов-кубиков и балочек в лабораторной камере в течение 15 мин влажность материала снизилась с 19,7% до 6,8%. Прочность полученных образцов обожженных в течение 25...30 мин соответствует М75 ( $R_{сж} = 8.27$  МПа,  $R_{изг} = 1.98$  МПа), средняя плотность - 1,67 г/см<sup>3</sup>. Общая усад-<sup>ка</sup> изделий составила 5,3 %, водопоглощение – 15%, морозостойкость – 15 циклов.

#### ***Обжиг керамических изделий при пониженном давлении.***

Перспективным направлением, расширяющим технологические возможности управления процессами формирования эксплуатационных свойств керамических материалов и изделий, является обжиг при пониженном давлении [4].

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 при пониженном давлении 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 глины, 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  $10^4$  Па - для кембрийской и шагонарской глины. В интервале температур 700... 1000 °С прочность образцов часов-ярской 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  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO$  из оксида трехвалентного железа образуется вюстит  $FeO$ , обладающий большой флюсующей способностью. По данным, при нагревании глины в вакууме до температуры 950 °С содержание  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  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 возростала в 3 раза.

В табл. 4.1. представлены физико-механические свойства образцов из местных глин Тувы, обожженных в вакууме и при нормальном давлении [27-28].

Анализ полученных данных свидетельствует о раннем спекании керамических масс при пониженном давлении и соответственно улучшении эксплуатационных свойств керамических изделий, обожженных в таких условиях.

Таблица 4.1

Физико-механические свойства образцов, в вакууме  
и при нормальном давлении

Наименование сырья	Температура обжига, °С	При пониженном давлении				При нормальном давлении				
		$\gamma_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta V$ , %	B, %	R <sub>сж</sub> , МПа	$\gamma_0$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta V$ , %	B, %	R <sub>сж</sub> , МПа	
Онгар-ховунская глина	700	1,79	3,7	18,0	29,0	1,74	1,5	18,7	19,5	
	800	1,83	6,1	16,7	38,3	1,79	2,6	17,8	30,5	
	900	1,89	6,6	16,1	49,5	1,86	4,0	16,6	37,7	
	1000	1,94	7,9	14,2	57,3	1,88	6,5	14,8	48,7	
	1050		деформировались				1,93	10,1	13,2	58,4
	1100		деформировались				1,99	13,0	10,1	72,1
Красно-ярская глина	800	1,83	0,6	16,6	26,2	1,81	0,3	17,7	21,2	
	900	1,85	1,7	14,9	32,5	1,83	0,5	16,3	24,8	
	1000	1,88	3,8	13,3	37,3	1,85	1,1	14,6	29,7	
	1050		деформировались				1,88	4,2	13,1	36,5
	1100		деформировались				1,94	7,4	9,8	40,1
Шагонарский суглинок	700	1,82	1,1	18,2	16,1	1,73	0,8	19,8	12,5	
	800	1,83	2,9	17,7	19,4	1,74	2,1	18,7	14,3	
	900	1,84	3,5	15,8	22,7	1,75	2,4	18,2	19,5	
	1000	1,85	3,6	14,9	28,9	1,74	2,8	16,3	24,6	
Шеминская глина	700	1,92	M	16,8	27,0	1,88	0,4	18,1	24,6	
	800	1,96	1,7	14,1	33,3	1,92	1,1	16,5	30,1	
	900	2,02	2,6	11,5	38,5	1,98	2,0	12,4	32,2	
	1000	2,10	5,9	9,1	48,7	2,06	5,7	10,8	43,5	

	1040	2,20	11,3	4,3	72,6	2,14	9,7	8,5	52,5
	1100	деформировались				2,34	19,2	7,0	105 0
Шуйская глина	800	1,95	3,6	15,0	36,2	1,92	3,3	16,1	37,0
	900	2,00	5,3	14,2	40,8	1,96	7,6	14,5	37,0
	1000	2,04	6,4	11,1	48,6	2,00	10,5	14,0	39,8
	1040	2,11	11,8	7,4	66,7	2,06	13,3	11,4	44,6
	1100	деформировались				2,14	16,0	6,3	58,8
Чаданский суглинок	800	1,98	1,1	15,9	34,8	1,92	0,3	16,4 ,	33,0
	900	1,99	1,4	14,5	37,9	1,97	0,5	15,7	34,7
	1000	2,02	1,8	13,6	39,0	1,98	1,6	14,3	37,2
	1050	2,06	3,2	7,3	54,2	2,00	2,8	12,2	41,5
	1100	деформировались				2,09	4Д	10,8	49,6
Холская глина	800	1,80	5,1	14,6	54,7	1,77	3,8	16,5	48 6 1
	900	1,81	7,8	13,0	59,1	1,78	5,9	14,4	54.1 !
	1000	1,84	9,2	10,2	63.2	1,80	8,8	~ 11,8	57,4
	1050	деформировались			1,82	10,1	9,0	61,8	
	1100	деформировались			1,86	14,6	7,8	74,1	
Сарыг-хаинские глинистые сланцы	900	2,04	10,0	8,0	68,3	2,01	8,6	8,2	53,5
	1000	2,15	16,8	7,6	74,7	2.13	16,1	7,8	62,1
	1100	2,32	19,1	4,2	112,4	2,19	18,2	6,7	90,4

#### 4.4. Вопросы для самоподготовки по главе 4

1. Назовите технологические способы активизации сырья?
2. Что представляет собой способ вакуумирования?
3. Что такое зумпфирование?
4. Основные виды добавок?
5. Назовите виды отощающих добавок и их основные свойства?
6. Виды выгорающих добавок и для чего они применяются?
7. Виды пластифицирующих добавок и их основные виды?
8. Какие новые способы сушки и обжига существуют?
9. Какова технология сушки и обжига керамики токами СВЧ?
10. Какова технология обжига керамических изделий при пониженном давлении?

## **5. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ**

### **5.1. Газокерамические стеновые изделия**

В 60-х годах, на Украине были разработаны основы технологии производства штучного материала из газокерамики. Способ производства газокерамики состоит в следующем. Глинистое сырье загружается в пропеллерную мешалку, в которую предварительно подают горячую воду с температурой 60...80 °С. Количество воды подбирается опытным путем в зависимости от свойств сырья и составляет 75... 150 % от сухой массы. Из мешалки шликер поступает в лопастной смеситель для перемешивания; туда же подают газообразователь и стабилизатор структуры массы. Газообразователем служит смесь алюминиевой пудры с известью. Расход извести составляет 4...6%, алюминиевой пудры 0.15...0.3 % (от сухой массы). В качестве стабилизатора применяется полуводный гипс (6...8%) [39].

Перемешанная в течение 1...1,5 мин. масса разливается в металлические разъемные формы, устанавливаемые на печные вагонетки. В форму заливают массу до половины объема; в дальнейшем в процессе вспучивания шликера форма заполняется полностью. Доливать формы во время вспучивания не рекомендуется, так как это влечет за собой нарушение структуры изделия.

Вспучивание глиняного шликера в формах продолжается 30...40 мин. Когда процесс вспучивания заканчивается, изделия поступают в сушилки туннельного типа. Время сушки длится от 40 до 60 мин при температуре 90... 100 °С. После сушки изделия освобождаются от форм и на тех же вагонетках поступают в туннельную печь на обжиг.

Обжиг изделий производится при температуре 1000... 1100 °С в зависимости от температуры спекания применяемого сырья. При конечной температуре обжига необходима длительная выдержка в течение 4 час, так как пористая структура газокерамики создает малую теплопроводность и

сдерживает процесс спекания в центре изделия. Изделия можно обжигать в два ряда по высоте.

Изделия легко пилятся, гвоздятся, сверлятся, средняя плотность их в зависимости от количества газообразователя колеблется от 500 до 800 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности на сжатие 1,5 - 4,0 МПа. Газокерамика может быть использована в качестве термовкладышей в стеновых конструкциях.

Немногочисленные научные публикации по этой проблеме имеют информационный, частный характер не раскрывают специфику применяемого глинистого сырья, физико-химическую породу процессов и особенностей технологии на стадии приготовления глиняных шликеров, их поризации, формирования структуры поризованной массы и механизма обжига.

В последние годы разработкой теоретических основ и технологических принципов производства строительных изделий из высокопористой керамики активно занимаются на кафедре строительных материалов и спецтехнологий НГАСУ [13, 18].

При исследовании применялись глинистые породы различного гранулометрического (глины и суглинки) и минералогического (монтмориллонитовые, каолинит - гидрослюдистые) составов.

Изучалось влияние характера среды, водоглиняного отношения (В/Г) и температуры формовочного глиняного шликера из глин и суглинков на коэффициент вспучивания шликера.

Установлено, что для обеспечения оптимальной текучести шликера и его поризации на основе монтмориллонитовых глин необходимо принимать более высокое значение В/Г, чем для каолинит-гидрослюдистых глинистых пород. Это связано с большей водопотребностью монтмориллонитовых глин при получении пластических формовочных масс или литевых шликеров. У средних и тяжелых суглинков максимальная влагоемкость составляет 18...22%, а у легких и средних глин - 25...30%.

По показателю коэффициента вспучивания была определена оптимальная температура воды затворения при



приготовлении шликера для различных по минералогии глинистых пород. Показано для обеспечения максимально возможного коэффициента вспучивания шликера температура шликера для каолинито-гидрослюдистых глинистых пород выше, чем для монтмориллонитовых (60 °С по сравнению с 50 °С). При использовании тонкодисперсных высокопористых природных минеральных наполнителей, являющихся стабилизаторами структурной прочности поризованных керамических шликеров, оптимальная температура шликера составляет 40 °С [13,19,44].

Для снижения осадки поризованной массы в период формирования структурной прочности после завершения процесса газовыделения применялись тонкодисперсные природные минеральные наполнители, которые позволяют значительно уменьшить осадку массы. Для суглинистых пород с добавлением 5-10% таких наполнителей осадка составляет 8...12%, при этом также значительно снижается воздушная и огневая усадка образцов [20].

Величина средней плотности обожженных газокерамических образцов составляет 0,4...0,6 г/см<sup>3</sup>, прочность 0,8...2,5 МПа. Газокерамика обладает высокой долговечностью, низкой гигроскопичностью, поэтому использование ее в структуре многослойных стеновых изделиях, чердачных перекрытиях и др. является рациональным направлением.

За рубежом успешно осваивается производство легковесных керамических изделий с ячеистой структурой, образующейся за счет введения различных порообразующих добавок. Многими странами приобретен шведский патент на изготовление облегченного кирпича "*Poroton*", предусматривающий введение в глину в качестве порообразующей добавки шариков пенополистирола ("стиропор") диаметром 0,5...2 мм и средней плотностью 12 кг/м<sup>3</sup>. В процессе обжига изделий добавка, выгорая, образует черепок с пористой структурой. Большое распространение кирпич "*Поротон*" получил в Германии. Ежегодно в стране выпускается около 20% от общего количества производимого в стране пустотелого кирпича.

"Поротон" выпускается в основном в виде камней размером 240x300x238 мм и плит размером 360x240x80/100/115 мм. Теплопроводность кирпича "Поротон" средней плотностью 540 и 850 кг/м<sup>3</sup> составляет соответственно 0,18 и 0,28 Вт/(м °С). "Поротон" обеспечивает хорошую звукоизоляцию и воздухообмен кладке. Прочность его при сжатии достаточно высока — 6...15 МПа при средней плотности 700...800 кг/м<sup>3</sup>, что позволяет использовать этот кирпич для несущей кладки. Изделия "Поротон" морозостойки, хорошо обрабатываются; строительный раствор и штукатурка имеют хорошую адгезию к их поверхности.

## 5.2. Пенокерамические изделия

Во Франции разработана технология производства строительных изделий из вспененной глиняной массы. 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 [34].

Пеноглиняная масса заливается в формы, которые подаются в сушилку. В зависимости от свойств глины сушка длится 24...48 ч. при повышении температуры в сушилке от 20 до 100 °С. Высушенные изделия извлекаются из формы и загружаются на печные вагонетки. Обжиг производится при температуре 900...1000 °С. Обожженные изделия доводятся до требуемого размера разрезанием или шлифовкой. Обычно получают плиты размером 600x600x80 или 600x400x80. Поверхность может быть плоской или с рельефным рисунком, может глазуроваться или окрашиваться.

Керамический материал из пеноглины имеет среднюю плотность 600...1000 кг/м<sup>3</sup>, открытую пористость до 60...80%, коэффициент термического расширения 4...5 мкм/(м °С). Материал обладает высокой капиллярностью, но не гигроскопичен. Теплопроводность составляет 0,19 Вт/(м °С) при средней плотности 700 кг/м<sup>3</sup> и 0,21...0,23 Вт/(м °С) при 800 кг/м<sup>3</sup>.

Изделия строительной керамики из вспененной массы получены в ПНР. Для этого предварительно подсушенная глина измельчается до размера зерен 1 мм. В качестве пенообразователя используются моющие средства (например, "Teepol") фирмы "Shell" или "Aphrosol F.C." "Chemical Industries". Вспененная масса заливается в формы, в которых подвергается термообработке в течение 12...24 часов. Конечная температура обжига около 1050 °С [34].

Плиты, изготовленные из вспененной массы, имеют среднюю плотность 800 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 4,0 МПа, при изгибе - 1,6 МПа, коэффициент теплопроводности 0,2 Вт/(м°С), влажность 0,5%, водопоглощение 42%.

Одним из приоритетных направлений развития в области производства строительных материалов в России является разработка и внедрение в практику строительства нового поколения пеностеклокерамических материалов с матричной ячеистой структурой [6].

Сплошность стенок пор, получаемая в этом классе материалов, обеспечивает высокую приведенную прочность и морозостойкость при низкой теплопроводности и водопоглощении. Пенокерамика на основе глины при плотности 550 кг/м<sup>3</sup> имеет предел прочности при сжатии более 10 МПа при теплопроводности менее 0,3 Вт/(м °С) [11].

### **5.3. Пеностеклокерамические изделия**

Пеностеклокристаллические материалы выпускаются в виде круглых гранул и плит. Основой получения пенокристаллических материалов является технология производства пеностекла, где для изготовления применяют отходы стекла.

Пеностеклокристаллические материалы отличаются сырьем и в составе конечного продукта наряду с стеклом присутствует кристаллическая фаза.

Следует отметить, чистое пеностекло отличается повышенной температурой 1200-1350 °С варки стекла и последующим вспениванием массы с получением гранул.

Пеностеклокристаллический материал (ПСКМ) является наиболее эффективным теплоизоляционным материалом по совокупности своих потребительских свойств: прочности, водопоглощению, химической стойкости и коэффициента теплопроводности.

Существует два способа получения пеностеклокристаллических материалов, которые отличаются стадийностью. В первом случае сначала получают стеклогранулят, затем добавляют пенообразователь и основной компонент, содержащий кристаллические фазы. Данный способ отличается двухстадийностью.

Второй способ, называемый одностадийный, где подготовка сырьевых материалов и термообработка с получением пористого материала происходит один раз и последовательно.

Наиболее известным пеностеклокристаллическим материалом является изделия под маркой Сибирфом [52]. Предложенная авторами технология изготовления Сибирфома – одностадийная, включающая термообработку цеолитов с добавками при температурах 1180 – 1200 °С и получение материала плотностью около 650 кг/м<sup>3</sup>.

Однако, двухстадийная технология получения ПСКМ позволяет снизить температуру обжига до 850 °С и получить материал с насыпной плотностью гранул 420 кг/м<sup>3</sup> [2].

Двухстадийная технология получения ПСКМ основана на порошковом способе и включает в себя две основные стадии. Первая стадия - получение стеклогранулята в условиях низкотемпературного синтеза. Стеклогранулят представляет собой промежуточный продукт, на основе которого готовится пенообразующая смесь для получения ПСКМ. Синтез стеклогранулята осуществляется при относительно низких температурах, не превышающих 950 °С (по сравнению с классическим стекловарением, которое протекает при температурах 1300 - 1400 °С), на стандартном для промышленности строительных материалов оборудовании, без применения высокотратных и энергоемких стекловаренных печей. Наличие кристаллической фазы положительным образом сказывается на физико-механических свойствах готового

ПКСМ, при этом размер частиц кристаллической фазы и ее количество должны соответствовать определенным требованиям.

Вторая стадия - приготовление пенообразующей смеси из порошка стеклогранулята с газообразователем, проведение процесса вспенивания с получением готового ПКСМ.

Двухстадийная технология получения ПКСМ позволяет поэтапно оптимизировать структуру и свойства материала в зависимости от его назначения. На первом этапе решается задача синтеза стеклогранулята с заданными характеристиками, управлять которыми можно за счет рецептурных и технологических факторов. На втором этапе осуществляется управление основными показателями макро- и микроструктуры ПКСМ.

Температурный интервал обработки шихты для низкотемпературного стеклогранулята должен отвечать фазовому переходу шихты из твердого состояния в вязкотекучее (с образованием расплава в количестве не менее 75 %), что определяется составом шихты, а также природой ее главного компонента. Режим термообработки подбирается индивидуально для каждого состава шихты.

В результате термообработки шихты в области температур не менее 0,8 от температуры ликвидуса в системе не достигается равновесие и сохраняется кристаллическая фаза. Массовое содержание в стеклогрануляте не должно превышать 25 %. После вспенивания содержание кристаллической фазы снижается до значений от 15 до 4 %.

Полученный гранулят измельчают, смешивают с газообразователем и проводят вспенивание. Газообразователи должны отвечать следующим требованиям:

- выделение газовой фазы при нагревании только после полного спекания;
- плавное возрастание давления продуктов разложения в температурном интервале спекания.

В качестве основных компонентов исходной шихты использованы природные и техногенные материалы. В зависимости от вида сырья состав шихты корректируется различными добавками. Основу шихты составляют три компонента: кремнеземистый (природный и техногенный),

щелочной (кальцинированная сода) и газообразователь (сажа, известняк).

Основными требованиями являются: к исходному кремнеземистому материалу - его тонкодисперсность (средний размер частиц менее 100 мкм) и химический состав; к шихте - устойчивость к стеклообразованию, количество образующегося расплава и его реологические свойства.

Анализ научной литературы показал, что выбор состава шихты для получения ПСКМ должен осуществляться с учетом следующих условий:

- массовое содержание стеклообразователей и оксидов щелочных металлов в шихте должно быть достаточным для устойчивого стеклообразования, т.е. находиться в пределах 60 - 75 и 13 - 22 % соответственно;

- количество расплава должно быть не менее 70 %, что необходимо для обеспечения пиропластического состояния массы на стадии вспенивания;

- жидкая фаза должна иметь оптимальную вязкость ( $10^3 - 10^6$  Па·с) в температурном интервале вспенивания;

- температура образования жидкой фазы (расплава) не должна превышать 950 °С, чтобы обеспечить снижение энергозатрат.

Процесс вспенивания пенообразующих смесей, подготовленных из синтезированного стеклогранулята, измельченного до удельной поверхности 5000 см<sup>2</sup>/г с добавлением в качестве газообразователя сажи в количестве 0,5 %, оценивали по значению коэффициента вспенивания  $K_v$ . Коэффициент вспенивания показывает, степень увеличения объема образца в процессе термообработки при получении пористого материала.

Таким образом, разработанный температурный режим вспенивания при 850°C с выдержкой 10 мин обеспечивает получение оптимальной макроструктуры пористого материала со следующими характеристиками: средний размер пор 1,2 мм, средняя толщина межпоровой перегородки 50 мкм.

Полученный ПСКМ имеет пористое строение. Некоторые физико-химические показатели имеют следующие величины:

- плотность - 150.. 250 кг/м

- коэффициент теплопроводности - 0,1...0,125 Вт/(К·м<sup>2</sup>),
- прочность при сжатии - 1,5...2,5 МПа.

#### **5.4. Изделия, полученные выгоранием составляющих**

Наиболее традиционным методом повышения пористости керамических материалов с уменьшением теплопроводности является применение выгорающих добавок при термической обработке. Метод основан на том, что после выгорания добавки при обжиге остаются поры.

Для получения пористых керамических изделий в исходную массу на основе глинистых пород добавляют различные выгорающие добавки – опилки, измельченный уголь, высушенные фекалии, горючие сланцы, шелуха злаков, полимерные гранулы.

В зависимости от состава шихты, вида добавки и проектируемой конфигурации изделий используют порошкообразные, пластичные и жидкотекучие массы.

Выбор вида выгорающих добавок зависит от метода формования и требуемой пористости получаемых изделий.

Древесные материалы вследствие сильного упругого последействия лучше всего использовать при пластическом формовании и шликерном литье. При прессовании предпочтительны прочные углистые материалы.

Максимальное содержание выгорающей добавки зависит от способа формования и от пластичности исходной глинистой породы.

При применении высокопластичных и жирных глин содержание древесной опилки в составе шихты достигает до 50%. При дальнейшем повышении доли выгорающей древесной добавки, масса становится менее пластичным и при формовании сырца образуются дефекты.

В случае применения измельченных горючих сланцев, их долю при пластическом формовании можно довести до 70%.

Опыт показывает, что при формовании изделий литым способом из шликера, содержание выгорающей минеральной добавки возможно, увеличить до 80%.

Следует отметить, что в большинстве выгорающие добавки пористые и для получения нормально формуемой пластичной массы добавляют значительно больше воды, чем в случае с чистой глинистой породы.

Особенностью применения фекалий мелкого и крупного рогатого скота является то, что наряду с порообразующим эффектом, данная добавка еще оказывает пластифицирующее действие. Выявлено, что при добавке более 10% фекалий, повышается пластичность массы, особенно шихты на основе грубодисперсных суглинков и супесей.

Многие выгорающие добавки в силу особенностей химической основы и структуры, в период сушки подвергаются к значительной усадке и способствуют образованию трещин в сырце, что связано с уменьшением пластичной глиняной связки в общем объеме сырца. Поэтому, в зависимости от пластичности массы, содержание выгорающей добавки ограничивается в пределах 20-50%. С повышением доли выгорающей добавки разрыхляется структура сырца после сушки и значительно теряется прочность. В тоже время пористость сырца увеличивается с 18-22 до 30-35 %.

Важной технологической операцией является выгорание добавок, в результате которой формируется пористая структура.

Установлено, что древесные опилки, рисовая шелуха, фекалии, полистирольные гранулы разлагаются в пределах 240-400 °С с образованием пор различного диаметра. Время и продолжительность выгорания добавок зависит от многочисленных факторов: вида, содержания, размера частиц, режима обжига, толщины и газопроницаемости обжигаемых изделий.

Выявлено, максимальная пористость обжигаемого материала наблюдается в пределах 400-600 °С, после полного выгорания добавок.

В дальнейшем начиная с 700 °С после дегидратации и разложения глинистых минералов, с началом спекания и образования расплава, наблюдается уменьшение объема внутренней пористости. К концу процесса обжига, общая внутренняя пористость черепка на 10-20% уменьшается, чем при 500-600 °С. Тем не менее, после обжига пористость керамических



стеновых материалов с применением выгорающих добавок колеблется в пределах 40-60% в зависимости от содержания порообразующего компонента.

Исследования показывают, что в случае использования измельченного каменного угля формирование пористой структуры черепка продолжается до конца обжига (до 900-1000 °С), в связи с особенностями выгорания и окисления частиц угля. В данном случае присутствие топливосодержащего компонента способствует спеканию массы. Поэтому, керамические массы содержащие измельченный уголь позволяют получить изделия повышенной прочности, по сравнению масс, где имеются опилки, фекалии и рисовая шелуха.

Изучение структуры высоко-пористых керамических изделий на основе выгорающих добавок показывает, что наиболее крупные поры (диаметром до 5 мм) наблюдается при применении полистирольных гранул. При этом общая пористость изделий 600-800 кг/м<sup>3</sup>.

Методом введения выгорающих добавок можно повысить пористость керамических изделий до 40-65%. Они характеризуются невысокой прочностью (2,5-7,5 МПа), низкой теплопроводностью (0,25-0,35 Вт/м°С), повышенной газопроницаемостью, удовлетворительной термостойкостью.

### **5.5. Вопросы для самоподготовки по главе 5**

1. Назовите виды теплоизоляционных керамических материалов?
2. Опишите технологию производства газокерамики?
3. Какова величина средней плотности обожженных газокерамических образцов?
4. Опишите технологию производства пенокерамических изделий?
5. Основные достоинства пеностеклокристаллического материала?
6. Назовите способы получения пеностеклокристаллических материалов?
7. Каковы основные требования к исходному кремнеземистому материалу?
8. Как можно повысить пористость керамических материалов?
9. Назовите виды выгорающих добавок?

## 6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА ШИХТЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 6.1. Расчет состава сырьевой шихты

Расчетом устанавливают потребность в глинистом сырье и добавочных материалах для обеспечения проектной производительности предприятия. Исходные данные для расчета материального баланса: проектная производительность и режим работы предприятия, технологические потери, потери при прокаливании (п.п.п.) компонентов шихты, состав шихты, карьерная и формовочная влажность, а также насыпная плотность сырьевых материалов.

За условный кирпич принимается объем одного стандартного кирпича размером 250x120x65 мм (~2 дм<sup>3</sup>). Для перевода продукции в условный кирпич следует пользоваться коэффициентами: кирпич размером 250x120x65 мм - 1, кирпич утолщенный 250x120x88 мм - 1,35, камень керамический 250x120x138 мм - 2,12 [14].

Расчет материального баланса ведется в порядке, обратном технологическому потоку, за исходную величину принимают заданную производительность предприятия.

Производительность каждого технологического передела (млн. шт.) определяют по формуле:

$$P_{np} = P_{mn} / (1 - (X_n / 100)), \quad (6.1)$$

где  $P_{np}$  - производительность рассчитываемого передела,  $P_{mn}$  - производительность передела, предшествующего рассчитываемому,  $X_n$  - технологические потери передела.

Производительность печей ( $P_1$  млн шт.) рассчитывается по формуле :

$$P_1 = P_r \cdot 100 / (100 - X_1) \quad (6.2)$$

где  $P_r$  - годовая производительность предприятия, млн. шт. условного кирпича ;  $X_1$  - потери при обжиге, % . Для полнотелого кирпича - 3%, для пустотелого кирпича и керамических камней - 3...5%.

Производительность сушилок ( $P_2$  , млн шт.) определяется с учетом производительности печей :

$$P_2 = P_1 \cdot 100 / (100 - X_2), \quad (6.3)$$

где  $X_2$  - потери при сушке, %. Для полнотелого кирпича  $X_2 = 2\%$ , для пустотелого кирпича и камней - 3 ... 4%.

Производительность прессов ( $\Pi_3$  в млн шт. кирпича) рассчитывается по формуле:

$$\Pi_3 = \Pi_2 \cdot 100 / (100 - X_3), \quad (6.4)$$

где  $X_3$  - потери при прессовании, %. Для перевода производительности предприятия из млн. шт. усл. кирпича в тонны ( $P_1$  в т.) используют массу одного кирпича - сырца (g) :

$$P_1 = \Pi_3 \cdot g. \quad (6.5)$$

При расчетах ориентировочно массу кирпича-сырца полнотелого пластического формования принять - 4 кг, пустотелого - 3,6 кг, полусухого прессования - 3,7 кг.

При расчете производительности смесителей ( $P_2$ , т) учитывают потери при массоподготовке ( $X_4 = 1...2\%$ ):

$$P_2 = P_1 \cdot 100 / (100 - X_4). \quad (6.6)$$

Расход воды при увлажнении шихты при пластическом формовании ( $P_B$ , л) определяется по формуле:

$$P_B = (P_2 \cdot W_2 / 100) - (a_1 \cdot P_2 \cdot W_1 / 100), \quad (6.7)$$

где  $W_1$  - карьерная влажность глины, % (обычно 14—20%);  $W_2$  - влажность шихты перед формованием (16...24%);  $a_1$  - содержание глины в составе шихты, %. Для полусухого прессования :  $W_2$  - влажность пресс- порошка после увлажнения;  $W_1$  - до увлажнения, %.

Масса сухой шихты ( $P_3$  в т) рассчитывается по разности :

$$P_3 = P_2 - P_B. \quad (6.8)$$

Объем сухой шихты равен (м<sup>3</sup>):

$$V = P_3 / \rho_{ш} \quad (6.9)$$

где  $\rho_{ш}$  - насыпная плотность шихты т/м<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$\rho_{ш} = a_1 \rho_1 + a_2 \rho_2 + a_3 \rho_3 / 100, \quad (6.10)$$

где  $a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$  - содержание в шихте соответственно глины, выгорающих (опилки, уголь, лигнин) и отощающих добавок (зола, песок, шлак), % ;  $\rho_1$  ;  $\rho_2$ ;  $\rho_3$  - насыпная плотность соответственно глины, выгорающих и отощающих добавок. Насыпная плотность глины - 1,5... 1,7 т/м<sup>3</sup>, опилок - 0,25...0,35 т/м<sup>3</sup>, лигнина - 0,3...0,45 т/м<sup>3</sup>, угля - 0,4...0,6 т/м<sup>3</sup>, золы - 0,9...1,1 т/м<sup>3</sup>, песка - 1,5 т/м<sup>3</sup>.

Производительность дозаторов рассчитывается для каждого компонента: глины ( $V_1$ ); выгорающих ( $V_2$ ); отошающих ( $V_3$ ):

$$\begin{aligned} V_1 &= V \cdot a_1 / 100; & V_2 &= V \cdot a_2 / 100; \\ V_3 &= V \cdot a_3 / 100, & & (6.11) \end{aligned}$$

где  $a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$  - содержание, составляющих смесь компонентов (глины, добавок), %.

Расход глины с учетом потерь при переработке и транспортировании составляет ( $m^3$ ):

$$V_4 = V_1 \cdot 100 / (100 - X_5). \quad (6.12)$$

$X_5$  - потери при переработке и транспортировке (1...2%).

Расход глины с учетом карьерной влажности ( $m^3$ ):

$$V_5 = V_4 \cdot 100 / (100 - W_1), \quad (6.13)$$

где  $W_1$  - карьерная влажность, %.

Удельный расход глинистого сырья на 1000 штук кирпича:

а) по объему,  $m^3$   $g_1 = V_5 / \Pi_r, \quad (6.14)$

б) по массе, т  $g_2 = g_1 \cdot p_1 \quad (6.15)$

Аналогично с учетом потерь рассчитывается потребность в добавках. Расход сырья компонентов может быть рассчитан по удельным нормам из расчета 2,5  $m^3$  на 1000 шт. усл. полнотелого кирпича пластического формования из невакуумированной массы без добавок и 2,7  $m^3$  на 1000 шт. усл. кирпича пластического формования из вакуумированной массы без добавок. При вводе добавок расход сырья сокращается. Расчет потребного количества сырья ( $B$ ) определяется по формуле ( $m^3$ ):

$$B = \Pi_r \cdot C (100 - n) \cdot 100 / (100 - x) \cdot (100 - y), \quad (6.16)$$

где  $\Pi_r$  - производительность завода в год в тыс. шт. усл. кирпича;  $C$  - расход сырья,  $m^3$  на 1000 тыс. шт. усл. полнотелого кирпича;  $n$  - пустотность пустотелого кирпича или камней, % ;  $x$  - потери при сушке и обжиге, % (5...8%);  $y$  - потери при транспортировании, % (1...2%).

## 6.2. Расчет мощности перерабатывающего и формовочного оборудования

Современные перерабатывающие машины и комплексы приведены в пособии [40].

Часовая производительность технологических машин ( $Q_{\text{расч.}}$ ) подсчитывается с учетом их паспортной производительности и коэффициентов:

$$Q_{\text{расч.}} = Q_{\text{пасп.}} \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_{\text{ук}}, \quad (6.17)$$

где  $K_p$  - коэффициент использования оборудования с учетом планово- предупредительных ремонтов (0,9...0,93);  $K_r$  - коэффициент готовности оборудования;  $K_{\text{ук}} = 0,93$  - коэффициент использования рабочего времени, учитывая время на ремонт, чистку, смазку и наладку;  $Q_{\text{пасп.}}$  - паспортная производительность ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $\text{т}/\text{ч}$ ; шт/ч).

Коэффициент готовности оборудования составляет: питатель ящичный, бегуны мокрого помола, пресс вакуумный шнековый - 0,96; вальцы грубого и тонкого помола, глиносмесители - 0,97; ленточные конвейеры - 0,98; электропередаточная тележка - 0,9; автомат укладчик сырца и автомат садчик соответственно 0,85 и 0,8.

Количество технологических линий ( $F_{\text{тл.}}$ ) определяется по годовой потребности в сырье и расчетной производительности самого малопроизводительного оборудования:

$$F_{\text{тл.}} = B / Q_{\text{расч.}} \cdot T_k, \quad (6.18)$$

где  $B$  - годовая потребность в сырье,  $\text{м}^3$ , т;  $T_k$  - календарное время работы оборудования в год с учетом режима работы отделений предприятия, час.

Количество единиц требуемого к установке прессового, резательного, укладочного и др. оборудования ( $n_o$ ) определяется по аналогичной форме с учетом номенклатуры:

$$n_o = P_r \cdot K_n / Q_{\text{расч.}} \cdot T_k, \quad (6.19)$$

где  $P_r$  - годовая производительность в тыс. шт. усл. кирпича;  $K_n$  - коэффициент, учитывающий номенклатуру изделий, принимается для полнотелого кирпича - 1; для пустотелого кирпича - 1,25.

### 6.3. Расчет теплотехнического оборудования

**Сушилки.** В производстве керамических стеновых изделий используются в основном три типа сушилок:

- полках стеллажей, в движении находится теплоноситель;
- туннельные сушилки, в которых изделия передвигаются вдоль туннеля на вагонетках;
- скоростные и высокоскоростные сушилки, когда изделия укладываются в один или несколько рядов.

Продолжительность сушки кирпича в камерных сушилках в среднем составляет 48...72 ч. В туннельных сушилках с отбором теплоносителя и сосредоточенной подачей срок сушки сокращается до 16...32 ч.

Скоростная сушка происходит в течение 4...8 ч, высокоскоростная - 1...4 ч. Сокращение сроков сушки в последних случаях связано с большим объемом теплоносителя и высокой скоростью движения (6 м/с), температура может быть невысокой - 30...40 °С. Высокоскоростные сушилки (фирма "Морандо Импьянти", Италия) относятся к щелевым роликовым агрегатам шириной от 2 до 4 м. Такие сушилки применяются при использовании низкочувствительного к сушке сырья для получения тонкостенных керамических изделий.

Сушка может быть организована на печных вагонетках в тех случаях, когда влажность формовочной смеси не превышает 10... 15%. Изделия загружаются в пакеты высотой не более 12...14 штук, продолжительность сушки при такой садке колеблется от 36 до 48 ч.

При использовании однорядной садки на печную вагонетку можно сократить продолжительность сушки до 4...20 ч.

Емкость туннельной сушилки представляет собой количество вагонеток, одновременно находящихся в ней (n) [45]:

$$n = \Pi_{2ч} T_c / N_b, \quad (6.20)$$

где  $N_b$  - емкость одной вагонетки, шт, ;  $\Pi_{2ч}$  - часовая производительность сушилок;  $T_c$  - продолжительность сушки, ч.

Назначив длину туннеля  $L$  (20...36 м) и зная длину одной вагонетки ( $l_B$ ), можно найти количество вагонеток в одном туннеле ( $m$ ):

$$m = L/l_B. \quad (6.21)$$

Количество туннелей ( $N_T$ ) определяется по формуле:

$$N_T = n/m = \Pi_2 \text{ ч} \cdot T_C / N_B \cdot m. \quad (6.22)$$

Сушильная вагонетка длиной 1,7 м имеет емкость 248 шт. кирпича. Количество туннелей обычно берут больше расчетного, учитывая их ремонт и чистку; на каждые 8... 10 туннелей принимают один запасной туннель. Типовой 3-х путный сушильный туннель имеет длину 43,5 м, в одном блоке может быть до 30 туннелей.

Температура теплоносителя в сушилках составляет 100... 150 °С, расход на 1000 шт. усл. кирпича - 30...40 м<sup>3</sup>. Искусственная сушка требует до 100... 150 кг усл. топлива.

**Обжиговые печи.** Кирпич и камни керамические обжигаются, в основном в туннельных печах. При обжиге используются следующие виды топлива: жидкое, газообразное и твердое. Основные направления совершенствования конструкции печи связаны с применением сборных модульных печей, плоских самонесущих сводов, с использованием высокоэффективной теплоизоляции из

керамического волокна. Перечисленные мероприятия позволяют сократить расход топлива на 40% и увеличить полезный объем печи на 25...30%. Определение часовой производительности печи ( $\Pi_{\text{ч}}$ ), шт/ч:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi_1 / Z_p \cdot K_{\text{и}} \cdot n, \quad (6.23)$$

где  $Z_p$  - число рабочих дней в году (обычно 345...360);  $\Pi_1$  - годовая производительность печи, шт/год;  $K_{\text{и}}$  - коэффициент использования рабочего времени ( $K_{\text{и}} = 0,96$ );  $n$  - количество рабочих часов печи в сутки, час (24 часа). Определение емкости печи:

$$E_n = \Pi_{\text{ч}} \cdot T_o, \quad (6.24)$$

где  $\Pi_{\text{ч}}$  - часовая производительность печи, шт/ч;  $T_o$  - продолжительность обжига, час.

Расчетная длина рабочей части обжигательного канала печи ( $m$ ):

$$L_p = E_n \cdot l_B / E_B = n_{\text{вп}} \cdot l_B; \quad (6.25)$$

$$n_{вр} = E_n / E_v \quad (6.26)$$

где  $E_v$  - емкость печной вагонетки (3100 шт.), шт.;  $l_v$  - габаритная длина вагонетки (при расчетах принять 3м), м;  $n_{вр}$  - количество вагонеток в рабочей части печи.

Общая длина печи :

$$L = L_p + n_{вф} \cdot l_v, \quad (6.27)$$

где  $n_{вф}$  - количество вагонеток в форкамерах (обычно 1).

Количество вагонеток в печи :

$$n_v = n_{вр} + n_{вф}. \quad (6.28)$$

Интервал времени между двумя загрузками вагонеток

$$T_v = 60 \cdot T_o / n_{вр}. \quad (6.29)$$

Длина типовых туннельных печей составляет 60...120м., производительность - 10...50 млн. шт. в год.

#### **6.4. Задания для самостоятельного выполнения по главе 6**

##### **Задача №1**

Определить степень пригодности сырья для производства керамических стеновых материалов, если глинистая порода в химическом составе имеет до 78% оксида кремния и алюминия, а доля щелочных оксидов в сумме составляет 1,1%.

##### **Задача №2**

Определить вид породообразующего минерала глинистой породы, если потеря при прокаливании пробы при 1000<sup>0</sup>С составила 11,2% и величина воздушной усадки достигает до 12%.

##### **Задача №3**

Определить число пластичности глины, если ее аналог при содержании 30% глинистых частиц, имел число пластичности 14. В исходной глине содержание глинистых частиц 25%.

##### **Задача №4**

В гранулометрическом составе глинистой породы содержание песчаных частиц составляет 24-28%, пылеватых частиц 47-53%. Сколько будет доля глинистых частиц и примерное число пластичности массы.

##### **Задача №5**



В качестве отошающей добавки приняты песок, зола и шлак. Водопоглощение добавок равняется 6%, 34% и 16% соответственно. Какая добавка будет наиболее эффективной отошающей добавкой.

#### Задача №6

Керамический черепок на основе чистой глины после обжиге имел 26% пористости. Для повышения пористости кирпича, в состав шихты добавили 20% опилки (по объему). Насколько изменится пористость черепка?

#### Задача №7

Для повышения прочности керамического материала в состав шихты вводили до 20% тонкоизмельченного стеклобоя, что увеличило прочность кирпича с 10 до 15 МПа. Насколько повысится прочность кирпича, если добавить до 40% плавни.

#### Задача №8

Для создания пористого керамического материала в состав шихты ввели до 40% выгорающей добавки, что повысило пористость до 61%. Первоначальная пористость черепка составила 24%. Сколько будет прочность, если ввести 25% выгорающей добавки.

#### Задача №9

Для направленного регулирования прочности керамического материала добавили 30% плавни (по массе), что обеспечило повышение прочности кирпича с 9,8 до 13,5 МПа. На сколько, повысилась марка кирпича по прочности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения эффективности производства керамических кирпича и камней рекомендуется дифференцированное использование в технологии добавочных материалов с учетом характеристик исходных пород, применение в составе масс новых видов природного минерального сырья (цеолиты, диопсиды и др.) современных перерабатывающих и формовочных машин, а также таких новых обжиговых печей как печи со съемным сводом, колпаковые циркуляционные печи "ТЕСКА", ротационные печи и сушилки, которые позволяют исключить применение вагонеток и применять различные виды топлива [5, 34, 40, 53].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Августаник А.И. Керамика / А. И. Августиник. – Ленинград : Стройиздат, 1975. – 592 с.
2. Альперович, И.А., Бурмистров В. Н. Способы предотвращения высолов на глиняном кирпиче / И.А. Альперович, В.Н. Бурмистров // Обзорная информация ВНИИЭСМ. – Москва, 1977. – 56 с.
3. Альперович И.А. Керамические стеновые и теплоизоляционные материалы в современном строительстве / И.А. Альперович // Строительные материалы. – 1997. – № 2. – С. 12-14.
4. Боженов П.И. Использование вакуума в технологии строительной керамики / П.И. Боженов // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 4. – С. 56-61.
5. Бурмистров В.Н. Использование отходов угольной промышленности в качестве сырья для производства керамических стеновых изделий / В. Н. Бурмистров // Обзорная информация ВНИИЭСМ. – Москва, 1976. – С. 43-45.
6. Верещагин В.И. Диоксидовые породы - универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов / В.И. Верещагин, Ю.И. Алексеев, В.М. Погрбенков // Промышленность строительных материалов. Сер. 5. Аналитический обзор. – Вып 2. – Москва : ВНИИЭСМ, 1990. – С. 60-64.
7. Верещагин, В.И. Керамические теплоизоляционные материалы из природного и техногенного сырья Сибири / В.И. Верещагин // Строительные материалы. – 2000. – №4. – С. 34-35.
8. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий / Ю. П. Горлов. – Москва : Высшая школа, 1989. – 384 с.
9. Гурьева В. Проектирование производства изделий строительной керамики: учебное пособие / В. Гурьева; Минобр науки РФ, ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет». – Оренбург: ОГУ, 2013. – 179 с.; То же [Электронный ресурс]. –

URL : <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259145> (13.09.2018).

10. Дворкин Л.И. Строительное материаловедение : Русско-английский справочник: учебное пособие / Л.И. Дворкин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. – 653 с.: ил., схем., табл. – Библиогр: С. 621-622; То же [Электронный ресурс]. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=464420> (13.09.2018).

11. Езерский В.А. Основные свойства пористокерамических материалов // Сб. трудов ВНИИСтрома. – Москва ; 1984. – Вып. 53. – С. 45-47.

12. Завадский В.Ф., Путро, Н.Б. Есть ли альтернатива строительным теплоизоляционным поропластам / В.Ф. Завадский Н.Б. Путро // Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: доклады II Всерос. н.п.к. – Бийск, 2002. – С. 27-30.

13. Завадский В.Ф. Поризованная строительная керамика / В.Ф. Завадский Н.Б. Путро, Ю.С. Максимова // Строительные материалы. – 2003. – №12. – С. 2- 3.

14. Завадский В.Ф. Технология изделий стеновой и кровельной керамики: – учеб. пособие / В.Ф. Завадский, Э.А. Кучерова, Г.И. Стороженко, А.Ю. Паничев. – Новосибирск: НГАСУ, 1998. – 76 с.

15. Завадский В.Ф. Опыт применения поверхностно-активных и пластифицирующих добавок в производстве керамических стеновых материалов / В.Ф. Завадский, Г.И. Книгина, Г.И. Стороженко // Обзорная информация ВНИИЭСМ. – Москва, 1986. – 48 с.

16. Завадский В.Ф. Разработка научно-технологического комплекса производства стеновой и кровельной керамики из активированного глинистого сырья / В.Ф. Завадский, Г.И. Стороженко, И.В. Собянин, Н.Б. Путро // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – № 2. – С. 134-138.

17. Завадский В.Ф. Керамические стеновые материалы: учеб. пособие / В.Ф. Завадский, Э.А. Кучерова. – Новосибирск : НГАСУ, 2002. – 84 с.

18. Завадский В.Ф. Основные принципы технологии изделий теплоизоляционной строительной керамики / В.Ф. Завадский /

Материалы Всероссийской н.т.к.: актуальные проблемы строительного материаловедения. – Томск, 1998. – С. 40-41.

19. Завадский В.Ф. Влияние свойств глинистых пород и технологических факторов на поризацию глинистых шликеров / В.Ф. Завадский Ю.С. Максимова, Н.Б. Путро // Современные материалы и технологии в строительстве : международный сб. науч. тр. – Новосибирск : НГАУ, 2003. – С. 98-100.

20. Завадский В.Ф. Поризованная строительная керамика с минеральными стабилизаторами структурной прочности / В. Ф. Завадский Н. Б. Путро, Г. И. Стороженко // Проблемы и пути создания композиционных минеральных ресурсов : сб. тр. регион. научно-практ. семинара. – Новокузнецк, 2003. – С. 44-46.

21. Кара-Сал Б. К. Керамические строительные материалы из сырья Тувы : автореф. дисс. / Б. К. Кара-Сал. – Ленинград : 1985. – 20 с.

22. Кара-Сал Б.К., Кудрявцев В.И. Химико-минералогические особенности местных глин и суглинков Тувы / Б.К. Кара-Сал, В.И. Кудрявцев // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы : Сб. науч. тр. ТуВИКОПР СО РАН. – Кызыл, 2002, – С. 100-104.

23. Кара-Сал Б.К., Ондар Э.Э. Возможности получения керамических плиток для пола на основе местного сырья Тувы / Б.К. Кара-Сал, Э.Э. Ондар // Изв. вузов. Строительство – 1996. – №10. – С. 54-56.

24. Кара-Сал Б. К. Использование глинистых пород Тувы для производства керамических изделий / Б.К. Кара-Сал // Строительные материалы. – 2003. – № 11. – С. 43-45.

25. Кара-Сал Б.К., Сат В.Б. Использование отходов асбестообогащения для получения тугоплавкого кирпича / Б.К. Кара-Сал, В.Б. Сат // Экспресс-информация ВНИИЭСМ. Сер. 11, вып. 2. – Москва, 1989. – С. 7-9.

26. Кара-Сал Б. К. О проблеме использования отвалных зол для производства лицевого керамического кирпича // Сб. научных трудов молодых ученых. – Санкт-Петербург : СПГАСУ, 1997. – С. 72-75.

27. Кара-Сал Б. К. Интенсификация спекания глинистых пород с высоким содержанием железа путём изменения параметров

- среды обжига / Б.К. Кара-Сал // Изв. вузов. Строительство. – 2003. – №10. – С. 43-48.
28. Кара-Сал Б.К. Влияние газовой среды на спекание керамических масс при пониженном давлении / Б.К. Кара-Сал, Т.Х. Самданчап, А.В. Хунай-оол // Изв. вузов. Строительство. – 2000. – № 2,3. – С. 44-48.
29. Кашкаев И.С., Шейман Е.Ш. Производство глиняного кирпича / И.С. Кашкаев, Е.Ш. Шейнман. – Москва: Высшая школа, 1974. – 288 с.
30. Каткова Т.Ф. Долговечность керамических материалов : метод. указания / Т.Ф. Каткова, А. Ю. Паничев, Г.Г. Паничева. – Новосибирск : НГАСУ, 2003. – 36 с.
31. Книгина Г.И. Лигнин в производстве строительной керамики / Г.И. Книгина, В. Ф. Завадский, Г.И. Стороженко // Строительные материалы. – 1984. – № 10. – С. 19-20.
32. Комар А.Г. О некоторых аспектах управления структурообразованием и свойствами шлакосиликатного пенобетона / А.Г. Комар, Е. Г. Величко, Ж. С. Белякова // Строительные материалы. – 2001. – №7. – С. 12-18.
33. Кондратенко В.А. Современная технология и оборудование для производства керамического кирпича полусухого прессования / В.А. Кондратенко, В.Н. Пешков, Д.В. Следнев // Строительные материалы. – 2003. – № 2. – С. 18-19.
34. Лундина М.Г., Забрускова Т.Н. Новое в производстве керамических стеновых материалов и дренажных труб / М. Г. Лундина, Т. Н. Забрускова // Обзорная информация ВНИИЭСМ. – Москва, 1978. – 70 с.
35. Лундина М.Г. Добавки в шихту для производства керамических стеновых материалов / М. Г. Лундина // Обзорная информация ВНИИЭСМ. – Москва, 1974. – 96 с.
36. Маслов Ф.А., Маслов В.А. СВЧ энергетика - путь к радикальному энергосбережению и повышению качества продукции / А.Ф. Маслов, В.А. Маслов. // Вестник БелГТУ: научно-технический журнал. – 2003. – № 5. – С. 173-175.
37. Майзель И.Л., Сандлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов / И.Л. Майзель, В.Г. Сандлер. – Москва : Высшая школа, 1988. – 239 с.

38. Мелешко В. Ю. Керамические стеновые материалы, некоторые проблемы производства и применения / В. Ю. Мелешко // Строительные материалы. – 2001. – №7. – С. 7-9.
39. Мороз И. И. Технология стеновой керамики / И. И. Мороз. – Киев : Вшца школа, 1980. – 384 с.
40. Надеин А. А., Шабанов, Р. Ш. Механическое оборудование для производства изделий строительной керамики : учеб. пособие / А. А. Надеин, Р. Ш. Шабанов. – Новосибирск : НГАСУ, 2002. – 184 с.
41. Новопащин А. О долговечности кирпича / А. Новопащин // Строительные материалы. – 1987. – №3. – С. 20-23.
42. Овчаренко, Г. И. Цеолиты в строительных материалах / Г. И. Овчаренко. – Барнаул : АлтГТУ, 2000. – 320 с.
43. Павлова Л. В. Современные энергосберегающие ограждающие конструкции зданий : стены : учебное пособие / Л. В. Павлова. – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2012. – 73 с. То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=143489> (13.09.2018).
44. Путро Н. Б. Свойства формовочных масс для получения поризованных керамических материалов / Н. Б. Путро, Ю.С. Максимова, Д.Е. Максимов // Структура и свойства искусственных конгломератов : международный сб. науч. тр. – Новосибирск : НГАУ, – 2003. – С. 115-117.
45. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики / М. И. Роговой. – Москва : Стройиздат, 1974. – 420 с.
46. Роговой М.И. Теплотехническое оборудование керамических заводов / М. И. Роговой. – Москва : Стройиздат, 1983. – 367 с.
47. Стороженко Г.И. Технология производства изделий стеновой керамики из активированного глинистого сырья : автореф. дисс. / Г.И. Стороженко. – Томск, 2000. – 44 с.
48. Стороженко Г.И. Механическая активация сырья как способ повышения эффективности метода полусухого прессования кирпича / Г.И. Стороженко // Строительные материалы. – 1997. – № 8. – С. 19-20.

49. Тамов М.И. Интенсификация спекания пористокерамических изделий / М.И. Тамов // Строительные материалы. – 1998. – №12. – С.18-19 .
50. Тарасевич Б. П. Новые технологии производства керамического кирпича / Б. П. Тарасевич // Строительные материалы. – 1992. – № 5. – С. 5-9.
51. Тарасевич Б. П. О выборе технологии получения керамического кирпича / Б. П. Тарасевич // Строительные материалы. – 1993. – № 3. – С. 2-5.
52. Терехов В.А. Комплексный подход к созданию нового и модернизации действующего производства керамических стеновых материалов / В. А. Терехов // Строительные материалы. – 2003. – №2. – С. 8-11.
53. Фролов А.В. Новая технология обжига кирпича в печах "Теска" / А.В. Фролов // Строительные материалы. – 1999. – № 9. – С. 30-31.
54. Чентимиров М. Г. Технология производства нового пористого керамического строительного материала / М. Г. Чентимиров // Строительные материалы. – 1997. – № 11. – С. 16-17.
55. Шахова Л. Д., Балясников В. В. Пенообразователи для ячеистых бетонов / Л. Д. Шахова, В. В. Балясников. – Белгород, 2002. – 147 с.



Учебное издание

# **КЕРАМИЧЕСКИЕ СТЕНОВЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Учебное пособие*

Составители

**Кара-Сал Борис Комбуй-оолович  
Чылбак Алдынай Александровна  
Куулар Долаана Сергеевна**

Редактор – *А.Х. Хертек*

Дизайн обложки – *К.К. Сарыглар*

Сдано в набор: 26.10.2018

Подписано в печать: 01.11.2018

Формат бумаги 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Физ. печ.л. 7,5. Усл. печ.л. 7,0.

Заказ № 1453. Тираж 50 экз.

667000, г. Кызыл, Ленина, 36  
Тувинский государственный университет  
Издательство ТувГУ