



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Технология вяжущих веществ, бетонов и строительной керамики»

Учебное пособие

«Керамические строительные материалы
и изделия»
по дисциплине

«Технология керамики»

Авторы

Стельмах С. А.,
Щербань Е. М.,
Холодняк М. Г.,
Халюшев А. К.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Учебное пособие предназначено для студентов очной формы обучения направления 08.03.01 «Строительство».

Авторы



Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Стельмах Сергей
Анатольевич



Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Щербань Евгений
Михайлович





Инженер кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Холодняк Михаил
Геннадиевич



Кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Технология вяжущих
веществ, бетонов и
строительной керамики»
Халюшев Александр
Каюмович

Оглавление

Лекция 1. Общие понятия о керамических материалах.....	6
Лекция 2. Виды керамических материалов.....	8
Лекция 3. Физико-механические свойства керамических изделий.....	11
Лекция 4. Глины, их состав и свойства.....	15
Лекция 5. Трепелы и диатомиты.....	22
Лекция 6. Глазури, красители и ангобы.....	23
Лекция 7. Обработка глины и подготовка добавок.....	28
Лекция 8. Приготовление пластичных масс.....	31
Лекция 9. Получение шликеров. Приготовление порошкообразных масс.....	35
Лекция 10. Литье изделий. Полусухое формование.....	40
Лекция 11. Полусухое прессование.....	44
Лекция 12. Пластическое формование.....	47
Лекция 13. Брак и его причины при формовании и прессовании.....	49
Лекция 14. Основные сведения о процессе сушки.....	52
Лекция 15. Скорость и режим сушки.....	54
Лекция 16. Типы сушилок.....	57
Лекция 17. Брак и его причины при сушке.....	63
Лекция 18. Сущность и назначение обжига.....	64
Лекция 19. Печи для обжига.....	68
Лекция 20. Сущность и назначение глазурирования и декорирования.....	83

Лекция 21. Оборудование для глазурования и декорирования.....	85
Лекция 22. Брак и его причины при глазуровании.....	89
Лекция 23. Стеновая керамика и фасадная керамика.....	91
Лекция 24. Изделия для внутренней облицовки и оборудования зданий.....	93
Лекция 25. Специальные виды керамических материалов.....	96
Лекция 26. Легкие заполнители.....	98
Литература.....	99

Лекция 1

Общие понятия о керамических материалах

Керамическими называют каменные изделия, получаемые из минерального сырья путем его формования и обжига при высоких температурах.

Термин «керамика» происходит от (греч. *keramike* – гончарное искусство, от *kéramos* – глина). Керамические материалы – самые древние из всех искусственных каменных материалов. Черепки грубых горшечных изделий находят на месте поселений, относящихся к каменному веку. Возраст керамического кирпича как строительного материала более 5000 лет.

Большая прочность, значительная долговечность, декоративность многих видов керамики, а также распространенность в природе сырьевых материалов обусловили широкое применение керамических материалов и изделий в строительстве. В долговечности керамических материалов можно убедиться на примере Московского Кремля, стены которого сложены почти 500 лет назад.

В современном строительстве керамические изделия применяют почти во всех конструктивных элементах зданий, облицовочные материалы используют в сборном домостроении [1]. Богатство эстетических возможностей керамики обеспечили ей видное место в отделке фасадов зданий и внутренних помещений. Керамические пористые заполнители – это основа легких бетонов. Санитарно-технические изделия, а также посуду из фарфора и фаянса широко используют в быту. Специальная керамика необходима для химической и металлургической промышленности

(кислотоупорные и огнеупорные изделия), применяется в электротехнике и радиоэлектронике (электроизоляторы, полупроводники и др.), в космической технике.

Керамические строительные материалы в зависимости от их структуры разделяют на две основные группы: пористые и плотные. Пористые поглощают более 5 % воды (по массе), в среднем их водопоглощение составляет 8 – 20 % по массе или 14 – 36 % по объему. Пористую структуру имеют стеновые, кровельные и облицовочные материалы, а также стенки дренажных труб и т.д. Плотные поглощают менее 5 % воды, чаще всего 1 – 4 % по массе или 2 – 8 % по объему. Плотную структуру имеют плитки для пола, дорожный кирпич, стенки канализационных труб и др.

По назначению керамические материалы и изделия делят на следующие виды: стеновые изделия (кирпич, пустотелые камни и панели из них); кровельные изделия (черепица); элементы перекрытий; изделия для облицовки фасадов (лицевой кирпич, малогабаритные и другие плитки, наборные панно, архитектурно-художественные детали); изделия для внутренней облицовки стен (глазурованные плитки и фасонные детали к ним – карнизы, уголки, пояски); заполнители для легких бетонов (керамзит, аглопорит); теплоизоляционные изделия (ячеистая керамика); санитарно-технические изделия (умывальные столы, ванны, унитазы); плитка для пола; дорожный кирпич; кислотоупорные изделия; огнеупоры; изделия для подземных коммуникаций (канализационные и дренажные трубы).

Приведенная классификация показывает широкое распространение керамических материалов и изделий в строительстве.

Лекция 2

Виды керамических материалов

Керамика как поликристаллическое твердое тело состоит в общем случае из трех основных фаз:

- кристаллическая, состоящая из зерен;
- стекловидная (аморфная) – в виде прослоек, располагающихся между зернами;
- газовая – в виде пор между зернами, окруженными прослойками аморфной фазы.

Основное различие керамических материалов заключается в различном составе и соотношении между собой трех фаз, определяющих свойства керамических изделий. Структура, то есть строение керамического тела, зависит от состава сырья и технологии данного материала. По дисперсности (размерам) элементов структуры керамические материалы бывают тонкокерамическими и грубокерамическими. Если керамика состоит из мелкодисперсных зерен, ее излом однороден и частицы малоразличимы, то такой материал относится к тонкокерамическим (прежде всего фарфор, фаянс, майолика и др.). Если же в структуре керамики наблюдаются крупные зерна, сама структура неоднородна, то перед нами грубокерамическое изделие (шамотные изделия, гончарная керамика, терракота). Гончарные изделия и терракоту, изготовленные из качественных глин без примеси крупных частиц, можно причислить также к тонкокерамическим изделиям, что говорит об условности такого деления.

Основные виды керамических материалов: фарфор, фаянс, тонкокаменные изделия, майолика, терракота, гончарная керамика, шамотная керамика.

Фарфор – вид керамики белого цвета с плотным раковистым изломом, высшее достижение керамической технологии. Для изготовления фарфора используют огнеупорные беложгущиеся глины и каолины, кварц и полевые шпаты (соотношение пластичных и отощающих материалов 1:1). Различают мягкий и твердый фарфор [2]. Отличительными признаками фарфора являются: белизна, просвечиваемость, механическая прочность, твердость, термическая и химическая стойкость. Область применения: от изготовления посуды и изделий технического назначения до создания уникальных произведений искусства.

Фаянс (от названия итальянского города Фаэнца) – вид керамики белого цвета с мелкопористым изломом. Для изготовления фаянса используют огнеупорные беложгущиеся глины, кварц и различные добавки. В отличие от фарфора имеет непрозрачный пористый черепок, температура утильного обжига превышает температуру политого. Различают мягкий и твердый фаянс. Область применения: изготовление посуды, изделий технического назначения, декоративных изделий, строительной керамики.

Тонкокаменные изделия – вид керамики, характеризующийся белым или цветным спекшимся черепком, с однородным раковистым изломом. Для изготовления тонкокаменных изделий используют огнеупорные и тугоплавкие глины, химический состав которых колеблется в довольно широких пределах. Отличают тонкокаменные изделия низкотемпературного и высокотемпературного спекания. В зависимости от применяемого сырья, степени

спекания и цвета черепка, особенностей технологии тонкокаменные изделия носят различные названия: полуфарфор, низкотемпературный фарфор, «каменный товар» и др. Тонкокаменные изделия отличаются низким водопоглощением (0,5...5,0 %). Область их применения: изготовление посуды, декоративной и интерьерной керамики.

Майолика (от названия острова Мальорка) – вид керамики с пористым, естественно окрашенным черепком от светло-кремового до красного (кирпичного) цвета, покрытой прозрачной или глухой (непрозрачной) глазурью. Для изготовления майолики используют легкоплавкие глины в чистом виде или с вводом отощающих и флюсующих добавок. Часто майоликовые изделия покрывают слоем белой глины, ангобом, скрывающим натуральный цвет черепка. Низкая температура глазурного обжига майолики (960–1050 °С) позволяет использовать для декорирования широкую палитру цветных глазурей и эмалей. Область применения: изготовление посуды, облицовочной плитки, декоративной керамики.

Терракота (terra (итал.) – земля, cotta – обожженная) – вид керамики, неглазурованные керамические изделия с пористым черепком. Для изготовления терракоты используют качественные малоусадочные глины, имеющие равномерную окраску и относительно высокую температуру плавления. Иногда терракоту покрывают ангобом. Область применения: изготовление скульптуры, изразцов, плитки и тому подобное [3].

Гончарная керамика – керамические изделия с естественным цветом обожженной глины, относительно высокой пористостью, мелкозернистые, обычно неглазурованные. Для изготовле-

ния этого вида керамики используют местные легкоплавкие гончарные глины без применения каких-либо других компонентов за исключением небольших добавок кварцевого песка. Иногда изделия покрывают слоем ангоба или глазури. Область применения: изготовление посуды, украшений, сувениров.

Шамотная керамика – вид грубокерамических изделий, имеющий пористый, грубозернистый, чаще светлый черепок. Шамот представляет собой обожженную перемолотую глину. Для связывания зерен шамота в шамотных изделиях используют глины, замешивая их до образования пластичной массы. Из шамотированных масс изготавливают скульптуру малых форм, напольные вазы, кирпичи и некоторые другие разновидности архитектурной керамики.

Все вышеперечисленные керамические материалы, как бы ни различались они по составу сырья и, следовательно, по конечному химическому составу и свойствам изделий, объединяет технология, определяющая последовательность операций.

Лекция 3

Физико-механические свойства керамических изделий

К керамическим материалам предъявляются различные требования в соответствии с теми воздействиями, которые они испытывают при использовании их в строительстве. В связи с этим необходимо знать основные свойства керамического материала и пути их регулирования в процессе изготовления различных керамических изделий.

Водопоглощение керамических материалов характеризует количественную величину их пористости и соответственно степень спекания, которая в свою очередь влияет на многие рабочие свойства изделий строительной керамики: морозостойкость, паро- и воздухопроницаемость, сцепление с раствором, загрязняемость и др. Диапазон этого показателя для изделий строительной керамики в зависимости от их вида и назначения довольно велик – от 1 до 30 %.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ керамических материалов зависит от их состава и структуры и уменьшается с увеличением размера образца. Наиболее важное значение $R_{сж}$ имеет для изделий стеновой керамики, которые воспринимают большие нагрузки в зданиях и сооружениях. По этому показателю стеновые изделия маркируют, принимая за марку среднюю величину по результатам испытания пяти образцов. Для изделий строительной керамики $R_{сж}$ находится в пределах 7,5 – 70 МПа.

Предел прочности при изгибе керамических материалов $R_{из}$ зависит от тех же факторов, что и $R_{сж}$, с той лишь разницей, что здесь структура материала оказывает более резкое влияние на его сопротивляемость изгибу. Так, например, кирпич полусухого прессования имеет меньшую величину предела прочности при изгибе, чем кирпич пластического формования, изготовленный из тех же глин, хотя $R_{сж}$ последнего ниже, чем у кирпича полусухого формования.

Предел прочности при изгибе регламентируется ГОСТами для кирпича, поскольку в стене он испытывает не только сжимающие, но и изгибающие нагрузки, вследствие неровностей своей поверхности. Этот показатель регламентируется и для некоторых

других керамических изделий. По нему также судят об относительной прочности испытываемого материала и используют его как косвенный показатель для характеристики некоторых других свойств глинистого сырья и обожженных изделий (связность, связующая способность, термостойкость).

Для керамических материалов $R_{из}$ находится в пределах 0,7 – 5 МПа.

Морозостойкостью называют способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и без значительного понижения прочности. Показателем морозостойкости является количество теплосмен, которое выдерживает материал без признаков разрушения.

Обстоятельные исследования по влиянию гранулометрии пор на морозостойкость керамических материалов выявили следующее: все поры в керамическом материале (с точки зрения морозостойкости) могут быть разделены на три категории: опасные, безопасные и резервные.

Опасные поры заполняются водой при насыщении на холоде. В них она удерживается при извлечении материала из воды и замерзает при температуре от -15 до -20 °С. Диаметр этих пор от 200 до 1 мкм для глиняного кирпича пластического прессования, от 200 до 0,1 мкм для глиняного кирпича полусухого прессования.

Безопасные поры при насыщении на холоде водой не заполняются, либо заполнившая их вода не замерзает при указанных температурах. Это обычно мелкие поры. Заполняющая их вода становится по существу пристеночной адсорбированной вла-

гой, имеющей свойства почти твердого тела и температуру замерзания существенно ниже ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Резервные поры при насыщении на холоде полностью заполняются водой, но из них при извлечении образца из насыщающего сосуда вода частично вытекает вследствие малых капиллярных сил. Это крупные поры диаметром более 200 мкм.

Согласно этим исследованиям, керамический материал будет морозостойким, если в нем объем резервных пор достаточен для компенсации прироста объема замерзающей воды в опасных порах.

Морозостойкость определяет долговечность керамических материалов при их службе в условиях воздействия на них внешней среды. Поэтому требования морозостойкости регламентированы ГОСТами для стеновых фасадных, кровельных и некоторых других изделий строительной керамики.

Теплопроводность керамических материалов зависит от их плотности, состава, вида и размера пор и резко возрастает с увеличением их влажности, так как теплопроводность воды [$\lambda=0,58\text{ Вт/м}\cdot\text{град}$] выше теплопроводности воздуха [$\lambda=0,029\text{ Вт/м}\cdot\text{град}$] в 20 раз.

Замерзание воды в порах материала ведет к дальнейшему резкому возрастанию его теплопроводности, поскольку теплопроводность льда [$\lambda=2,33\text{ Вт/м}\cdot\text{град}$] больше теплопроводности абсолютно плотного керамического черепка $\lambda = 1,163\text{ Вт/м}\cdot\text{град}$ примерно в 2 раза, больше теплопроводности воды в 4 раза и больше теплопроводности воздуха в 80 раз.

Паропроницаемость действующими ГОСТами и ТУ не регламентирована. Однако в некоторых случаях она влияет на долговечность строительных конструкций.

Низкая паропроницаемость стеновых материалов может явиться причиной потения внутренней поверхности стен, особенно в зданиях с повышенной влажностью воздуха.

В многослойных стенах неодинаковая газопроницаемость отдельных слоев стены может вызвать накопление влаги в ее толще, последующее ее замерзание и отслаивание части стены. По этой причине не вполне надежна сквозная фасадная облицовка стен глазурованными плитками, обладающими низкой газопроницаемостью.

Лекция 4

Глины, их состав и свойства

Термином «глина» обозначают тонкодисперсную фракцию горных пород, состоящую из глинообразующих минералов (водных алюмосиликатов) и примесей иных материалов, способную при затворении с водой образовывать пластичное тесто, которое в высушенном состоянии обладает некоторой прочностью, а после обжига приобретает камнеподобные свойства [4].

Глины образовывались в результате механического разрушения и химического разложения изверженных полевошпатовых и метаморфических горных пород (гранитов, гнейсов, порфиров, туфов и др.). Разрушение горных пород происходит под влиянием солнца, воды и резких перепадов температур, а химическое разложение вызывается действием воды и углекислоты на

полевой шпат, в результате чего образуется минерал каолинит – водный алюмосиликат Al_2O_3 , 2SiO_2 и $2\text{H}_2\text{O}$.

Глины, состоящие в основном из каолинита, называются каолинами. Размер частиц каолина менее 0,01 мм. После обжига эти глины сохраняют преимущественно белый цвет. Каолины относят к первичным глинам. Химический состав каолинитовых глин включает 39,5 % Al_2O_3 (глинозема), 46,5 % SiO_2 (кремнезема) и 14 % H_2O (химически связанной воды).

Вторичными считают глины, которые образовывались в новых местах в результате переноса продуктов разрушения горных пород дождевыми или снеговыми водами, ледниками, ветрами. Вторичные глины содержат различные примеси – кварц, известняк, гипс, соединения магния и железа, органические и другие вещества, влияющие на свойства глин.

Глины с незначительным количеством примесей называют огнеупорными, а глины с большим содержанием примесей – легкоплавкими обыкновенными.

Кроме каолинитовых в природе встречаются гидрослюдистые глины, образованные в результате выветривания силикатных пород в условиях повышенной влажности. Их применяют в производстве строительной керамики. Bentonитовые глины, полученные в результате выветривания туфов, вулканических пеплов и др., применяют для изготовления фарфоровых изделий, промышленных растворов при бурении, обогащения железных руд, осветления жидкостей.

Каолины применяют для производства фарфоровых и фаянсовых изделий; огнеупорные глины – для керамических труб и

терракотовых изделий; легкоплавкие глины – для изготовления керамзита, гончарных и кирпично-черепичных изделий.

Глинистое сырье классифицируют по химико-минералогическому составу (глины каолиновые, монтмориллоновые, гидрослюдистые), по назначению (кирпичные, керамзитовые, фарфоро-фаянсовые и др.), по огнеупорности (огнеупорные, имеющие огнеупорность свыше 1580 °С, тугоплавкие – от 1350 до 1580 °С и легкоплавкие – до 1350 °С).

Кремнезем в глинах может находиться как в связанном состоянии, входя в состав глинообразующих минералов, так и в свободном, представленном примесями кварцевого песка. Сильно запесоченные глины обычно являются легкоплавкими. Они отличаются ухудшенными формовочными и обжиговыми свойствами, низкой пластичностью. Изделия из них имеют высокую пористость, малую механическую прочность и низкую морозостойкость.

Глинозем – основная часть глин. В составе глинообразующих минералов находится в связанном состоянии. С увеличением содержания глинозема в глинах повышается пластичность, огнеупорность и прочность изделий.

Органические вещества в глинах в виде остатков растений и гумусовых веществ снижают огнеупорность глин, повышают пластичность за счет большого количества связанной воды и, следовательно, повышают воздушную усадку. С увеличением их содержания увеличивается пористость и снижается механическая прочность изделий.

Гранулометрический состав глин – процентное содержание зерен различной величины в глинистой породе – характери-

зуются большим разнообразием. Фракции с размером частиц 5–50 мкм относятся к пылевидным, от 50 мкм до 2 мм – к песчаным. Фракцию более 2 мм считают включениями.

Повышенное содержание частиц размером менее 5 мкм придает глинам высокую пластичность и чувствительность к сушке, увеличивает усадку изделий при обжиге. Повышенное содержание пылевидной фракции в глинах повышает чувствительность к сушке и обжигу, снижает прочность изделий. Глины, содержащие крупнозернистый песок, менее чувствительны к сушке, чем глины, содержащие тонкодисперсный песок. Следовательно, зная гранулометрический и вещественный составы глин, можно ориентировочно определять их пригодность для изготовления керамических изделий того или иного вида.

К основным технологическим свойствам глин относят пластичность, воздушную и огневую усадку, огнеупорность, спекаемость и цвет изделий после обжига.

Пластичностью называется свойство глин при смешивании с водой давать вязкое тесто, которому можно придать любую форму, сохраняющуюся после снятия нагрузок. Степень пластичности глин характеризуется числом пластичности Π , определяемым по формуле:

$$\Pi = W_t - W_p, \quad (1)$$

где W_t и W_p – влажность соответственно пределов текучести и раскатывания глиняного жгута, %.

Предел текучести – граница между пластическим и вязкотекучим состоянием системы, а предел раскатывания – между хрупким и пластическим состоянием.

По числу пластичности P глины классифицируют (ГОСТ 9169-75) на высокопластичные с P более 25; среднепластичные с $P = 15...25$; умереннопластичные с $P = 7...15$; малопластичные с $P = 3...7$ и непластичные (тесто из них не получается). Пластичность зависит от гранулометрического и минералогического состава, вида глинистых минералов. Пластичность можно увеличить механическим измельчением, длительным вылеживанием, промораживанием, добавкой более пластичных глин и пластифицирующих добавок, например, лигносульфоната технического (ЛСТ).

Лигносульфонат технический – отход целлюлозного производства, отвечает требованиям ОСТ 13-183-83.

Высокопластичные глины требуют большего количества воды для приготовления формовочных масс, их влажность 25-30 % и более; влажность среднепластичных глин 20-25 %, малопластичных – 15-20%. При этом глины с большей влажностью более чувствительны к сушке. Пластичность можно уменьшить введением отошающих материалов (песка, шлака, дегидратированной глины).

Связующей способностью глин называется способность сохранять пластичность при введении в них непластичных материалов (песка, шамота и др.). Глина способна связывать частицы песка или шамота и образовывать прочное изделие. Критерием связующей способности является число пластичности массы. Измеряется связующая способность глин количеством нормального песка, при добавлении которого образуется масса с числом пластичности 7.

Нормальным песком считается кварцевый песок с зернами крупностью 0,5-0,9 мм (ГОСТ 6139-2003).

Высокопластичные глины способны связывать 60-80 % нормального песка, пластичные – 20-60 %, тощие – до 20 %.

Воздушной усадкой называется уменьшение линейных размеров и объема изделий, отформованных и высушенных при температуре до 110 °С. Линейная воздушная усадка вследствие удаления из массы воды затворения рассчитывается по формуле, %:

$$l_v = [(l_0 - l_1) / l_0] * 100, \quad (2)$$

где l_0 – расстояние между метками, наносимыми по диагонали изделия до сушки, см;

l_1 – то же, после сушки до воздушно-сухого состояния, см, колеблется от 2-3 до 10-12 % в зависимости от содержания тонких фракций.

Объемная воздушная усадка V_v , %, определяется по формуле:

$$V_v = [(V_0 - V_1) / V_0] * 100, \quad (3)$$

где V_0 – объем изделия до сушки, см³;

V_1 – объем изделия после сушки, см³.

Огневой усадкой называется уменьшение линейных размеров и объема изделий после обжига вследствие того, что легкоплавкие составляющие глины расплавляются и частицы глины в местах их контакта сближаются. Определяется огневая усадка по формулам, %:

$$l_{\text{обож}} = [(l_1 - l_2) / l_1] * 100, \quad (4)$$

$$V_{\text{обож}} = [(V_0 - V_2) / V_1] * 100, \quad (5)$$

где l_1 и V_1 – соответственно линейный размер и объем изделия до обжига;

l_2 и V_2 – то же, после обжига.

Колеблется от 2 до 8 % в зависимости от состава глин.

Полную усадку вычисляют по формулам, %:

$$l = [(l_1 - l_2) / l_1] * 100, \quad (6)$$

$$V = [(V_0 - V_2) / V] * 100. \quad (7)$$

Полная усадка может находиться в пределах от 2 до 15 %.

Огнеупорностью называется свойство глин сопротивляться действию высоких температур, не расплавляясь. Показателем огнеупорности является температура, при которой пироскоп – образец из данного материала в виде трехгранной усеченной призмы определенных размеров – деформируется под влиянием собственной тяжести, касаясь вершиной керамической подставки.

Огнеупорность зависит от химического состава глин, а также характера газовой среды при обжиге глин, содержащих оксиды железа.

Спекаемость – способность глин под действием высоких температур превращаться в плотный камнеподобный черепок с водопоглощением менее 5 %. В зависимости от степени спекания глины делят на сильноспекающиеся, среднеспекающиеся и неспекающиеся. К сильноспекающимся относят глины, способные при обжиге давать черепок без признаков пережога с водопоглощением не более 2 %. Водопоглощение черепка среднеспекающихся глин не более 5 %, а неспекающихся – свыше 5 %.

По температуре спекания различают глины низкотемпературного спекания (до 1100 °С), среднетемпературного спекания (от 1100 до 1300 °С) и высокотемпературного (свыше 1300 °С).

Спекаемость – одно из основных свойств, определяющих пригодность глин для производства изделий фасадной керамики [5].

Лекция 5

Трепелы и диатомиты

Трепелы и диатомиты представляют собой рыхлые или землистые массы светлых тонов, богатые аморфным кремнеземом. Образовались они из панцирей диатомитовых водорослей, которые после отмирания растений скапливались на дне водоемов и уплотнялись с прослойками ила и глины, и почти полностью сохранили свою структуру. В диатомитах иногда находятся скелеты радиолярий (морских одноклеточных микроскопических организмов с кремнистым скелетом) и иглы губок, а также минеральные примеси – глинистое вещество, зерна кварца и глауконита. Известны залежи диатомитов, мощность которых достигает 25 м.

Трепел более раннего происхождения, в нем панцири превратились в микроскопические зерна опаловидного кремнезема. Химический состав диатомитов и трепелов почти одинаков, однако микроструктура разная. Это объясняется различием в геологическом возрасте отложений.

Химический состав трепелов и диатомитов: оксид кремния (кремнезем) SiO_2 – от 70 до 96 %; оксид алюминия (глинозем) Al_2O_3 – от 5 до 15 %; оксид железа Fe_2O_3 – от 2 до 5 %; оксид кальция CaO – от 0,5 до 5 %; оксид магния MgO – от 0,5 до 3 %; ППП (потери при прокаливании) – от 4 до 8 %.

Физические свойства их тоже близки: средняя плотность 350 – 1270 кг/м³, пористость 50 – 85 %, твердость 1 – 3, плот-

ность 2 – 2,7 г/см³, теплопроводность 0,17 – 0,23 Вт/(м°С). Водопоглощение диатомитов достигает 150 % (по весу). По гранулометрическому составу они схожи с глинами, обладают высокой пластичностью. Диатомиты бывают цементированные или рыхлые, белого или светло-желтого цвета. В природном состоянии диатомит содержит от 10 до 75 % свободной влаги, которая удаляется при нагревании до температуры около 100 °С.

Теплоизоляционные свойства диатомита обуславливаются его микропористой структурой. Диатомиты содержат в 1 см³ горной породы до 10 млн. целых панцирей диатомей. Вес этих панцирей составляет до 99 % веса породы. Чем больше содержится обломков панцирей и неорганических примесей, тем выше плотность диатомита и ниже его теплоизоляционные свойства.

Кирпич-сырец из этого сырья не трескается при быстрой сушке и не деформируется, дает малую усадку при обжиге. Однако изделия из них недостаточно морозостойки, поэтому для увеличения морозостойкости в формуемую массу вводят уголь или опилки, повышают температуру обжига, подвергают массу вакуумированию для удаления из нее воздуха [2].

Трепелы и диатомиты применяются в производстве кирпича и пустотелых камней, как сырье для производства большинства керамических теплоизоляционных материалов.

Лекция 6

Глазури, красители и ангобы

Глазурь – это стекловидное покрытие толщиной 0,1 – 0,2 мм, нанесенное на поверхность керамического изделия и закреп-

ленное обжигом. Она придает декоративность изделиям, снижает их влагопроницаемость, повышает прочность. Основные компоненты глазури: кварц, полевошпат, каолин.

Глазурь представляет собой силикатное стекло, которое должно быть термостойким, прочным, твердым, иметь блестящую поверхность. Различают глазури прозрачные и глухие (эмали), бесцветные и окрашенные, глянцевые и матовые. Прозрачные глазури применяют в производстве фаянсовых, фарфоровых и некоторых майоликовых изделий, а окрашенные – в производстве тонкокерамических изделий. Для каждого вида изделия, отличающегося по свойствам и составу, применяют глазурь определенного состава. При однократном обжиге изделий состав глазури рассчитывается так, чтобы температура плавления ее приближалась к температуре спекания черепка и имела одинаковый с ней коэффициент термического расширения.

В состав глазурей могут входить пегматит, мел, доломит, перлит, соли щелочноземельных и щелочных металлов, бура, борная кислота, оксиды свинца, цинка и др. Для снижения температурного коэффициента линейного расширения, который влияет на уменьшение напряжений, возникающих между черепком и глазурью, в глазурь вводят борный ангидрид. Составы глазурей колеблются в широком диапазоне. Однако независимо от вида и способа производства изделий в состав глазури всегда входит 85 – 90 % (в сумме) кремнезема и оксида алюминия.

Основное сырье для приготовления глазурей должно быть нерастворимым в воде. В случае применения растворимых соединений, таких, как борная кислота, бура, селитра, сода и др., а также токсичных, таких, как сурьма, оксид бериллия, свинцовый

сурик и др., их сначала надо сплавить с нерастворимыми соединениями, входящими в данный вид глазури, до стекловидного состояния (фритты) в специальной фриттоварочной печи при температуре не ниже 1250 °С с последующим быстрым охлаждением в воде. В связи с этим глазури по способу производства подразделяются на сырые нефриттованные с температурой розлива 1000 – 1450 °С и сплавленные фриттованные с температурой розлива 600 – 1280 °С. По составу глазури бывают полевошпатовые, борно-свинцовые, циркониевые, литиевые и др., по виду поверхности – с гладкой и пузырчатой поверхностью, матовые кристаллические, кракле, металлизированные и др.

Нефриттованные глазури применяют в производстве фарфоровых изделий, а фриттованные – в производстве фаянсовых, мягкого и низкотемпературного фарфора, майоликовых тонкокерамических изделий.

Приготовление нефриттованной глухой глазури осуществляют по следующей технологической схеме:

- компоненты (полевой шпат, кварц, диоксид циркона, оксид цинка и др.) обжигают при 900 – 1280 °С;

- обожженные полевой шпат и кварц сортируют и измельчают на бегунах с гранитными катками, а диоксид циркона ZrO_2 (глушитель) или циркон $Zr SiO_2$ – в шаровой мельнице мокрого помола в течение не менее 100 ч;

- глазурную суспензию готовят совместным помолом всех составляющих в течение 30-60 ч в шаровой мельнице при соотношении материала, мелющих тел и воды (при pH 7,7-8) 1:1:1 или 1:2:1;

- затем ее процеживают через вибросито № 0071 (6400 отв/см²);

- подвергают электромагнитной очистке и сливают в пропеллерные мешалки до использования.

Готовая глазурная суспензия должна иметь определенную тонкость помола, характеризующую остатком на сите № 0056 (10085 отв/см²) в пределах 0,01-0,1 %.

Фриттованную глазурь, состоящую в основном из фритты и глины, готовят следующим образом. Компоненты фритты измельчают, сушат, обжигают, смешивают в определенном соотношении и сплавляют в течение 1 – 10 ч в одно- или двухванных непрерывно действующих фриттоварочных печах, во вращающихся печах периодического действия или конвертерных печах при температуре 1200 – 1400 °С. Затем фритту сливают в грануляционный бассейн с холодной водой, где ее расплав распадается на частицы мельче 5 мм. Фритту хранят в закрытых емкостях. Глазурную суспензию приготавливают совместным тонким помолом фритты (50 – 92 %) и глинистых компонентов (50 – 8 %) в шаровой мельнице. Плотность мелющих тел (фарфоровых или каменных) должна быть выше плотности глазурей. Так, для свинцовой фритты плотностью 2,4 г/см³ необходимы уралитовые шары плотностью 3,3 г/см³. Плотность глазурной суспензии обычно находится в пределах 1,37 – 1,45 г/см³. Суспензия наносится тонким слоем на предварительно обожженное или высушенное изделие, очищенное от жировых пятен или пыли. Минеральные составляющие ее оседают на поверхности глазуруемого изделия тонким ровным слоем, а вода впитывается и испаряется при высушивании. Далее изделие обжигают.

В производстве фарфоровых изделий применяют в основном малокомпонентные, тугоплавкие глазури, состав которых близок к составу черепка изделий. В производстве мягкого фарфора, полуфарфора, фаянса используют легкоплавкие полевошпатовые глазури.

Глазури для фаянса отличаются большим содержанием оксидов, меньшей твердостью и прочностью. При однократном скоростном обжиге изделия покрывают обычно маловязкими, глухими глазурями (эмалими), которые получают введением добавок-глушителей, не растворяющихся в глазурном расплаве или кристаллизующихся при затвердевании (циркона, оксида олова или цинка, диоксида циркона или титана и др.). Эмали могут быть не только белыми, но и цветными. Синий цвет дает добавка 2-3 % оксида кобальта; зелёный – до 4 % оксида хрома и до 7 % оксида меди; желтый – до 6 % оксида железа и до 10 % диоксида титана.

Керамические краски – это окрашенные минеральные соединения металлов с керамическими массами и глазурями, образованные в процессе обжига. Красителями в них являются пигменты – высокодисперсные порошки различного цвета, не растворяющиеся в воде и связующих веществах (графит – серый, оксид железа – коричневый, оксид хрома – зеленый, оксид кобальта – синий, антимонат свинца – желтый и др.).

Бывают краски надглазурные и подглазурные. Первые представляют собой смесь пигментов с флюсами (легкоплавкими стеклами), вторые – смесь пигментов с глазурью. В качестве пигментов применяют оксиды красящих металлов. Обжигают надглазурные краски при 550-860 °С, а подглазурные – до 1450 °С.

Ангобы – белые или цветные керамические массы, представляющие собой дисперсии глинистых частиц в воде. По составу они подразделяются на глинисто-песчаные, флюсные и «античные лаки».

Флюсные отличаются от глинисто-песчаных тем, что кроме основных компонентов (глин, каолина и малых количеств песка) содержат плавни, которые снижают температуру обжига изделий и повышают степень спекания массы.

«Античные лаки» (разновидность флюсных ангобов) – тонкие глинистые покрытия, получаемые отстаиванием в течение суток взмученной глинистой суспензии с добавлением соды. В их состав могут входить кремнезем, красящие оксиды железа, титана, кобальта, хрома и др. Ангоб наносят толщиной не более 0,2 мм на сырые, сухие или обожженные изделия, которые могут быть далее покрыты глазурью.

Лекция 7

Обработка глины и подготовка добавок

Карьерные глины подвергают предварительной обработке, то есть отделению посторонних включений (камней, веток и т. д.), рыхлению, дроблению, помолу, высушиванию. В результате обработки разрушается текстура глины, масса гомогенизируется, ее формовочные и сушильные свойства улучшаются.

Обработка глины может быть естественной (использование атмосферных условий для изменения свойств сырья), механической (рыхление, дробление с выделением камней, дозирование с добавками, тонкое измельчение) и комбинированной, с физико-

химической обработкой (пароувлажнением, увлажнением, вакуумированием), вводом специальных добавок (пластифицирующих, отошающих, выгорающих) и вылеживанием обработанной массы в шихтозапасниках или механизированных силосах.

Наиболее эффективен механический способ подготовки сырья, который состоит из рыхления, дробления крупных включений, просеивания, проминки глины и др. Рыхление глинистых материалов в карьерах может производиться внутрикотлованными взрывами, разрушающими массив. Разрушенная взрывом и раздробленная масса подвергается действию атмосферных факторов, и через один-два года может добываться и транспортироваться на керамическое предприятие, где ее рыхлят, дробят и просеивают. Для рыхления применяют глинорыхлитель типа СМК-70 (СМ-1031 А) производительностью 7 – 25 м³/ч. Для грубого помола глинистого материала применяют дезинтеграторные вальцы – дробильно-размольные машины СМ-150, СМ-22, СМ-937, СНК-128, СМ-131 производительностью 14 – 35 м³/ч. Для выделения камней из глинистых пород и переработки применяют винтовые вальцы СМ-416, СМ-1198, СМК-194. Для дробления глинистого сырья используют дробилки валковые типа ДВТ-3М, двухвалковые зубчатые типа ДДЗ-1Е, дискозубчатые ДДЗ-700 и др.

Мерзлые крупные куски или плотные глинистые материалы дробят с помощью ножевой глинорезки (стругача типа ССМ-321). Для подготовки добавок на заводах керамического кирпича применяют дробилки щековые СМД-31, однороторные СМД-15, молотковые СМД-112, молотковые двухроторные С-599 и комбинированные СМД-10, состоящие из молотковой и щековой дробилок.

Чаще всего глину перерабатывают на бегунах сухого и мокрого помола периодического и непрерывного действия СМ-265, СМ-365, СМ-268, СМК-218.

Помол сухой глины, шамота, дегидратированной глины осуществляют в шаровых мельницах МШ-25, 5Х14,5 непрерывного действия с набором стальных шаров [5].

Для просеивания измельченных материалов используют сито-бурат СМ-237М, СМ-236М, инерционный наклонный грохот СМД-50, струнное сито, инерционный 2-ситный грохот СМД-29.

Технология подготовки наиболее широко применяемых добавок состоит из следующих операций:

- кварцевый песок просеивают через сито с отверстиями 3 мм для удаления крупных включений;

- древесные опилки просеивают через грохот с сеткой ячеек не более 8х8 мм;

- уголь, шлак, обожженные изделия для приготовления шамота измельчают на щековых и молотковых или валковых дробилках и просеивают через сито с отверстиями 2 – 3 мм. Можно использовать шаровые мельницы без последующего просеивания;

- дегидратированную глину получают в барабанных вращающихся печах, измельчают в порошок на молотковых или валковых дробилках и просеивают через грохот. Просеивание можно исключить, если в последующей технологической линии обработки установлены бегуны мокрого помола и вальцы тонкого помола с зазором не более 2 мм;

- бентонитовую или высокопластичную глину и ЛСТ смешивают с водой до нужной консистенции.

Лекция 8

Приготовление пластичных масс

Пластическое формование применяют тогда, когда глины влажные, рыхлые, хорошо размокают в воде, образуя однородную массу. Оборудование выбирают в зависимости от свойств сырья, интенсивности переработки и желаемого качества продукции. Так, сухие плотные глины с карьерной влажностью 5 – 13 % измельчают на стругачах, дезинтеграторах, в молотковых дробилках и бегунах. Глины с твердыми включениями перерабатывают на бегунах, камневыделительных вальцах или машинах, измельчающих эти включения; глины влажные, пластичные – на вальцах. Лессовые глины легко поддаются обработке, не требуя предварительного измельчения.

Переработку глиняных материалов для производства кирпича и пустотелых камней пластическим способом выполняют по следующей схеме:

- дозирование (ящичный подаватель);
- грубое измельчение и выделение крупных твердых включений (камневыделительные вальцы, бегуны мокрого помола);
- увлажнение водой или пароувлажнение (двухвальный смеситель);
- промежуточное хранение (силосные глинозапасники, глинохранилища);
- разработка глины в глинохранилищах, глинозапасниках (экскаватор, вращающийся шнек);
- рыхление и паропрогрев (двухвальный смеситель);

- переработка массы (бегуны мокрого помола, дырчатые вальцы);
- тонкое измельчение (вальцы тонкого помола, дырчатые вальцы);
- подача пластических масс на формование.

Дозирование сырьевых материалов осуществляется с помощью ящичных, тарельчатых и ленточных питателей СМ-1090, СМ-1091, СМ-229, СМ-664, СМК-78, ТП-10, СМК-213, СМК-214, СМК-222, В-500.

Для смешивания глинистых материалов с добавками применяют одно- и двухвальные лопастные горизонтальные смесители (рисунок 1) СМК-125, СМК-126, СМК-1238, СМ-447А, СМК-18 и др.

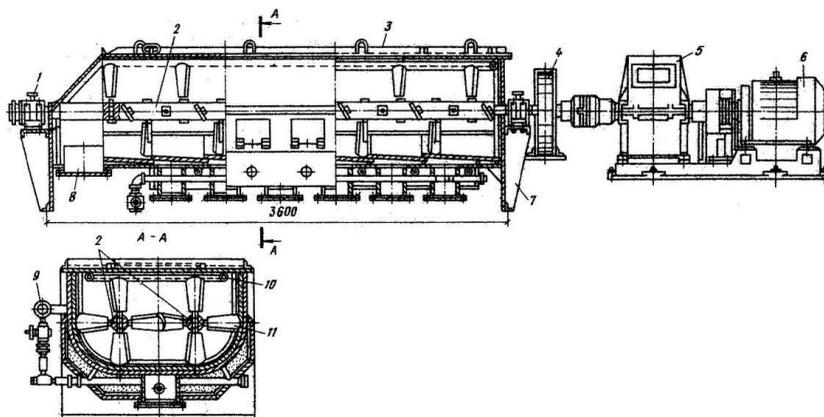


Рисунок 1 – Двухвальный смеситель СМ-246: 1 – подшипники; 2 – перемешивающие валы; 3 – корпус смесителя; 4 – шестеренчатая передача; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель; 7 – опорные стойки; 8 – выгрузочное отверстие; 9 – трубопровод для подачи пара; 10 – трубопровод для подачи воды; 11 – смесительные лопасти

В процессе смешивания глины с добавками иногда необходимо увеличить влажность массы для улучшения ее технологических свойств. Этого достигают введением горячей воды или пара. Вода подается в смеситель в распыленном состоянии. Для равномерного увлажнения массы воду необходимо вводить как на стадии обработки на бегунах, так и в смесители. Лучшим считается паровое увлажнение, которое более равномерно увлажняет массу, повышает ее пластичность, липкость и прочность. При этом она нагревается до 40-50 °С, и изготовленный из нее сырец поступает в сушилку теплым, не требующим дополнительного прогрева, что снижает усадочные напряжения, возникающие в нем при сушке.

Паровое увлажнение глины увеличивает производительность ленточных прессов и снижает потребляемую ими мощность приблизительно на 20 %. На отечественных заводах для пароувлажнения глин используют пар низкого давления 0,05 – 0,07 МПа, перегретый на 20 – 30 °С.

Если глина из карьера поступает сильно увлажненной, ее необходимо подсушить до формовочной влажности 18 – 23 % в сушильных барабанах СМЦ-440, СМ-1013, СМ-1070 и др.

При необходимости вторичного измельчения и обработки глинистых масс используют дырчатые вальцы СМК-25, СМ 369А, бегуны мокрого помола и глинорастиратели. Применение их улучшает качество формовочной массы и повышает прочностные свойства сухих изделий примерно в 1,5 раза.

При использовании смеси глин с различными свойствами рекомендуется массу после обработки на бегунах или дырчатых вальцах перетереть на глинорастирателях СМ-859, СМ-744, СМК-

1241 или дифференциальных вальцах тонкого помола СМК-83 и СМ-102 с зазором между валками 0,8-3 мм.

Для получения массы высокого качества и изделий повышенной прочности глину после предварительной обработки в течение 8 – 10 ч выдерживают в открытых шахтозапасниках или механизированных башенных силосах СМК-178 вместимостью 100 – 150 м³ и производительностью 25 м³/ч (рисунок 2). Их устраивают обычно перед прессовым оборудованием для создания необходимого запаса формовочной массы. Выгружают массу с помощью шнека, вращающегося в нижней части силоса.

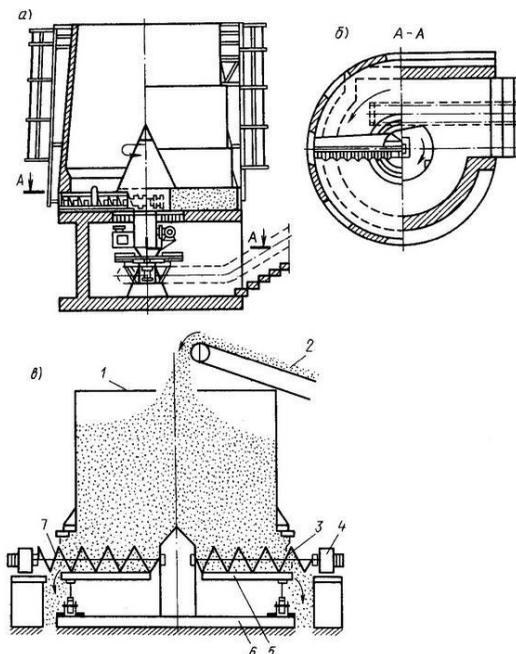


Рисунок 2 – Открытый шахтозапасник, продольный (а) и поперечный (б) разрезы; механизированный башенный силос, продольный разрез (в): 1 – корпус; 2 – конвейер; 3 – шнек; 4 – привод; 5

– вращающаяся платформа; 6 – неподвижная платформа; 7 – защитная стенка

Влажность массы влияет на формовочные свойства, прочность глиняного бруса-сырца, усадку, прочность высушенных и обожженных изделий, на теплопроводность и водопоглощение. При высокой карьерной влажности в глину вводят различные разувлажняющие добавки (поглощающие влагу материалы), %: молотый сырец – 10 - 25, шлаки – 10 - 15, дегидратированную глину – 30 - 50 и др [6].

Лекция 9

Получение шликеров. Приготовление порошкообразных масс

Шликерный способ применяется при изготовлении из многокомпонентных масс санитарно-строительных и других изделий.

Шликерные массы готовят по следующей технологической схеме:

- дозирование (ящичный подаватель);
- грубое измельчение компонентов и очистка сырья (стругач, дезинтеграторные вальцы, дробилки, бегуны, камневыделительные вальцы, электромагниты);
- дозирование (автоматические весы ДСТ-10, ДА-10, автоматизированная установка ВВ-198 и др.);
- тонкое измельчение и увлажнение (шаровая мельница мокрого помола);

- процеживание и электромагнитная сепарация (вибрационное сито Д-511, магниты, феррофильтры);
- хранение;
- транспортирование (мембранные насосы).

Шликер представляет собой суспензию – дисперсную систему влажностью 35-80 %, в которой твердые частицы находятся во взвешенном состоянии. Качество отливки изделий зависит от свойств литейного шликера, который должен обладать хорошей текучестью, устойчивостью, хорошей фильтрующей способностью [7-9].

Текучесть шликера характеризует его подвижность, то есть способность при малом содержании воды равномерно заполнять гипсовые формы.

Устойчивость шликера определяется способностью сохранять твердые частицы во взвешенном состоянии.

Фильтрующая способность шликера определяет его водоотдачу при контакте с поверхностью формы.

Шликер приготавливают двумя способами: беспрессовым и прессовым. При беспрессовом способе осуществляют совместный помол сырьевых материалов в шаровой мельнице, электромагнитную очистку, процеживание. В течение 5-6 суток шликер находится в мешалках при постоянном перемешивании и подогреве до 40 - 60 °С. Подготовленный таким образом шликер перекачивается мембранным насосом в расходные мешалки, из которых подается на отливку изделий.

Качество шликера, полученного прессовым способом, выше, чем качество шликера, полученного беспрессовым способом.

Поэтому его применяют для отливки особенно ответственных изделий. Готовят его следующим образом.

Шликер, полученный беспрессовым способом, из сборного бассейна мембранным насосом подается в рамный фильтр-пресс для обезвоживания до влажности 22-23 %. Полученные при этом коржи рекомендуется выдержать 2-4 недели в подвалах. Затем их загружают в горизонтальные мешалки для распускания, одновременно добавляя воду в количестве, необходимом для получения шликера влажностью 31-32 %, и электролиты (соду кальцинированную до 0,1 %, жидкое стекло до 0,07 % по сухой массе). Далее шликер подвергают электромагнитной очистке, процеживают через сито № 025 (250 отв/см²) и перекачивают в пропеллерную мешалку. Из нее очищенный и процеженный через вибросито № 0071 (6400 отв/см²) шликер перекачивают в сборный бассейн с перемешивающим устройством, где он выдерживается в течение 3-5 суток. Далее шликер перекачивается в расходную мешалку. Этот способ подготовки формовочных литейных масс более дорог и сложен, чем беспрессовый, но позволяет получать шликер с лучшими свойствами.

Институтом Гипростройматериалы предложена новая технологическая схема непрерывного массоприготовления шликера, по которой все операции осуществляются с помощью программного управления.

Приготовление порошкообразных масс

Глины плотной структуры, средней и пониженной пластичности, низкой карьерной влажности дают хорошие порошкообразные массы, используемые в производстве обыкновенного и

эффективного кирпича, пустотелых камней, керамических фильтров и т. д.

Известны два способа подготовки пресс-порошка: сушильно-помольный и шликерный. Сушильно-помольный применяют при использовании глин без добавок и красителей позволяющий получать изделия соответственно красного, желтого и других цветов. Этот способ включает следующие технологические операции:

- дозирование (ящичный подаватель);
- измельчение (стругач, дезинтеграторные вальцы);
- сушка (сушильный барабан);
- хранение (бункер);
- дозирование (подаватель ящичный или тарельчатый);
- тонкое измельчение (дезинтегратор, роторная мельница);
- просев (сито - бурат, струнное сито);
- хранение (бункер);
- дозирование (автоматические весы, тарельчатый питатель);
- смешивание (двухвальный смеситель).

При этом способе не всегда удастся получить порошок необходимой влажности. Поэтому сухую порошкообразную массу увлажняют водой или паром.

Увлажнение паром производят до приобретения шихтой влажности 9-11 % и температуры 50-60 °С. После этого шихта поступает на двухвальные лопастные смесители и далее в приемный бункер пресса.

Шликерная подготовка пресс-порошка обеспечивает наибольшую однородность многокомпонентной шихты. Этот способ наиболее надежен при использовании глин, отличающихся непостоянством состава.

Эффективен способ приготовления пресс-порошка с использованием распылительных сушилок конструкций НИИстрой-керамики и Минского комбината строительных материалов (рисунок 3). Их применение сокращает цикл создания пресс-порошка с 8-12 ч до 2-3 мин, позволяет совместить процессы грануляции и сушки глины, стабилизировать свойства порошка и улучшить условия труда рабочих. Сушильная камера представляет собой башню с крышкой и дном в виде конусного бункера. Для сжигания газа в стенках камеры установлены инжекционные газовые горелки.

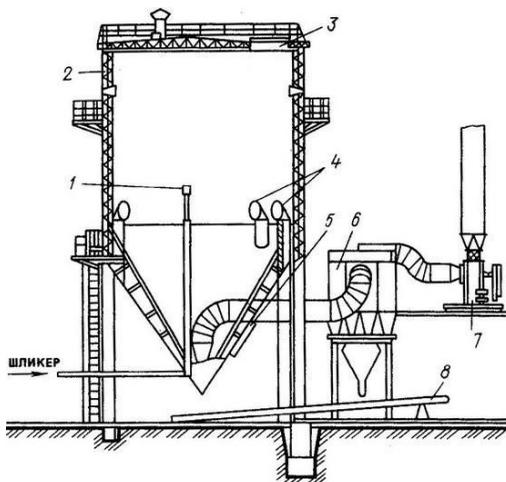


Рисунок 3 – Схема башенной распылительной сушилки: 1 – форсунка подачи шликера; 2 – корпус; 3 – взрывной клапан; 4 – го-

релки; 5 – вибратор; 6 – батарейный циклон; 7 – вентилятор; 8 – конвейер

Для распыления суспензии используют механические форсунки, в которых создается давление 0,6-0,8 МПа. Суспензия в них закручивается и вылетает в виде конусного факела. При нормальной работе форсунок температура в сушильной камере находится в пределах 250-350 °С. КИП обеспечивает контроль температуры, разрежения, давления и расхода суспензии и газа.

Лекция 10

Литье изделий. Полусухое формование

Литье – формование изделий сложной конфигурации (унитазы, умывальные столы и т. д.) в гипсовых формах, основанное на способности пористой гипсовой формы впитывать часть воды из залитой в нее шликерной массы. Вследствие испарения воды масса уплотняется (происходит набор черепка), уменьшается в объеме и свободно отделяется от формы. Срок уплотнения всей шликерной массы зависит от литейных свойств самой массы, гипсовых форм, температуры и влажности окружающей среды.

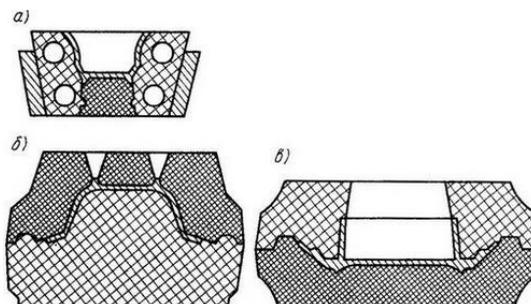


Рисунок 4 – Способы отливки в гипсовых формах: а – наливной; б – сливной; в – комбинированный

В настоящее время распространены три способа отливки изделий в гипсовых формах: наливной, сливной и комбинированный (рисунок 4). Наливной способ применяется для изготовления смывных бачков, унитазов и других изделий, имеющих большую толщину стенок. Для этого используют разборные формы сложной конструкции, которые собирают в батареи по 16-20 шт. и скрепляют металлическими стяжками. Набор черепка происходит между двумя стенками формы, в которую подается шликер. Излишки шликера через 1-3 ч сливаются через отверстия, расположенные внизу формы. Через 7-16 ч после закрепления черепка изделия освобождают от форм, оправляют и прикрепляют отдельно отлитые части к корпусу изделия.

При сливном способе излишки шликера из формы выливают после того, как на ее внутренней поверхности сформировался уплотненный слой массы толщиной 9-11 мм. Сливным способом отливают тонкостенные изделия, умывальные столы. Комбинированным способом литья, при котором одни части изделия выполняют наливным, а другие сливным методом и затем соединяют, изготавливают умывальные столы, писсуары и т. д. Литье изделий производят на специальных стендах или на литейно-подвялочных конвейерах СМ-461А и СМ-462А (рисунок 5). Отливка изделий на стенде требует больших площадей и затрат ручного труда на очистку форм, сборку, промазку и заливку шликера, разбор формы, освобождение изделий, их оправку и зачистку и не позволяет автоматизировать процесс литья.

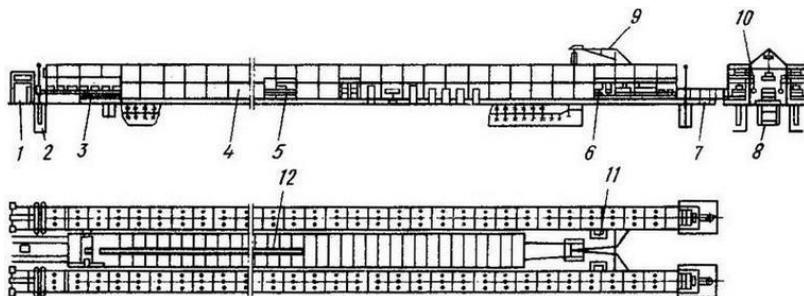


Рисунок 5 – Схема литейно-подвялочного конвейера СМ-462А: 1 – гидротолкатель верхний; 2 – гидроподъемник; 3 – механизм слива шликера; 4 – камера; 5 – механизм заливки шликера; 6 – тележки; 7 – гидротолкатель нижний; 8 – подвялочный конвейер; 9 – пневмоподъемник; 10 – монорельс уборки отходов; 11 – механизм съема изделий; 12 – конвейер возврата воронок и колышков

Формование умывальников и унитазов на литейно-подвялочном конвейере включает следующие операции: подготовка гипсовых форм, заливка шликера, набор и закрепление черепка, слив шликера, разборка форм, оправка, подвялка изделий и сушка форм. Литейно-подвялочные конвейеры представляют собой двухъярусный тележечный конвейер. Тележки с формами проталкиваются и перемещаются с одного яруса на другой гидравлическими толкателями и подъемниками. На первом ярусе готовят формы и заливают шликер. Затем тележки с формами проталкиваются в камеры набора черепка с температурой 35-40 °С, длина которых составляет 2/3 длины конвейера. Эти камеры тележки с формами проходят за 1,5 ч, после чего с помощью автоматического устройства каретка с формой наклоняется и излишек шликера сливается. В конце нижнего яруса каретки с формами

гидроподъемником подаются на второй ярус конвейера и проталкиваются толкателем в камеру закрепления черепка. Продолжительность этого процесса 3 ч, температура 35-50 °С. Затем тележка с формой опускается снова на нижний ярус. На нижнем ярусе рабочие открывают гипсовую форму, извлекают отлитое изделие, устраняют дефекты, подвяливают и снова оправляют его, а затем подают в сушильную камеру. Освобожденные формы перед очередной заливкой шликера высушивают при температуре 55-60 °С.

Ванны, мойки, радиаторы и другие крупные толстостенные изделия изготавливают способом литья из шамотированных масс. Для получения шликера необходимой текучести при минимальной влажности добавляют электролиты.

Литье применяют также при изготовлении ковровой мозаики – мелкогабаритных тонкостенных цветных плиток для облицовки панелей, стен вестибюлей, лестничных клеток и т. д. Изготовление плиток способом литья позволило значительно повысить производительность, сократить рабочие площади, уменьшить расход материалов за счет уменьшения толщины плиток.

Литье плиток производят на конвейерах СМ-725А, КПЛ, КПЛ-4 (рисунок 6), которые состоят из литьевого (с использованием подставок, называемых лещадками) и сушильного конвейеров, а также щелевой роликовой печи.

Литые плитки сушат на лещадках и обжигают по скоростным режимам в сушильных печах, разработанных НИИСтройкерамикой или Институтом газа АН УССР, позволяющих сушить их 14-15 мин при 320-340 °С и обжигать 34—48 мин при 1020 °С [10,11,12].

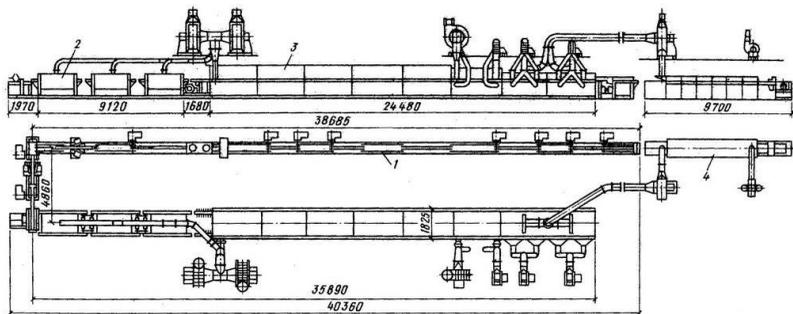


Рисунок 6 – Конвейер для производства литых плиток: 1 – литейный конвейер; 2 – сушилка; 3 – щелевая роликовая цепь; 4 – конвейер сушки и зачистки

Лекция 11

Полусухое прессование

Прессование бывает односторонним (прессовое усилие действует на массу с одной стороны), двусторонним (прессовое усилие передается на массу с двух сторон подвижными штампами), однократным и многократным (в зависимости от кратности приложения усилий), ударным и плавным (по интенсивности приложения усилий).

При формировании изделий полусухим способом, порошкообразные керамические массы должны иметь влажность менее 10 %. При полусухом способе прессования прогретый и увлажненный до 8-12 % порошок уплотняется прессованием под давление 5-40 МПа и перемещением частиц порошка в направлении действия усилий. Из пресс-порошка частично удаляется воздух, гранулы пластически деформируются, из них выжимается влага, что способствует склеиванию гранул по контактным поверхностям.

Длительность прессования влияет на качество сырца. На современных заводах применяют двухступенчатое прессование с интервалом между ступенями нагружения, во время которого из пресс-формы удаляется часть воздуха. Соотношение нагрузок первой и второй ступени обычно 1:3 – 1:4. Продолжительность прессования должна быть достаточной для удаления воздуха из пресс-порошка (0,5-3,5 с). Минимальное содержание воздуха в пресс-порошке (обычно до 30 %) обеспечивается правильным подбором его гранулометрического состава. Рациональным считается следующий зерновой состав пресс-порошка, % по массе: зерен 0-1 мм – 50, зерен 2-1 мм – 25, зерен 2-3 мм – 25.

Пресс-порошки с повышенным содержанием крупных зерен глины, отощенные шамотом, песком, золой ГЭС, требуют более высоких давлений при прессовании; из таких пресс-порошков воздух легче удаляется, способствуя улучшению структуры сырца и предохранению его от расслоения. Ввод в пресс-порошки поверхностно-активных добавок, например, ЛСТ, способствует увеличению пластичности, лучшему уплотнению сырца за счет снижения деформаций, повышению его прочности. Степень уплотнения влияет на прочность сырца и характеризуется коэффициентом сжатия $K_{сж}$, то есть отношением толщины слоя, засыпанного в пресс-форму порошка H , к толщине прессованного изделия h :

$$K_{сж} = H/h \quad (8)$$

Коэффициент сжатия позволяет определить необходимую глубину засыпки пресс-порошка в формы, если умножить его на высоту отпрессованного изделия. Ориентировочно коэффициент сжатия для высокопластичных глин колеблется от 1,5 до 1,8, для

глин средней пластичности – от 1,8 до 2, для тощих глин – от 2,1 до 2,4 [10].

Для полусухого способа производства применяются различные по конструкции и технологическим признакам прессы: коленно-рычажные, ротационные и гидравлические типов СМ-143, СМ-392, СМ-583, СМ-198, СМ-679, СМ-1085А и др. Кроме того, на заводах страны распространены прессы К/РКп-125, К/РУ-160, КРР-20, типа «Робот» (ГДР) и др. В производстве кирпича применяется двухступенчатый двусторонний пресс для полусухого прессования СМ-301А, представляющий собой механизм кривошипно-шатунного типа с гидравлическим регулированием давления. Первая ступень прессования 3,92-6,86 МПа, вторая – 26,95-29,4 МПа. Дозировка и засыпка пресс-порошка в формы, автоматическое регулирование глубины засыпки, прессование и выталкивание сырца на роликовый конвейер осуществляются специальными устройствами прессы. Полный цикл прессования 6 с.

Полусухой способ прессования применяется также для производства керамических плиток. Из полученного пресс-порошка прессуют плитки на указанных выше прессах при удельном давлении для первой ступени 3-5, второй – 27-30 МПа. На равномерность прессовки влияет режим прессования.

Полусухое прессование изделий имеет ряд преимуществ по сравнению с пластическим формованием: расширяется сырьевая база за счет использования тощих глин, изделия получаются более точных размеров и более правильной формы, длительность производственного цикла сокращается почти в 2 раза.

Лекция 12

Пластическое формование

Пластическое формование кирпича, труб, черепицы выполняется из пластических глиняных масс с влажностью 18-22 % выдавливанием через профилированные мундштуки ленточных винтовых (шнековых) прессов. Бывают вакуумные (СМ-1098, СМК-133, СМК-28, СМК-443А и др.) и безвакуумные (СМ-58, СМ-294, СМК-21) прессы, состоящие из корпуса, шнекового механизма, привода, головки и мундштука.

Для изготовления обыкновенного глиняного кирпича наиболее пригодны легкоплавкие глины средней и умеренной пластичности. Готовая формовочная масса забирается из смесителя с помощью подающего шнека и перемещается в вакуум-камеру. Перед подачей в вакуум-камеру глиняная масса уплотняется в конусной части смесителя, заполняет его выходную часть, проходит через кольцевое отверстие и разрезается ножами на слои небольшой толщины (10-15 мм). В вакуум-камере происходит деаэрация (удаление воздуха) массы, которая с помощью питающего вала подается на винтовой шнек пресса, проходит по его корпусу и выталкивается через прессовую головку и мундштук. При формовании обыкновенного кирпича мундштук имеет прямоугольное сечение, а при изготовлении пустотелых камней в мундштуке пресса устанавливают пустотообразующий сердечник, состоящий из скобы, стержней и кернов (насадок), профилирующих отверстия в изделиях. Для формования черепицы используют фасонные вставки в виде узкой щели, а для керамических труб – кольцевые. Мундштуки при вакуумном прессовании полнотелого кирпича выполняют стальными или чугунными длиной 150-300 мм

и конусностью 4-16 % (рисунок 7). Длина и конусность мундштука зависят от качества сырья.

В процессе формования мундштук орошается водой или масляной эмульсией, нефтепродуктами и другими материалами, уменьшающими трение массы о стенки. Это способствует формированию глиняного бруса и кирпича-сырца с более четкими гранями, прямыми углами и ребрами. Из мундштука пресса выходит глиняный брус, который разрезается полуавтоматическим резательным аппаратом СМК-163 или СМ-678А на изделия нужного размера. Отбор кирпича-сырца от пресса и укладку его на транспортные средства, доставляющие сырец к месту сушки и обжига, осуществляют автоматически. Для этого могут быть использованы автоматы-укладчики СМК-127, ГКЗ-1 и др. Уложенный на сушильные рамки кирпич-сырец транспортируют в сушилки с помощью семиполочных СМ-46 или десятиполочных вагонеток, консольных вагонеток СМК-110 и др. Полнотелые кирпичи из пластических масс обычно прессуют на безвакуумных, а пустотелые – на вакуумных прессах (рисунок 8).

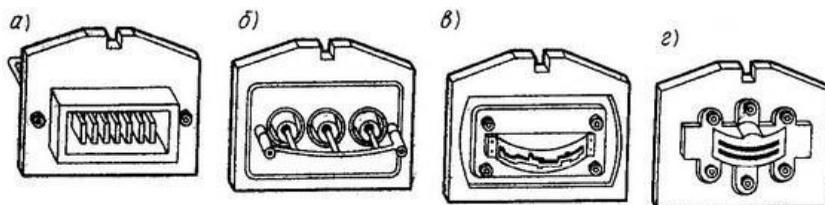


Рисунок 7 – Виды мундштуков: а – для изготовления пустотелого кирпича; б – труб (со стороны входа глины); в – ленточной черепицы; г – черепицы «бобровый хвост» (с выходом двумя лентами)

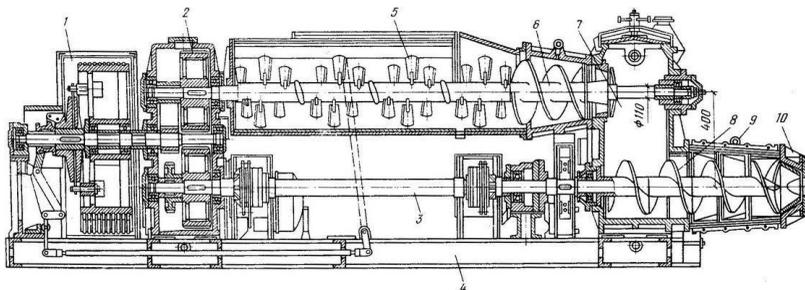


Рисунок 8 – Ленточный комбинированный вакуумный пресс СМ-443А: 1 – коробка привода; 2 – система передач; 3 – вал; 4 – станина; 5 – смеситель; 6 – верхний шнек; 7 – вакуум-камера; 8 – нижний шнек; 9 – цилиндр; 10 – головка прессы

С помощью вакуума из глины удаляется воздух, и она становится более связной и плотной. При этом прочность кирпича-сырца повышается в 1,5 раза, прочность обожженного изделия – на 30-40 %, водопоглощение снижается на 10-15 % и на 3-4 % увеличивается средняя плотность. Вакуумирование позволяет использовать формовочную массу более низкой влажности. Однако вследствие повышения перепада влажности за счет уменьшения влагопроводности массы в процессе сушки в кирпиче-сырце могут появиться трещины. Во избежание этого желательно сочетать вакуумирование с пароувлажнением. Вакуумирование массы позволяет использовать сырье низкого качества, производить крупногабаритные изделия сложной конфигурации (подоконные доски, наличники, керамические трубы, архитектурные детали и др.) [12].

Лекция 13

Брак и его причины при формовании и прессовании

При формовании кирпича вследствие недостаточной переработки глины в изломе сырца могут быть включения непроработанной глины. Возможны также нарушения углов бруса, расслоение его массы, появление структурных трещин S-образных или эллипсовидных, растрескивание бруса и размывы его поверхности. Нарушение углов бруса указывает на неудовлетворительное орошение мундштука, его износ или засорение, использование очень тощих глин.

Расслоение массы и образование структурных трещин являются результатом неправильного режима формования и несоблюдения необходимых параметров массы (наслаивание «заполированных» элементов массы шнековым нагнетателем, пульсация массы при ее нагнетании в формующую часть пресса, трение массы о стенки пресса, увеличение давления на массу в головке пресса и т.д.). При излишнем орошении мундштука возможны размывы на поверхности бруса.

Для предотвращения свилеобразования глину отощают, что увеличивает коэффициент внутреннего трения и снижает склонность массы к расслоению; увеличивают влажность массы, повышающую ее сцепляемость; уменьшают внешнее трение за счет введения в массу поверхностно-активных веществ и орошения головки пресса водой; удлиняют головку пресса, вставляя между цилиндром и головкой кольцо длиной 100 – 200 мм, что способствует большему уплотнению массы; устанавливают зазор между корпусом пресса и лопастями шнека в пределах 2 – 3 мм; снижают частоту вращения шнека (не более 32 об/мин), что позволяет снизить прессовое давление; используют рыхлительные

ножи в головке пресса, исключаящие «заполированность» и увеличивающие сцепление поверхностей отдельных слоев.

При прессовании пустотелых камней на вакуум-прессе возможны выход неравномерно уплотненного бруса, появление слоистой структуры, выход бруса с разрывами, расходящимися в сторону, или вогнутыми. Выход неравномерно уплотненного бруса – следствие недостаточного вакуумирования массы, при котором воздух, оставшийся в массе, замедляет смачивание глинистых частиц водой, снижает формовочную способность глиняных масс, препятствует ее равномерному уплотнению. Появление слоистой структуры устраняют повышением влажности массы и введением большего количества отошающих добавок. Если движение глиняной массы по сечению мундштука неодинаково, то в бруске появляются разрывы, расходящиеся в сторону в случае опережения при движении средней части массы, и вогнутые, если движение средней части массы более медленное, чем периферийное. Для устранения разрывов, расходящихся в стороны, необходимо увеличить угол наклона стенок мундштука, что способствует ускорению движения глиняной массы в периферийной части, или увеличить толщину середины скобы кернодержателей. Вогнутых разрывов можно избежать, увеличивая уклон кернов или укорачивая их в средней части сечения в месте замедленного движения глиняной массы [13].

Нарушение правильной формы камня-сырца объясняется неправильной резкой или смещением резательного станка с оси пресса.

При полусухом способе прессования необходимо постоянно контролировать удельное давление прессования, размеры и

форму изделия (2 – 3 раза в смену) и предел прочности сырца при изгибе (каждую смену).

При производстве кирпича полусухим прессованием в результате упругого расширения сырца после снятия давления и извлечения его из формы могут появиться трещины расслоения на боковых поверхностях, неравномерное уплотнение, разнотолщинность. Этого можно избежать, применяя прессы с двусторонним, многоступенчатым и длительным прессованием, снижением давления, использованием отощителей, а также порошка с возможно большей однородностью зерен по крупности, его вакуумированием.

В результате износа облицовки форм образуются заусенцы по краям сырца, а при недостаточном обогреве штампа и повышенной влажности порошка возможны вырывы на поверхности сырца вследствие прилипания массы к штампу и нижней матрице.

Лекция 14

Основные сведения о процессе сушки

Для придания отформованному изделию механической прочности, необходимой для последующих технологических операций, его подвергают сушке. В процессе сушки происходит удаление воды, сопровождающееся уплотнением (усадкой) отформованного изделия (полуфабриката) за счет объемных изменений. Максимальное уплотнение изделий наступает в начальный период сушки и соизмеримо с количеством удаляемой влаги. Усадочные изменения в полуфабрикате протекают неравномерно по всему объему изделий, что может привести к появлению напряжений и, как следствие, к браку в виде коробления (деформации) и тре-

щин. Поэтому очень важно правильно выбрать режим сушки и параметры сушильного агента – нагретого воздуха.

Плоские изделия обычно сушат в формах. Изделия, изготовленные методом литья, сначала подвяливают в формах до придания изделиям необходимой прочности, а затем извлекают из форм и досушивают до влажности 1...2,5 %. Для сушки массовых изделий используют конвейерные сушилки с направленными потоками горячего воздуха. В этих сушилках процесс сушки совмещается с операцией транспортирования изделий в направлении технологического потока. Отдельные художественные изделия сушат в камерных сушилках периодического действия, где полуфабрикаты высушиваются на полках или вагонетках. Для особо сложных изделий применяют естественную сушку на многоярусных стеллажах, расположенных у рабочих мест. Длительность искусственной сушки зависит от типа применяемых сушилок, методов сушки и других факторов и колеблется в пределах от 0,25 до 3 ч.

Чувствительность глин к сушке – характеристика, обратная понятию трещиностойкости изделий во время сушки. Показатель трещиностойкости глин в сушке – коэффициент чувствительности их к сушке $K_{ч}$, определяется по формуле:

$$K_{ч} = V_{у} / V_{п}, \quad (9)$$

где $V_{у}$ – объем усадки; $V_{п}$ – объем пор.

При $K_{ч} < 1$ глины малочувствительны к сушке, при $K_{ч} = 1...1,5$ – среднечувствительны, при $K_{ч} > 1,5$ – высокочувствительны.

Оценка сушильных свойств необходима не только при разработке рациональных составов шихт, но и при изменении

свойств исходного сырья, при автоматизации производственных процессов.

Трещиностойкость изделия зависит от их прочности, растяжимости, коэффициента усадки и влагопроводящей способности. Повысить трещиностойкость изделий в сушке можно, применяя паровое увлажнение глины, прогрев ее в сушильном барабане перед формованием, вакуумирование, введение отощающих и выгорающих добавок, а также добавок гипса и высокопластичной глины (в случае применения глины запесоченной), что повышает прочность отформованных изделий [14].

Лекция 15

Скорость и режим сушки

Скорость сушки характеризуется количеством воды, удаляемым с единицы поверхности изделия за единицу времени. Она зависит от способа сушки, вида сушильных устройств, плотности формовочной массы, влагосодержания и температуры.

Процесс сушки керамического изделия-сырца делят на три периода. Первый – период нагрева изделий, температура изделия выравнивается с температурой теплоносителя, а влажность изделия уменьшается незначительно. Второй – период постоянной скорости сушки, в течение которого происходит усадка изделия, частицы сдвигаются относительно друг друга, а прочность влажной глины еще мала. Поэтому ускорять сушку из-за опасности появления трещин на изделии нельзя. Период характеризуется постоянным уменьшением массы изделия в единицу времени. При этом скорость сушки численно равна скорости испарения влаги с

поверхности изделия. Третий – период падающей скорости сушки. Усадка изделия закончилась, и сушку можно проводить быстро. Процесс сушки заканчивается, когда влажность высушенного материала достигнет равновесной величины, то есть величины, при которой масса изделия не уменьшается и скорость сушки равна нулю.

Сушка сырца – ответственная операция, поэтому необходимо вести ее в оптимальном режиме, определяемом экспериментально и обеспечивающем получение изделий без трещин и деформаций за короткий срок с наименьшими затратами теплоты и энергии. Регламентируют три переменных параметра сушки: температуру, относительную влажность теплоносителя и скорость его движения в сушилках. Сочетание их называют режимом сушки.

Скорость теплоносителя обычно при сушке толстостенных изделий 0,5...3 м/с, при сушке тонкостенных изделий 3...10 м/с (назначается в соответствии с опытными данными).

При сушке плоских изделий процесс испарения влаги с поверхности будет интенсивнее фильтрующей способности спрессованной массы, может возникнуть критический перепад влажности и опасность взрывного разрушения. Поэтому необходимо замедлить сушку с поверхности.

Сушку пустотелых камней вначале ведут замедленно до удаления 4 – 5 % влаги, а затем более интенсивно. Температура теплоносителя не должна превышать 100 и редко 150 °С для малочувствительных к сушке глин – малопластичных с отощающими добавками. Количество теплоносителя 30 – 32 тыс. м³ на 1000 шт. высушенного сырца. Температура отработанного теплоносителя 30 – 70 °С при относительной влажности 80 – 95 %.

Керамические плитки сушат в основном по следующему режиму: температура теплоносителя на входе 110 – 120 °С, на выходе 60 – 65 °С, относительная влажность его 40 – 45 %, продолжительность сушки 5,5 – 12 ч. Остаточная влажность плиток после сушки не более 0,5 – 1 %.

Процесс сушки санитарно-технических изделий делят на четыре периода: первый длится 10 – 12 ч, температура теплоносителя не более 37 °С, относительная влажность 60 – 80 %; второй – 8 – 10 ч, температура теплоносителя до 50 °С, относительная влажность 70 – 75 %; третий – 8 – 10 ч, температура теплоносителя до 70 °С, относительная влажность 60 – 70 %; четвертый – 8 ч, температура теплоносителя до 80 °С, относительная влажность 30 – 35 %. Остаточная влажность изделий после сушки 1 – 1,5 %.

Сушку канализационных труб в камерных сушилках ведут замедленно: в первые 12 ч поднимают температуру теплоносителя до 30 °С при относительной влажности его 80 – 90 %, в последующие 12 ч – до 50 °С при относительной влажности 50 – 60 %, и так до конца сушки, длительность которой зависит от диаметра труб и составляет 60 – 70 ч. В туннельных сушилках трубы сушат при температуре входящего теплоносителя 90 – 140 °С, отработанного – 35 – 40 °С при относительной влажности 85 – 90 %. Продолжительность сушки зависит от диаметра труб и составляет 14...40 ч. Влажность высушенных труб – 3 – 5 %.

В процессе сушки необходимо контролировать температуру, расход, скорость и влажность теплоносителя, давление газовой среды. Количество теплоносителя определяют измерением

его скорости в каналах с заданной площадью поперечного сечения.

Скорость газов определяют анемометром. Путь, пройденный газом, делят на время наблюдения.

Относительную влажность теплоносителя определяют по разнице между показаниями обоих термометров психрометра, помещенного в газовую среду, с помощью психрометрических таблиц.

Давление газовой среды обычно определяют с помощью жидкостных стеклянных U-образных манометров по разности уровней жидкости в коленах трубки.

Лекция 16

Типы сушилок

Сушка керамических изделий (полуфабрикатов) может быть естественной на открытом воздухе (под навесами, в сараях и т. д.) и искусственной (в специальных устройствах, сушилках). Процесс естественной сушки очень длителен (до 20 суток). В нашей стране естественным путем сушат всего около 6 % выпускаемого керамического кирпича.

Для искусственной сушки в керамической промышленности чаще всего применяют туннельные и камерные сушилки, работающие по принципу противотока: навстречу сырцу движется теплоноситель (горячий воздух, топочные газы и т.д.), поступающий в туннель со стороны выгрузочного отверстия. Туннельная сушилка непрерывного действия представляет собой камеру длиной 24 – 36 м, высотой 1,4 – 1,8 м, шириной 1 – 1,2 м (рисунок 9).

Сырец поступает в сушилку на вагонетках, которые перемещаются в туннелях по рельсовым путям с помощью передвижных или канатных толкателей. Отдельные туннели объединяют в блоки по 4 – 20 туннелей, имеющих общие каналы для подачи и забора теплоносителя.

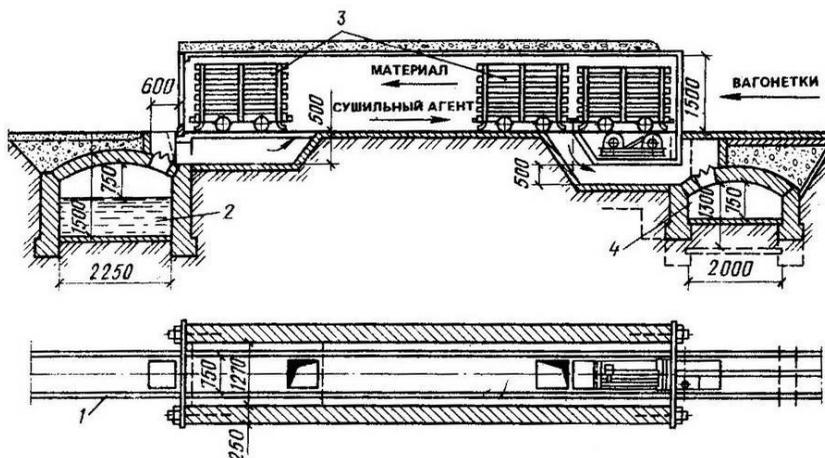


Рисунок 9 – Туннельная сушилка: 1 – рельсовые пути; 2 – канал для подачи теплоносителя; 3 – вагонетка; 4 – канал для отвода теплоносителя

Основные преимущества туннельных сушилок:

- поточность производства;
- высокий уровень механизации;
- высокая производительность труда.

К недостаткам туннельных сушилок относятся:

- большое количество вагонеток и необходимость их пополнения;
- подверженность металлических изделий вагонеток коррозии;

- неравномерность сушки изделий по поперечному сечению туннеля (вверху температура теплоносителя выше, чем внизу) и необходимость круглосуточной загрузки и разгрузки вагонеток.

Параметры режима сушки кирпича в туннельных сушилках:

- срок сушки 12 – 50 ч;
- температура теплоносителя 50 – 80 °С;
- температура отработанных газов 25 – 40 °С;
- относительная влажность 75 – 95 %;
- расход теплоносителя на один туннель 3000 – 10000 м³/ч;

- скорость движения теплоносителя в туннеле 0,8 – 2 м/с;
- начальная влажность массы 18 – 25 %;
- конечная влажность массы 5 – 7 %.

Использование отработанного теплоносителя (до 70 – 80 %) для сушки позволяет повысить влагосодержание свежего теплоносителя, смягчить режим сушки и сократить его срок.

Камерные сушилки относятся к сушилкам периодического действия (рисунок 10). Камеры длиной 10 – 18, шириной 1,3 – 1,5 м объединены в блоки по 24 – 48 шт. Внутренние стены камеры имеют выступы, на которые с помощью десятиполочных вагонеток укладывают рамки с сырцом. Теплоноситель поступает в камеру через нижние подводящие каналы. Охлаждаясь и насыщаясь влагой, он опускается и отводится через вытяжной канал.

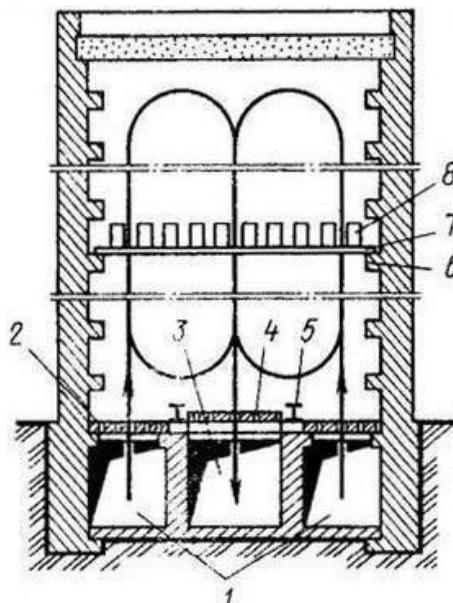


Рисунок 10 – Схема камерной сушилки Гипрострома: 1 – подводящие каналы; 2, 4 – щели; 3 – отводящий канал; 5 – рельс; 6 – выступ; 7 – сушильная рамка; 8 – изделие

Параметры режима сушки кирпича в камерных сушилках:

- срок сушки 32 – 72 ч;
- температура теплоносителя 130 – 170 °С;
- температура отработанного теплоносителя 40 – 50 °С;
- расход теплоносителя 1000 – 4000 м³/ч;
- всего загружают 2800 – 4000 шт. сырца.

Недостатки камерных сушилок:

- неравномерная сушка изделий из-за различной температуры теплоносителя и насыщенности его влагой по поперечному сечению камеры;
- небольшая скорость теплоносителя;

- периодичность работы;
- длительность процесса, связанная с потерями времени (до 10 %) на загрузку и выгрузку изделий.

Однако в камерных сушилках возможна сушка отформованных изделий по индивидуальному режиму.

Современные камерные и туннельные сушилки оборудованы вентиляторами, создающими внутреннюю принудительную интенсивную циркуляцию теплоносителя, что позволяет выровнять температурное поле по вертикальному сечению туннеля или камеры, значительно уменьшить неравномерность сушки и повысить ее скорость.

Новейшие методы сушки и конструкции сушилок позволяют производить процесс сушки более эффективно. Методы кондуктивного, диэлектрического, сверхвысокочастотного, плазменного и высокотемпературного нагрева, инфракрасного излучения основаны на повышении температуры изделий без участия газовой (воздушной) среды как передатчика теплоты. Например, при нагреве сырца инфракрасными лучами происходит поглощение материалом лучистой энергии, которая, преобразуясь в тепловую, быстро проникает в тело изделий, способствуя диффузии.

Для скоростной сушки изделий в керамической промышленности применяют конвективные сушилки с направленной подачей теплоты на изделие, радиационные с обогревом изделий электрическими или газовыми излучателями и комбинированные (конвективно-радиационные).

Выбор типа сушилки и режима сушки зависит от состава массы, формы и размеров изделий. Например, фаянсовые и полфарфоровые изделия (умывальники, унитазы, смывные бачки и

т.д.) сушат в туннельных сушилках или конвейерных противоточных и радиационных сушилках. Крупноразмерные и толстостенные изделия (ванны, мойки и т.д.) сушат в камерных или радиационных сушилках, а иногда комбинированным способом. Керамические плитки сушат на конвейерных ленточно-сетчатых сушилках, оборудованных панельными или микрофакельными газовыми горелками, или на роликовых щелевых сушилках.

Во время работы сушильщик должен контролировать:

- температуру теплоносителя и разрежения на входе в сушилку;
- температуру в отдельных ее зонах;
- влажность теплоносителя;
- разрежение на выходе из сушилки перед вентиляторами и в подводящих каналах.

При работе конвейерных сушилок проверяют: состояние горелок, плавность хода и натяжения сетки вентилятора, свободное вращение роликов. Следят за работой горелок (пламя должно быть устойчивым, спокойным и иметь голубой цвет), режимом сушки, показаниями контрольно-измерительных приборов, давлением газа.

Интересное предложение П. И. Воженова и др. о замене передела сушки сырца на обработку его паром под давлением. При этом в сырце образуется прочный каркас из гидросиликатов кальция и удаляется свободная вода. Автоклавный метод подготовки сырца к обжигу вместо обычной сушки практически ликвидирует воздушную усадку изделий, снижает на 100 – 200 °С температуру и продолжительность обжига при увеличении прочности, морозостойкости изделий. Экономия теплотрат при этом

составляет около 30 %. Целесообразен при производстве крупно-размерных керамических изделий. Приведенные данные подтверждены выпуском опытных партий в заводских условиях Гродненского и Ульяновского комбинатов строительных материалов, опытного завода ВНИИстрома и др.

Лекция 17

Брак и его причины при сушке

Посечки (мелкие трещины, невидимые невооруженным глазом) образуются из-за низкой температуры сырца, слишком высокой влажности теплоносителя. Более крупные трещины возникают вследствие неоптимального состава массы, недостаточной ее переработки, неисправностей пресса, неравномерной подачи теплоносителя по сечению туннеля. Вмятины и притупленности углов, искривление сырца образуются из-за перекоса рамок на сушильных вагонетках, небрежной укладки сырца, сотрясения его при транспортировании.

При нарушении режима сушки плиток, толщина которых значительно отличается от длины и ширины, возможны деформация плиток, трещины, взрывоопасные разрушения. Деформация плиток происходит при неравномерной влажности двух противоположных поверхностей. Для устранения этого дефекта необходимо следить за тем, чтобы интенсивность сушки была одинаковой с двух сторон.

Основным видом брака кирпича-сырца при сушке являются трещины: рамочные (или реечные) и сушильные.

Рамочные или реечные трещины получаются из-за того, что сырец врезывается в рейки стеллажа или прилипает к ним. Это не позволяет сырцу свободно сокращаться при сушке, что приводит к трещинам. Для того чтобы избежать этих трещин, нужно бережно устанавливать сырец на рейки, не допуская их врезывания в сырец, а также посыпать рейки песком или опилками, чтобы сырец к ним не прилипал.

Сушильные трещины получаются из-за слишком быстрой и неравномерной сушки и при плохих сушильных свойствах глины. Чтобы не допустить появления сушильных трещин, необходимо установить и соблюдать режим сушки, замедляя ее вначале, как указывалось выше, путем закрытия вентиляционных щитов и завешивания сырца мокрыми рогожами. Если эти меры окажутся недостаточными для устранения трещин, надо ввести в глину большее количество отошающих добавок – песка или опилок и т. д.

Иногда причиной брака сырца при сушке является неправильная организация работы или небрежное обращение с сырцом. Так, при слишком раннем начале или позднем окончании производственного сезона сырец может быть поврежден заморозками.

Лекция 18

Сущность и назначение обжига

В процессе обжига формируются наиболее важные свойства керамического материала, определяющие его техническую ценность, – прочность, плотность, водостойкость и т.д.

Обжиг ведут при температуре 900 – 1400 °С, достаточной для спекания керамической массы. При этом изделие превращается в камнеподобное тело, стойкое против механических, физических и химических воздействий. Температурный режим обжига изделий условно делят на четыре периода: досушки, подогрева, обжига (взвара) и охлаждения.

Досушку производят для удаления физико-механически и физико-химически связанной воды. При этом изделие равномерно прогревается до 100-200 °С. В интервале температур 80-130 °С идет интенсивное удаление воды, что может вызвать растрескивание сырца. Поэтому температуру в этом периоде поднимают медленно. При повышении температуры до 800 °С изделие прогревается. Быстрый подъем температуры в этот период не опасен.

Подогрев – увеличение температуры до 1050-1100 °С – производят медленно, так как при 800-900 °С возникают упругие деформации, что связано с разрушением кристаллической решетки глинистых минералов и структурными изменениями черепка. Нарушение этого режима приводит к появлению трещин.

В период обжига достигаются максимально допустимая температура обжига, интенсивная огневая усадка, созревает черепок и резко снижается пористость массы. В конце обжига изделия выдерживают при максимальной температуре в течение 3-5 ч для более полного протекания физико-химических процессов.

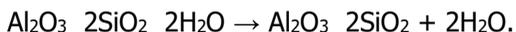
Охлаждение характеризуется медленным понижением температуры (приблизительно 30 °С/ч) до 500 °С. Это исключает появление внутренних напряжений в изделиях и их растрескивание, которое может произойти в интервале температур 650-500 °С при быстром охлаждении в результате модификационных пре-

вращений кремнезема, являющегося важнейшей составляющей многих керамических масс. Дальнейшее охлаждение изделий до конечной температуры 40-50 °С может производиться быстро (120-125 °С/ч).

Природный кремнезем в форме β-кварца при нагревании до 573 °С переходит в α-кварц с увеличением в объеме на 0,82 %, а при охлаждении и переходе через температуру 573 °С – из α-кварца в β-кварц с уменьшением в объеме.

Физико-химические процессы при обжиге

В период досушки при температуре 80-130 °С испаряется физико-механически связанная вода, масса изделия равномерно прогревается. В интервале температур 200-600 °С происходят выгорание органических примесей и выгорающих добавок, удаление физико-химически и при 500-600 °С химически связанной воды, входящей в состав глинистых и других минералов, что приводит к потере пластичности глины, уменьшению массы, разрушению кристаллической решетки минерала, снижению механической прочности и появлению усадки изделий. Процесс дегидратации каолинита протекает с образованием метакаолинита:



Вслед за усадкой глина уплотняется, так как легкоплавкие соединения заполняют поры между тугоплавкими частицами, способствуя уплотнению – спеканию.

В интервале температур 500-700 °С происходит диссоциация минералов, содержащих железо, сульфидов и сульфатов, а при 700-900 °С – карбонатов. Выгорание органических примесей и диссоциация минералов, выделяющих летучие газы (CO₂, SO₂ и

др.), должны заканчиваться до начала спекания черепка во избежание его разрывов и вспучивания.

При температуре 700 °С и выше находящиеся в глине щелочи взаимодействуют с другими компонентами, образуя расплав, в котором (по А. И. Августинику) происходит сближение твердых частиц и растворение минералов с выделением из раствора новых термодинамически устойчивых кристаллических фаз.

Последующее нагревание материала выше 700 °С приводит к разложению метакаолинита на свободные оксиды Al_2O_3 и $2SiO_2$, образованию силлиманита ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$) и SiO_2 и метакаолинита ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), а при 950-1150 °С и более – муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Муллит – наиболее устойчивое соединение, придающее изделиям прочность, ударную вязкость, термостойкость и др.

На процесс образования муллита большое влияние оказывает атмосфера печи. В присутствии водяного пара и в атмосфере азота этот процесс ускоряется, начиная с 600 °С, а в атмосфере углекислого газа замедляется.

Поэтому обжиг изделия лучше проводить до температуры 800 °С в окислительной среде, способствующей лучшему сжиганию органических примесей глины и выгорающих добавок, а выше 800 °С – в восстановительной среде, создаваемой сжиганием топлива, введенного в керамическую массу, или водяным орошением. Выгорающие добавки повышают пористость полуфабриката, понижают чувствительность к обжигу. Водяное орошение в зоне высоких температур повышает прочность изделий, снижает расход топлива и температуру обжига.

Лекция 19

Печи для обжига

В керамической промышленности применяют кольцевые и туннельные печи.

Кольцевая печь непрерывного действия имеет обжигательный канал в форме вытянутого кольца (рисунок 11). Обжигаемые изделия в канале неподвижны, а зона обжига непрерывно перемещается относительно материала. Теплоноситель из зоны обжига переходит по обжигательному каналу в зону подогрева, где используется для нагревания сырца и испарения из него влаги. Топливо (твердое, жидкое или газообразное) подается через топливные трубочки, расположенные в своде печи на расстоянии около 1 м одна от другой.

Весь канал условно разделен на 12-36 камер, имеющих в стене рабочие окна для загрузки и выгрузки изделий. Теплота, отдаваемая обожженными изделиями при остывании, поступает в зону обжига. К недостаткам кольцевых печей можно отнести неравномерность обжига изделий по сечению канала, отсутствие полной механизации, большие затраты ручного труда, трудные условия работы.

В кольцевую печь сырец поступает с влажностью не более 5 %. При работе 20-камерной печи продолжительность обжига кирпича по зонам: подготовки – 15-17 ч, обжига – 12-16 ч, закала – 6-10 ч, остывания – 12-20 ч. П. А. Дуванов и его последователи, меняя режим обжига и тип садки, добились сокращения общего цикла обжига кирпича (рисунок 12), что повысило производительность печей до 3000 шт. и более на 1 м³ объема печи и

снизило расход условного топлива на обжиг 1000 шт. кирпича до 90-120 кг.

Садка сырца в печном канале должна быть устойчивой, соответствовать виду обжигаемых изделий, обеспечивать равномерное распределение огня по сечению канала и удобство загрузки и выгрузки. В настоящее время садка кирпича-сырца в кольцевую печь механизирована: с помощью электропогрузчика 4004 пакет, сформированный вручную из 103-232 шт. высушенного кирпича, направляется в камеру печи. Плотность садки 180-250 шт/м². Используются автоматы-укладчики ВСКО-25М1, ВСКО-28-02 и ВСКО-28М для съема кирпича с полочных вагонеток камерных сушилок и укладки их в пакеты по заданной схеме садки (украинской, «в елку», прямой, стыковой и др.) на поддоны или ленточный конвейер с последующей подачей пакетом кирпича в кольцевую печь со съемным перекрытием.

Основные элементы садки кирпича: ножки, перекрытия ножек, колосниковая решетка и. основная садка – елки (рисунок 13). Используют также садки бесколосниковых систем Г. А. Гончаренко, С. В. Баскакова, А. А. Немцова, В. В. Минкина с низкими ножками в два кирпича, плотностью 210-215 шт/м³. Они удобны при мелком, нешлакующемся топливе и повышенной влажности кирпича-сырца.

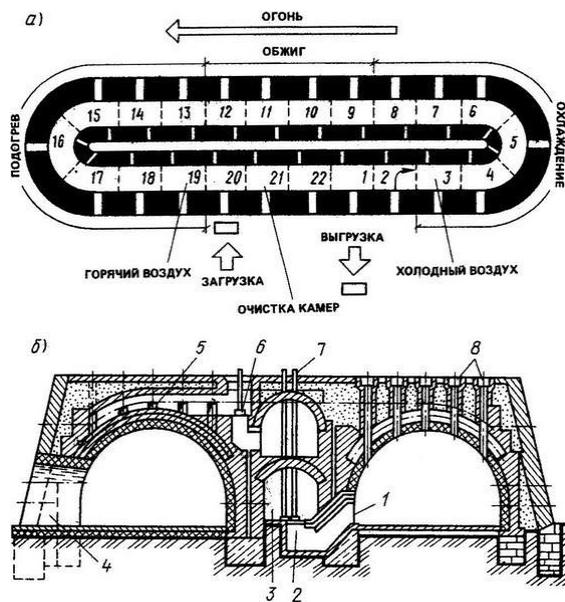


Рисунок 11 – Схема работы (а) и разрез (б) кольцевой печи: 1 – дымовые очелки; 2 – дымовой конус; 3 – дымовой канал; 4 – ходок; 5 – рассыпной строй; 6 – клапан рассыпного строя; 7 – штанга; 8 – топливные отверстия

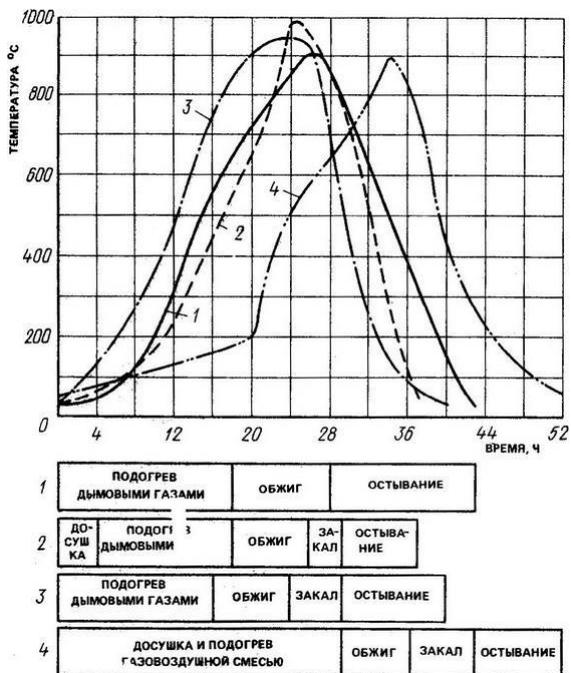


Рисунок 12 – Режим обжига в кольцевых печах: 1 – обыкновенно-го кирпича (по П. А. Дуванову); 2 – пористо-дырчатого кирпича; 3 – семищелевых камней; 4 – сырца повышенной влажности

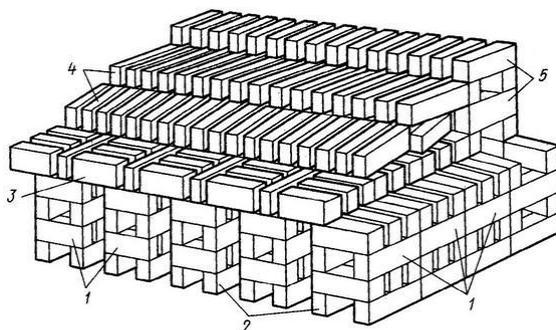


Рисунок 13 – Основные элементы садки кирпича: 1 – ножки; 2 – подовые каналы; 3 – перекрытия ножек; 4 – «елки»; 5 – колосниковая решетка

Туннельные печи для обжига

В туннельной печи зона обжига неподвижна, а обжигаемый материал перемещается на вагонетках, ленточных или роликовых конвейерах по сквозному туннелю навстречу теплоносителю. Длина обжигательного канала 48-408 м, ширина 1,7-4,7 м, рабочая высота 1,3-1,9 м. Печи фирмы «Серике» (Италия) имеют длину 135,6 м, ширину 6,94 м, рабочую высоту 2,07 м. Туннельные печи бывают одно- и многоканальными, щелевыми, с прямолинейным и кольцевым (реже) обжигательным каналом. Нагрев изделий может производиться способами прямого огня и через экраны-муфели. В печах открытого пламени изделия соприкасаются с продуктами горения, поэтому возможно их засорение золой и несгоревшими частицами топлива. В муфельных печах это исключено, так как нагрев изделий осуществляется через муфели. Этот способ дороже, но позволяет получать изделия более высокого качества. Перспективны также печи с радиационным нагревом, при котором стены печи выполняют из отдельных излучающих панелей, способных за 1-2 мин нагреваться до 1300 °С.

Туннельная печь (рисунок 14) имеет три зоны: подогрева, обжига и охлаждения.

В зоне подогрева температура повышается со скоростью 50 °С/ч до 100 °С, затем со скоростью 150 °С/ч до 750-800 °С. Затем скорость нагрева несколько снижается и повышается снова в зоне обжига. Охлаждение после обжига медленное за счет теплотерь в окружающую среду, а с 500 до 50 °С скорость охлаждения повышается до 120 °С/ч. Большая часть производственного времени (60-65 %) при обжиге отводится зонам подогрева и

охлаждения, так как в этих зонах возможно появление наибольшего количества дефектов.

Срок обжига кирпича и пустотелых камней в туннельных печах составляет 18-32 ч; из них в зоне охлаждения изделия находятся 10-15 ч.

Применение глинистого сырья, мало чувствительного к сушке, позволяет использовать тепловые агрегаты, совмещающие сушку и обжиг. Это снижает трудовые затраты на 35 %, расход топлива на 20-25% и себестоимость изделий на 25-30%, позволяет автоматизировать производство.

В производстве изделий строительной керамики должно найти широкое применение использование вакуума для обжига изделий. Этот способ в 2-10 раз сокращает длительность обжига в сравнении с обжигом в обычных условиях, снижает на 100-200 °С температуру обжига, на 20-37 % расход электроэнергии, увеличивает прочность и морозостойкость изделий.

Режим обжига в туннельных печах назначают в зависимости от вида, формы, размеров обжигаемых изделий и вида теплоносителя.

Интенсивность и качество обжига также зависят от вида садки кирпича-сырца на вагонетки, который выбирают в соответствии с типом изделий, уровнем механизации погрузочно-разгрузочных работ, видом топлива, методом его сжигания, размером обжигательного канала. Садка сырца прямая плотностью 200-280 шт. на 1 м³ объема канала печи. Должна быть прочной и устойчивой, не препятствовать равномерному прогреву всего сырца (рисунок 15). При обжиге санитарно-технических изделий

применяют плотную садку (рисунок 16) как наиболее экономичную.

К преимуществам туннельных печей относятся: механизация и автоматизация процесса обжига, улучшенные санитарно-гигиенические условия работы и большая производительность по сравнению с кольцевыми печами. Недостатками туннельных печей являются быстрый износ вагонеток, большие перепады температур в различных зонах печи.

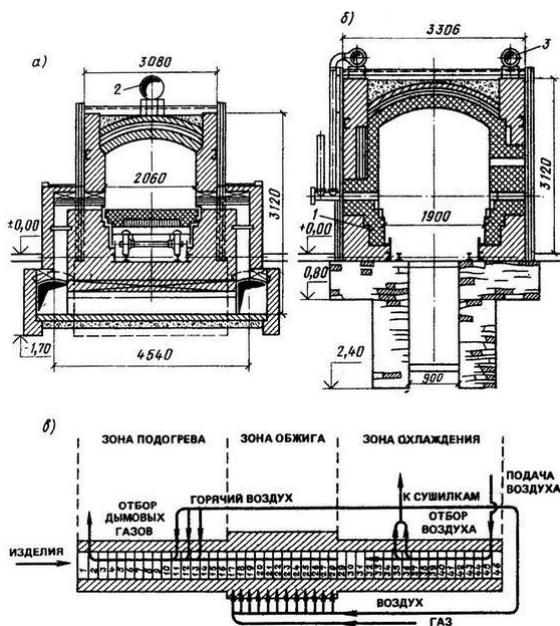


Рисунок 14 – Туннельная печь Гипрострома (Киев): а – зона подогрева; б – зона взвара (1 – кладка печи; 2 – воздухопровод; 3 – газопровод); в – схема тепловых зон

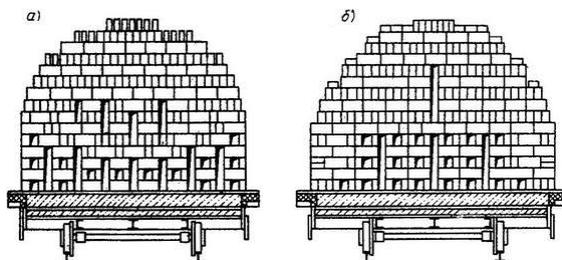


Рисунок 15 – Садка кирпича на вагонетку при обжиге: а – твердым топливом; б – природным газом

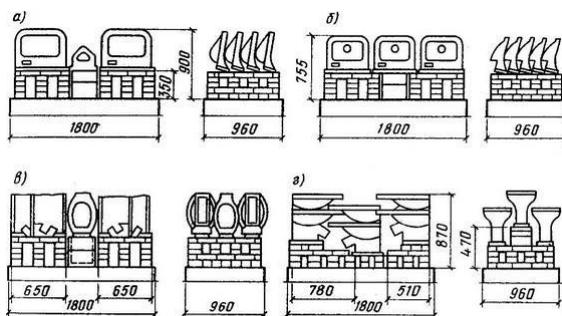


Рисунок 16 – Варианты рациональной садки санитарно-технических изделий: а, б – умывальных столов; в, г – унитазов

Щелевые туннельные печи

Перспективными считаются щелевые туннельные печи конструкции ВНИИстром для однорядного обжига кирпича, которые облегчают автоматизацию загрузки и выгрузки изделий, сокращают цикл обжига до 6 ч, повышают марки готовых изделий от 100 до 250.

При производстве керамических плиток используют однорядный обжиг по скоростному режиму в конвейерных печах, обеспечивающий получение качественных изделий в течение 15-

150 мин. Скоростной однорядный обжиг характеризуется резким подъемом температуры (5000-10000 °С/ч), поэтому очень важно правильно установить его режим (по справочным данным). Печи для скоростного обжига конструкции ПКБ НИИстройкерамики бывают открытого пламени и муфельными.

Конвейерная печь открытого пламени представляет собой щелевидный канал прямоугольного сечения, внутри которого по роликам передвигается сетчатая конвейерная лента из жаростойкой стали. Печи отапливаются с помощью инжекционных газовых горелок, расположенных по обеим сторонам канала. Расположение горелок позволяет регулировать температурный режим в канале: одни направляют продукты горения в верхние и нижние, а другие – в нижние дымовые каналы. Производительность конвейерных печей 10-17 тыс. изделий в сутки; продолжительность обжига 0,5-3 ч (в туннельных печах 15-19 ч); себестоимость обжига 1 тыс. изделий в 3-4 раза ниже, чем в туннельных печах.

В НИИстройкерамике разработаны конвейерные печи для скоростной однорядной сушки и обжига с использованием щелевых роликовых печей, в которых обогревающие элементы располагают непосредственно под роликовым конвейером, перемещающим сырец по туннелю. Использование таких линий позволяет сократить время обжига плиток, легко управлять процессом обжига, исключить дефекты глазурования, такие, как запарка, наколы, пузырчатость, так как водяной пар выходит через неглазурованную поверхность плитки.

В наиболее совершенных печах скоростного обжига ленточный конвейер заменен воздушной подушкой.

Печи периодического действия применяют лишь для обжига малотиражных или уникальных изделий, химически стойкой аппаратуры и т. д.

В них загрузка и выгрузка изделий – операции трудоемкие, выполняемые в рабочей камере печи в условиях высоких температур. Поэтому в настоящее время проектируют и сооружают периодические печи с выкатным подом, где загрузку и выгрузку производят вне печной камеры лебедкой с системой блоков. Максимальная температура обжига изделий в этих печах 1350 °С. Продолжительность полного цикла 48 ч.

В ЛПО «Победа» действует автоматизированный завод по выпуску керамических камней, выполненный на базе комплекса СМК-182. Оборудование его обеспечивает формование, резку, сушку сырца, садку высушенных изделий на печные вагонетки и транспортирование их. Все операции, кроме транспортирования, полностью автоматизированы.

Создание АСУТП сушки и обжига глиняного кирпича с применением микро-ЭВМ сегодня сдерживается высокой стоимостью и сложностью вычислительной техники, большими требованиями к квалификации обслуживающего персонала.

Контроль параметров режима обжига

Во время работы печи контролируют следующие параметры: состав отходящих газов; расход воздуха на горение; разрежение, создаваемое дымососом; разрежение в печи перед зоной горения; температуру в различных зонах печи; работу вентиляторов и дымососов.

Для контроля работы печей используют простейшую измерительную аппаратуру (термометры, термопары, датчики, газо-

анализаторы и т. д.), а также приборы автоматического контроля. В целях поддержания заданной температуры по длине туннельной печи применяют систему автоматического регулирования с автономными регуляторами, следящими за постоянным расходом топлива, подачей или забором воздуха из зоны охлаждения, отводом дымовых газов. Автоматически осуществляется также подача вагонеток в печь через определенные интервалы времени.

Подачу воздуха и топлива в печь контролируют позиционными или пропорциональными регуляторами. Принцип действия системы двухпозиционного автоматического регулятора заключается в том, что при нагреве в термоэлектрическом термометре возбуждается электродвижущая сила, поступающая в контактный гальванометр, в котором имеется приспособление, устанавливающее предел колебаний температуры в определенной точке. Когда температура достигает максимального значения, заслонки на газовой и воздушной сети закрываются, горение прекращается и температура снижается. Когда же температура понижается до минимально допустимого значения, заслонки вновь открываются.

Автоматическое регулирование режима обжига предусматривает также звуковую и световую сигнализацию остановок вентиляторов и дымососов с помощью сигнальных ламп подключенных к мембранным индукционным датчикам.

Для поддержания уравновешенного аэродинамического режима между подвагонеточным и обжигательным каналами используют электронный регулятор перепада давления. Принцип его работы состоит в том, что при разрежении в обжигательном канале подается сигнал на регулятор количества, управляющий исполнительным механизмом. Этот механизм связан с дроссель-

ным клапаном, установленным перед вентилятором забора воздуха из-под вагонеточного канала и влияющим на изменение разрежения в нем.

Анализ отходящих газов для определения СО проводят оптико-акустическим газоанализатором.

Брак керамических изделий при обжиге и меры по его устранению

Неравномерность обжига сырца по ширине печи происходит вследствие отставания прогрева боковых стен печи от нагрева центральной зоны садки. Устранить этот дефект можно путем ликвидации подсосов холодного воздуха через ходки, дымовые конусы, направленной подачи топлива стенам печи.

Недожог верхних рядов садки может происходить из-за подсоса холодного воздуха через плохо прикрытые топливные трубочки и большой плотности садки. В этом случае необходимо плотно прикрыть топливные трубочки, в зону взвара подать кусковое топливо, разредить садку, уменьшить высоту ножек и степень открытия дымовых конусов.

Недожог нижних рядов образуется из-за чрезмерного разрежения садки, неправильного распределения топлива при засыпке, подсоса дымовых конусов в зоне взвара. Устранить этот дефект обжига можно, если уплотнить садку, повесить высоту ножек, бесколосниковую садку заменить на колосниковую, устранить подсосы конусов.

Трещиноватость изделий может быть вызвана неправильной регулировкой дымовыми конусами, дефектами формования. Крупные трещины, приводящие к образованию половняка и щебня, образуются вследствие неправильного режима досушки при

садке в печи недосушенного сырца; мелкие трещины образуются вследствие быстрого охлаждения изделий из-за короткой зоны остывания. Устраняют дефекты путем установления нормального режима в печи, соответствующего влажности сырца, удлинения зоны остывания, введения отошающих добавок, устранения дефектов формования.

При обжиге сырца в туннельных печах может происходить запарка из-за низкой температуры отходящих газов или значительной неравномерности температур в зоне подогрева. Мелкие поверхностные трещины образуются так же, как и при обжиге в кольцевых печах, из-за быстрого охлаждения. Поэтому надо предусматривать медленное охлаждение, особенно на участке температур от 650 до 450 °С. Имеющий иногда место пережог возникает вследствие острого факела пламени или малой газопроницаемости садки.

Особо следует подчеркнуть характер влияния поверхностно-активных добавок как новый фактор в улучшении технологии и качества кирпича глиняного обыкновенного пластического прессования.

Что происходит в процессе нагрева и охлаждения:

20 – 100 °С – Удаление влаги из массы. Греть нужно медленно и, главное, равномерно. Чем толще стенки изделия, тем медленнее нагрев.

100 - 200 °С – Удаление влаги из массы продолжается! Если приборы показывают 150 °С, это еще не значит, что изделие нагрелось до такой температуры, особенно в толще, особенно на толстой подставке. Глазурное покрытие претерпевает усадку. Выделяющиеся из объема изделия пары воды могут привести к рас-

трескиванию и отлету покрытия. Из люстровых покрытий выделяются летучие органические соединения. Не форсируйте нагрев!

200 - 400 °С – Выгорание органических веществ. Если по каким-то причинам их много, следует обеспечить хороший приток воздуха (деколи, люстры, связующее надглазурных красок и мастик).

550 - 600 °С – Серьезное фазовое превращение кварца. Оно редко проявляется на стадии нагрева, а на стадии охлаждения может привести к так называемому «холодному» треску.

400 - 900 °С – Разложение минералов глины. Выделяется химически связанная вода. Разлагаются азотнокислые и хлористые соли (если их использовали).

600 - 800 °С – Начало расплавления свинцовых и других легкоплавких флюсов, надглазурных красок. При 750 – 800 °С в третьем декорирующем обжиге происходит размягчение поверхности глазури и впекание красок, золота и т.п. Выгорание сульфидов.

850 - 950 °С – Разложение мела, доломита. Начало взаимодействия карбонатов кальция и магния с кремнеземом. Эти процессы сопровождаются выделениями углекислого газа. В целом завершены все превращения глинистых веществ. Их наиболее мелкие частицы уже спеклись и обеспечили заметную прочность черепка. К концу интервала – полное расплавление майоликовых глазурей.

1000 - 1100 °С – Интенсивное взаимодействие извести и кремнезема сопровождается появлением жидкой фазы (например, в известковом фаянсе), уплотнением и деформацией черепка. Начало размягчения полевых шпатов. Плавление нефелин-

сиенита. Интенсивное разложение сульфатов, что сопровождается выделением сернистого газа.

1200 - 1250 °С – Интервал спекания беложгущихся глин, фаянсовой массы. Растворение кремнезема и каолинита в расплаве полевого шпата.

1280 - 1350 °С – Процесс мулитообразования. Иглы муллита пронизывают фарфоровую массу, что в дальнейшем обеспечит ей высокую прочность и термостойкость. Превращение тонкодисперсного кварца в кристобаллит.

1200 - 1420 °С – Этот температурный интервал характерен для фарфора. Здесь происходят процессы восстановления рыжих оксидов железа в более благородные голубые, если обеспечены соответствующие окислительно-восстановительные условия обжига. Температуры высоки, вязкости умеренные, очень быстро протекает диффузия: например, подглазурная роспись теряет четкость очертаний.

1420 - 1000 °С – Ничего особенного в процессе охлаждения не происходит. И глазурь, и масса находятся в достаточно пластичном состоянии, поэтому охлаждать можно настолько быстро, насколько это позволяет печь. Если используются глазури, склонные к кристаллизации, медленное охлаждение или выдержка 1-10 часов в этом интервале приводит к росту кристаллов.

1000 - 700 °С – Начинается окисление низших оксидов меди, марганца и др. металлов (если они использованы) в высшие. Недостаток кислорода в пространстве печи может дать поверхность с металлизацией. Если требуется восстановление – самое время для него. Восстановительную среду следует поддерживать чуть ли не до комнатных температур, как минимум до 250-300 оС.

900 - 750 °С – И черепок, и глазурь перешли в хрупкое состояние и далее остывают как единое твердое тело. Если не согласован коэффициент теплового расширения – возможен цек или отскок глазури и даже разрушение изделия.

600 - 550 °С – Обратное фазовое превращение кварца с резким объемным изменением. Скоростной проход этого интервала может вызвать «холодный» треск.

300 - 200 °С – Фазовое превращение кристобаллита. Он образовался, если в массе был очень тонкодисперсный кремнезем, при 1250 – 1300 °С. Не следует спешить открывать дверцу печи.

Лекция 20

Сущность и назначение глазурования и декорирования

Для увеличения атмосферной стойкости, водонепроницаемости, предохранения от загрязнений, улучшения декоративных качеств изделия покрывают глазурями.

Глазурь наносят на предварительно обожженные или хорошо высушенные изделия в виде тонкодисперсной водной суспензии.

Изделия впитывают влагу, и твердое вещество глазури откладывается на поверхности плотным слоем, который при обжиге расплавляется на ней в виде тонкой стекловидной пленки. Обжиг проводят по такому же режиму, что и у неглазурованных изделий, при нейтральной или слабоокислительной газовой среде.

Ангобирование изделий (офактуривание) производят тогда, когда естественная окраска терракотовых изделий неприемлема. Оно широко распространено в производстве двухслойного кирпича и керамических камней.

Ангобирование – нанесение перед обжигом на поверхность необожженного изделия тонкого слоя белой или цветной глины толщиной 0,1-0,5 мм.

Декорирование – окрашивание естественными красителями минерального происхождения и искусственными красками. Естественные красители (оксид хрома или сурьмы, кобальтовую фритту и т. д.) вводят в шихту. Искусственными красками (пигментами: смесью металлов, их оксидов, силикатов, алюминатов и т. д.) выполняют подглазурное раскрашивание. После высыхания изделия покрывают прозрачными глазурями и обжигают. Иногда выполняют надглазурное окрашивание изделий пигментами и повторно обжигают их в муфельных, электрических или пламенных печах при температуре ниже температуры плавления глазури 600-900 °С в течение 8-10 мин и затем медленно охлаждают. В качестве связующих в керамические краски на стадии нанесения добавляют глюкозу, глицерин, декстрин, скипидар и олифу.

Способы глазурования и декорирования изделий

В зависимости от способа производства, вида и состояния изделий (высушенные или обожженные) применяют глазурование способами погружения, полива и пульверизации.

Глазурование погружением выполняют ручным или механизированным способом с выдержкой изделий (унитазов, труб, тройников, крестовин и др.) в глазури в течение 2-6 с.

Поливом глазуруют керамические плитки и полые изделия простой формы, например, смывные бачки. Верхняя поверхность полого изделия поливается струей глазури, вытекающей из щели бачка с глазурью, а нижняя – из фонтанирующей насадки глазу ровочной машины.

Глазурование пульверизацией – наиболее универсальный способ. Осуществляется в специальных камерах, где глазурь распыляется воздухом при давлении 0,2-0,3 МПа. Этот способ применяется для глазурирования простых и сложных по конфигурации изделий (как мелких, так и крупногабаритных). Для декорирования изделий используют ручную роспись и отводку, декалькоманию, шелкографию, аэрограф, полиграфические методы, штамп, фотопечать, травление и т. д.

Лекция 21

Оборудование для глазурирования и декорирования

В настоящее время керамическая промышленность оснащена машинами для очистки изделий от пыли, глазурирования, зачистки и склеивания.

В производстве используют не только глазу ровочные машины (рисунок 17), но и поточные конвейерные линии глазу рования. В ПКБ НИИСтройкерамики создан промышленный глазу ровочно-сушильный конвейер для изготовления плиток, оборудованный системой контроля, сигнализации и автоматизации. Температура в сушилках, давление газа, поступающего к горелкам, и давление воздуха, направляемого к пульверизаторам глазу ровочной машины, регулируются автоматически.

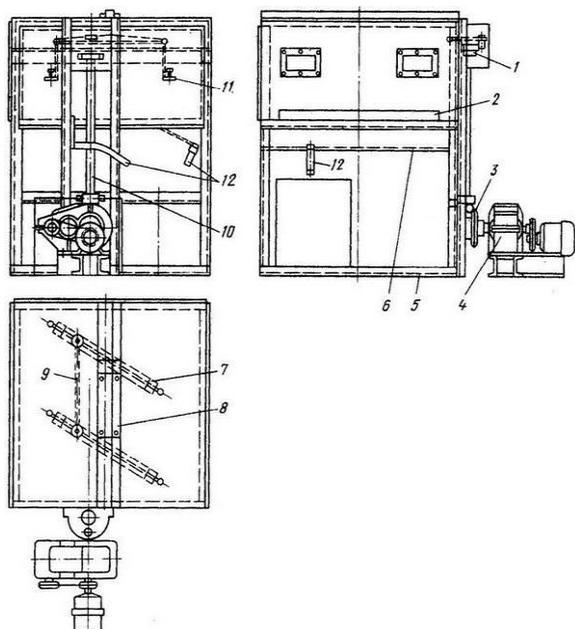


Рисунок 17 – Глазуровочная камера: 1 – шатунно-кривошипный узел; 2 – щели; 3 – коническая пара шестерен; 4 – редуктор; 5 – станина; 6 – корыто; 7 – рычаг; 8 – планка крепления корпуса; 9 – соединительная тяга; 10 – вертикальный вал; 11 – пульверизатор; 12 – слив глазури в бак

На заводах санитарно-технических изделий действуют поточные линии для глазурования умывальных столов и унитазов, состоящие из зоны съема и установки изделий на тележке, автоматической обдувочной камеры, камеры для автоматического глазурования, контрольной камеры ручной глазуровки. При глазуровании унитазов поточную линию дополняют радиационной сушилкой и предусматривают место для глазурования внутренней поверхности унитазов.

Санитарно-технические изделия и плитки глазуруют на поточных линиях с помощью специальных форсунок, а также машин распылительного действия с прямым (для облицовочных плиток) и круговым (для сложных по форме изделий) конвейером. В таких машинах используют более плотные глазури ($1,7-2 \text{ г/см}^3$), распыляемые под давлением 200 кПа и более. В зависимости от размеров изделий используют 2-12 распылителей. Производительность линий 5-6 тыс. плиток в 1 ч.

При глазуровании пустотелой керамики на линии устанавливают последовательно две распылительные камеры с различными глазурями, что позволяет сократить время перехода с одного вида глазури на другой. Производительность такой линии 4 тыс. изделий в 1 ч.

Для глазурования смывных бачков используют машины стендового типа с медленно вращающимися столами. В них глазурь распыляется на изделие сверху и сбоку пятью распылительными соплами, совершающими возвратно-поступательное движение и управляемыми автоматически: изделие заходит в кабину – сопла включаются, изделие выходит из кабины – сопла выключаются. Производительность машин стендового типа до 120 бачков в 1 ч. При глазуровании унитазов на таких машинах глазурь сначала распыляется снизу на внутреннюю поверхность, а затем четырьмя соплами сверху на наружную поверхность медленно вращаемого изделия. Производительность машины 60 унитазов в 1 ч. Унитазы и смывные бачки можно также глазурировать и окунанием.

Керамические трубы глазуруют в подвешенном состоянии в глазуровочной кабине конвейерно-поточной линии методом по-

лива. Глазурная суспензия поступает через систему глазуropодающих трубок.

Наиболее экономично и эффективно дисковое центробежное распыление глазури, применяемое в конвейерной линии непрерывного производства с двукратным обжигом облицовочной плитки (разработано в НИИстройкерамике).

Для глазурования мелких изделий (изоляторов, фитингов и т. д.) используют карусельные машины. С помощью штырей-веретен изделие вначале опускается в ванну с водой, а затем в ванну с глазурной суспензией. Штыри, закрепленные на непрерывно движущейся цепи, вращаются вокруг собственной оси и перемещаются вместе с изделием в камеру сушки.

На крупных заводах с большим ассортиментом изделий глазурование движущихся на конвейере изделий можно выполнять ручными распылителями.

Декорирование фарфорофаянсовых изделий шелкографическим методом выполняют на полуавтоматах конструкции УНИИСП или на автоматах фирм «Чибек» (Италия), «Изимат» (ФРГ) и др. При шелкографическом методе сначала изготавливают фотопленку с оригинала, затем фототрафарет на нейлоновой сетке, наносят на сетку красящую мастику и с помощью эластичного ножа – ракеля – переводят рисунок на плитку или другое изделие.

Художественное оформление изделий цветными керамическими красками производят вручную кистью. Нанесение рисунка дополняется отводкой в виде полоски, ленты, усиков, которой обрамляют борта изделия, приставные детали и выступающие элементы. Для декорирования штампом и отводкой применяют

полуавтоматы и автоматы. При первом способе оттиски рисунков накатываются резиновым валиком или штемпелем на изделие, при втором – наносятся специальными кистями, перьями, трубочками, валиками, автоматически питаемыми красками.

Лекция 22

Брак и его причины при глазуровании

Внешний вид керамического изделия зависит от качества глазурования. В обожженном изделии могут возникать следующие пороки глазурного покрытия.

Цек – тонкие (волосяные) трещины на поверхности, возникающие при несоответствии коэффициентов термического расширения глазури и черепка. Цек возрастает с увеличением плотности глазурного шликера, толщины слоя глазури, при плохой проплавке фритты. Устойчивость глазури к цеку повышается при увеличении в ее составе SiO_2 , CaO и MgO за счет снижения содержания Na_2O и K_2O , введения в массу 3-4% талька. Кроме того, склонность глазури к цеку снижает тонкий ее помол.

Сборка – глазурь стягивается в капельки и складки. Причинами этого порока могут быть слишком тонкий помол исходных компонентов, плохая обдувка изделий от пыли перед глазурованием, слабое сцепление глазури с черепком, слишком толстый слой глазури (0,9 мм и более). Сцепление глазури с черепком можно повысить, вводя в глазурную суспензию 1-3% пластичных связующих – бентонитовых глин или разжижающих добавок.

Плешины – неглазурованные участки изделия – появляются от попадания масла на эти участки, а также при малом содержании пластичной глины в шликере.

Отслаивание глазури возникает тогда, когда коэффициент термического расширения глазури меньше, чем черепка. В этом случае глазурный слой при отверждении испытывает напряжение сжатия и, будучи упругим, стремится изогнуться и оторваться от поверхности черепка. Развитию этого порока способствует и чрезмерно тонкий помол глазури. Глазурь отслаивается и при пережоге фаянсового черепка.

Пузыри (прыщи) – различного рода вздутия на глазурном покрове: образуются они при быстром подъеме температуры обжига в интервале 800 – 1000 °С. Вследствие этого газы, выделяющиеся в черепке, не успевают удалиться из него до начала расплавления глазури. Опасность возникновения пузырей усиливает наличие карбонатов в керамической массе.

Наколы – точечные впадины, не заполненные глазурью, образуются при заниженной температуре предварительного обжига неглазурованных изделий, недостаточной толщине (0,5-0,6 мм) глазурного слоя. Заплыванию наколов способствует понижение поверхностного натяжения.

Плохой розлив, волнистость, слабый блеск глазури могут появиться при недостаточно тонком помоле, плохом смешении компонентов перед фриттованием и неудовлетворительном проплавлении фритты.

Подтеки возникают при чрезмерной плотности глазурного шликера.

Лекция 23

Стеновая керамика и фасадная керамика

Современные размеры кирпича были узаконены стандартом в 1927 г. В соответствии с ним кирпич выпускают размерами 250x120x65 (рисунок 18) и 250x120x88. Масса одного кирпича не должна превышать 4,3 кг. Поэтому утолщенный кирпич обычно выпускают с пустотами.

Приняты следующие названия граней кирпича: постель, ложок, тычок. Средняя плотность обыкновенного полнотелого керамического кирпича не должна превышать 1600-1800 кг/м³, пористость – 28-35 %, водопоглощение – не менее 8 %. Основная характеристика качества кирпича – марка по прочности на сжатие и изгиб. Установлено 8 марок от 75 до 300. По морозостойкости для кирпича установлены четыре марки F15, F25, F35, F50. Стандарт допускает большие отклонения в размерах и форме кирпича из-за большой неравномерной усадки при его изготовлении.

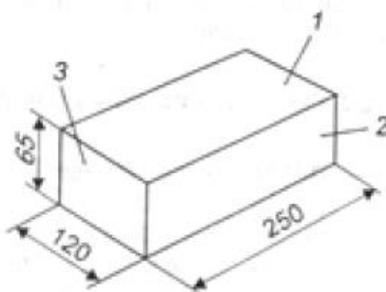


Рисунок 18 – Общий вид обыкновенного керамического кирпича:

1 – постель, 2 – ложок; 3 – тычок

Обыкновенный керамический кирпич благодаря достаточно высоким физико-механическим характеристикам широко применяется в современном строительстве для кладки стен, фундаментов, дымовых труб и других конструкций. Кирпич полусухого прессования нельзя применять для устройства фундаментов и стен влажных помещений. Более индустриальными по технологии изготовления и теплотехническим характеристикам являются пустотелые керамические кирпичи и блоки размерами: 250х120х138, 380х120х138, 250х250х138. Наличие пустот не только снижает массу изделий, но и ускоряет и облегчает процессы сушки и обжига. У них гораздо меньше дефектов, а прочность их такая же, как у полнотелого кирпича.

Пустотелыми считают камни, объем пустот у которых составляет более 13 %. Форма и размер пустот могут быть различными. Расположение пустот преимущественно вертикальное. Пустотелые камни нельзя применять для кладки конструкций, контактирующих с водой. Замерзание воды, попавшей в пустоты, может разрушить камень.

Фасадная керамика

К фасадной керамике относятся изделия, отличающиеся небольшой массой, достаточной прочностью и высокими декоративными свойствами (кирпич и камни керамические лицевые, ковровая керамика, плитки фасадные и др.). Сырьем для лицевого камня и кирпича служат легкоплавкие или тугоплавкие глины. Технология производства аналогична производству обыкновенного кирпича. Выпускают их сплошными и пустотелыми с различной фактурной поверхностью (зернистой, бороздчатой и пр.), цветом

от кремового до темно-красного, получаемого с использованием ангобирования.

Керамические плитки – (ГОСТ 13996-93) выпускают следующих размеров, мм: фасадные – 250x140x10, цокольные – 150x75x7, типа «кабанчик» – 125x60x7 мм и др. Они могут быть рядовыми и специального назначения с глазурованной и неглазурованной, гладкой или рельефной лицевой поверхностью. Сырьем являются беложгущиеся или цветные глины. Формуют плитки чаще на ленточном вакуум-прессе. Водопоглощение их 2-8 %, морозостойкость не менее 35 циклов.

Ковровая керамика – мелкоразмерные плитки различных цветов, набираемые в «ковры» наклеиванием их лицевой поверхности на бумажную основу. Размеры плиток 48x48x2 и 22x22x2, ковров – 724x464 и 672x424 мм. Водопоглощение не более 12 %, морозостойкость не менее 25 циклов.

Лекция 24

Изделия для внутренней облицовки и оборудования зданий

Керамические плитки применяют для придания зданиям санитарно-гигиенических и художественно-декоративных качеств, а также для защиты конструкций от действия влаги и огня. Выпускают плитки для облицовки стен и полов.

Для внутренней облицовки стен жилых и общественных зданий изготавливают плитки квадратными, прямоугольными и фасонными размером, мм: квадратные 200x200, 150x150 и 100x100 без завала и с завалом с одной или нескольких сторон;

прямоугольные 200x150, 200x100, 150x100, 150x75, 150x25 с завалом и без завала; фасонные – угловые, карнизные, плитусные, фигурные. Бывают гладкие, рельефные, глазурные и с рисунком.

Технические требования к плиткам регламентированы ГОСТ 6141-91 (СТ СЭВ 2047-88). Водопоглощение их не должно превышать 16 %, предел прочности при изгибе не менее 12 МПа, они должны обладать термической стойкостью. В зависимости от вида сырья бывают плитки майоликовые и фаянсовые. Первые изготавливают из легкоплавких глин с добавкой до 20 % мела, вторые – из огнеупорных глин с добавкой кварцевого песка и плавней.

Плитки для полов изготавливают неглазурованными, глазурованными, с гладкой или рельефной поверхностью, квадратной, прямоугольной, треугольной, шести-, четырех-, пяти-, восьмигранной и фигурной формы, одноцветными и многоцветными. Наиболее распространенный размер 150x150x11 мм. Технические требования регламентированы ГОСТ 6787-2001 (с изм.). Водопоглощение их должно быть не более 3,8-5 %, истираемость не более 0,07—0,06 г/см².

Сырьем для производства плиток для полов служат высокосортные пластичные глины с отощающими и понижающими температуру плавления добавками. Для подготовки массы используют мокрый и полусухой способы. Формуют плитки из пресс-порошка на полуавтоматических гидравлических или автоматических механических прессах при давлении 25-30 МПа, а обжигают при температуре 1150-1250 °С.

Мозаичные плитки для полов изготавливают двух видов: квадратные со стороной квадрата 23 и 48 мм и толщиной 6 и 8 мм

и прямоугольные размером 48х23 и толщиной 6 и 8 мм. Ковры из них изготавливают размером 398х598 мм, толщина шва между плитками 2 мм.

Для внутреннего оборудования зданий применяют санитарно-технические изделия: фаянсовые, полуфарфоровые и фарфоровые умывальники, унитазаы, бачки, мойки, ванны, раковины и др. Сырьем для их производства являются беложгущиеся огнеупорные глины, каолины, кварц и полевоы шпат. Формуют изделия методом литья в гипсовые формы с последующими сушкой и двухкратным обжигом. После обжига изделия должны иметь гладкую, ровную и чистую поверхность, равномерно покрытую глазурью (прозрачной или глухой).

Все виды санитарно-технических изделий должны соответствовать требованиям стандартов или ТУ на изделия, общим Техническим условиям (ГОСТ 15167-93).

Керамические умывальники изготавливают полукруглой, овальной, прямоугольной и трапециевидной формы, чаще следующих размеров: 550, 420, 150 мм (длина, ширина и глубина чашки). Керамические унитазаы изготавливают тарельчатые, козырьковые, с цельноотлитыми и приставными полочками для присоединения керамических смывных бачков.

Керамические писсуары изготавливают как настенные, так и напольные.

Институтом НИИСтройкерамики разработан для серийного производства гарнитур, включающий умывальник и унитаза. Он может дополняться рукомойником, мыльницей, крючками, полкой, светильником, бумагодержателем.

Лекция 25

Специальные виды керамических материалов

Санитарно-техническую керамику (раковины, унитазы, трубы) изготавливают из фаянса и фарфора.

Фаянс – тонкая керамика, получаемая из беложгущихся глин (60...65 %), кварца (30...35 %) и полевого шпата (3...5 %). Отформованное и высушенное изделие дважды подвергают обжигу: первичному, и после нанесения глазури повторному. Глазурование фаянса необходимо, так как он имеет пористый черепок ($P = 20...25 \%$) и высокое водопоглощение.

Фарфор – изделия тонкой керамики. Его получают так же, как и фаянс, несколько изменяя состав сырьевых компонентов (большее (до 20...25 %) содержание полевых шпатов). Фарфор имеет плотный полностью спекшийся черепок, просвечивающий в тонком слое. Фарфоровые изделия санитарно-технического назначения также покрывают глазурью для придания им гладкости и улучшения санитарно-гигиенических свойств.

Керамические санитарно-технические изделия отличаются декоративностью, универсальной химической стойкостью; благодаря твердой и гладкой поверхности они легко чистятся, длительное время сохраняя свои свойства. Недостаток таких изделий, как и керамики в целом, – хрупкость. Но несмотря на это керамика остается лучшим материалом для санитарно-технических изделий.

Канализационные трубы изготавливают из пластичных тугоплавких глин и покрывают глазурью снаружи и изнутри, что обеспечивает их полную водонепроницаемость, химическую стойкость и высокую пропускную способность. Они рассчитаны на

давление 0,2 МПа. Длина их составляет 800-1200 мм, диаметр 150-600 мм.

Огнеупорные керамические материалы

Огнеупорные материалы получают по керамической технологии из различных сырьевых компонентов. Их разделяют на огнеупорные (температура размягчения 1580...1770 °С), высокоогнеупорные (1770...2000 °С) и высшей огнеупорности (>2000 °С).

В зависимости от химико-минералогического состава огнеупоры могут быть кремнеземистые, алюмосиликатные, магнезиальные, хромитовые, графитовые [15,16].

Кремнеземистые огнеупоры (основной компонент – SiO_2) по строению могут быть стеклообразные (кварцевое стекло) и кристаллические (динасовые огнеупоры). Динасовые огнеупоры получают обжигом кварцевого сырья при температуре около 900 °С (молотый кварцевый песок с добавкой известковой или другой связки). Огнеупорность этих материалов – 1600...1700 °С. Их применяют для устройства сводов стеклоплавильных и стекловаренных печей. Кварцевое стекло хорошо работает при температурах до 1000 °С; при более высоких температурах оно расстекловывается (кристаллизуется) и крошится.

Алюмосиликатные огнеупоры делят на три группы: полукислые, шамотные и высокоглиноземистые. Полукислые огнеупоры изготавливают обжигом кварцевых пород на глиняной связке. Огнеупорность этих материалов – 1580...1700 °С. Шамотные огнеупоры получают обжигом смеси шамота и огнеупорной глины. Они отличаются термостойкостью и шлакоустойчивостью. Их огнеупорность составляет до 1500 °С. Высокоглиноземистые огнеупоры содержат более 45 % глинозема. Их получают из бокситов.

При повышении содержания глинозема до 60 % огнеупорность этих материалов может достигать 2000 °С. Применяют их для кладки доменных и стекловаренных печей.

Лекция 26

Легкие заполнители

Керамзит – легкий пористый материал ячеистого строения в виде гравия, получаемый при обжиге легкоплавких глинистых пород, способных вспучиваться при быстром нагревании до 1050-1300 °С. Применяется как заполнитель для легких бетонов и в качестве теплоизоляционных засыпок. При обжиге глины, содержащей 6-12 % оксидов железа, 2-3 % щелочных оксидов и до 3 % органических примесей, происходят размягчение материала и выделение газов и паров воды. Последние вспучивают массу, образуя в ней поры. В момент интенсивного газовыделения происходит спекание материала с образованием закрытых пор. В зависимости от размера зерен керамзитовый гравий делят на следующие фракции: 5-10, 10-20 и 20-40 мм. Зерна менее 5 мм относят к керамзитовому песку. Предел прочности при сжатии керамзитового гравия в зависимости от марки – 0,3-5,5 МПа, водопоглощение 15-25 %, морозостойкость не менее 15 циклов. Марки в зависимости от насыпной плотности: 150-600 через 50, 700 и 800.

Аглопорит – пористый материал, получаемый спеканием гранул из смеси глинистого сырья с углем. Насыпная плотность его 300-1000 кг/м³, прочность аглопоритового щебня 0,3-3 МПа [15].

Библиографический список

1. Авгутиник А.И. Керамика / А.И. Авгутиник. – М.: Промстройиздат, 1957.
2. Агабелянц Э.Г. Второе рождение материалов / Э.Г. Агабелянц. – Киев.: Наукова думка, 1983.
3. Айрапетов Д.П. Архитектурное материаловедение / Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1983.
4. Айрапетов Д.П. Материал и архитектура / Д.П. Айрапетов. – М.: Стройиздат, 1978.
5. Акунова Л.Ф. Материаловедение в технологии производства художественных керамических изделий / Л.Ф. Акунова, С.З. Приблуда. – М.: Высшая школа, 1979.
6. Будников П.П. Технология керамики и огнеупоров / П.П. Будников. – М.: Гос. изд-во лит-ры по строит. материалам, 1950.
7. Бурлаков Г.С. Основы технологии керамики и искусственных пористых заполнителей / Г.С. Бурлаков. – М.: Высшая школа, 1972.
8. Гостин Н.Я. Производство керамических строительных материалов / Н.Я. Гостин. – М.: Высшая школа. 1965.
9. Канаев В.К. Новая технология строительной керамики / В.К. Канаев. – М.: Стройиздат, 1990.
10. Мороз И.И. Технология строительной керамики / И.И. Мороз. – Киев.: Высшая школа, 1980.
11. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики / В.Ф. Павлов. – М.: Стройиздат, 1974.
12. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики / М.И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1974.
13. Рыбьев И.А. Общий курс строительных материалов / И.А. Рыбьев. – М.: Стройиздат, 1987.
14. Сайнабулатов С.Ж. Производство керамического кирпича / С.Ж. Сайнабулатов. – М.: Высшая школа, 1989.
15. Юшкевич М.О. Технология керамики / М.О. Юшкевич. – М.: Стройиздат, 1969.
16. Юбельт Р. Определитель горных пород / Р. Юбельт. – М.: Мир, 1977.