

**Г. А. Сейлханова
Н. С. Ашимхан**

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ

Учебное пособие



Алматы 2020

Г. А. Сейлханова
Н. С. Ашимхан

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ

Учебное пособие

Стереотипное издание

Алматы
«Қазақ университеті»
2020



УДК 661.315.612.5(075.8)

ББК 35.41я73

С 31

*Рекомендовано Ученым советом факультета
химии и химической технологии КазНУ им. аль-Фараби*

Рецензент:

доктор химических наук, профессор **М.К. Алдабергенов**

Сейлханова Г.А., Ашимхан Н.С.

С 31 Химическая технология керамики: учебное пособие /
Г.А. Сейлханова, Н.С. Ашимхан. – Стер. изд. – Алматы: Қазақ
университеті, 2020. – 70 с.

ISBN 978-601-04-1094-7

В учебном пособии представлены теоретические основы производства керамики, физико-химические свойства керамики, подробно рассмотрены основные технологические этапы получения керамических изделий. Учебное пособие содержит лабораторные работы по определению некоторых характеристик керамики. С целью улучшения усвоения теоретического материала, а также для контроля знаний студентов в пособии имеются тестовые вопросы. Пособие может быть использовано при изучении дисциплин «Химическая технология силикатных материалов», «Химическая технология керамики», «Основы технологии силикатных материалов».

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по химико-технологическим специальностям, а также может быть использовано преподавателями и сотрудниками, работающими в области получения силикатных материалов.

УДК 661.315.612.5(075.8)

ББК 35.41я73

ISBN 978-601-04-1094-7

© Сейлханова Г.А., Ашимхан Н.С., 2020

© КазНУ им. аль-Фараби, 2020



ВВЕДЕНИЕ

Керамика – первый искусственный материал в истории человечества. Еще в первобытную эпоху люди научились использовать полезные свойства глины – ее пластичность при соединении с водой, способность высыхать на воздухе и сохранять заданную форму, а затем под действием огня превращаться в новый материал, который называется *керамикой*. Уникальные свойства керамики были по достоинству оценены уже в глубокой древности. Именно поэтому самое широкое применение и популярность керамика получила в бытовой сфере – при изготовлении различного рода контейнеров.

По данным современной науки, зарождение технологии изготовления керамической посуды связывают с Восточной Азией. 13–10 тыс. лет назад, на рубеже двух культурно-исторических эпох – палеолита (древнего каменного века) и неолита (нового каменного века) первобытные обитатели Японских островов, южной части российского Дальнего Востока и Восточного Китая научились лепить из глины сосуды, обжигать их в костре и получать достаточно прочные герметичные контейнеры для приготовления и хранения пищи, продуктов и других хозяйственно-бытовых целей. Древнейшая глиняная посуда была примитивной по форме, отделке, хрупкой из-за низкотемпературного обжига, однако это был уже первый шаг в длительной истории гончарного мастерства, ставшего важным элементом человеческой культуры и до настоящего времени сохраняющего свое значение.

Возникнув в Восточной Азии в глубокой древности, искусство изготовления керамики прошло многотысячелетний путь постоянного развития и освоения новых технологических рубежей. В настоящее время производство керамических материалов претерпевает бурное развитие в связи с активным совершенствованием традиционной технологии их получения. Резко возросли масштабы использования керамических материалов в новых областях техники.

Основная задача учебного пособия – помочь студентам сформировать представление о керамических материалах и технологии их получения. В пособии дана классификация керами-



ческих материалов, широко используемых на практике. Описываются строение керамики, ее микроструктура, физико-химические свойства, рассматриваются сырьевые материалы (пластичные, непластичные массы), основные этапы производства. В учебном пособии представлены лабораторные работы, направленные на определение некоторых физико-химических свойств керамики, а также тестовые вопросы, позволяющие проводить контроль знаний студентов.



ПОНЯТИЕ О КЕРАМИКЕ

Производство керамических изделий известно с давних времен. Название «керамика» произошло от греческого *keramike* – искусство изготовления изделий из глины. Основной сырьевой материал, применяемый в производстве, – глина. При этом человек научился придавать сырой глине форму и закреплять ее при помощи сушки и высокотемпературной обработки. Поэтому долгое время под керамической технологией понимали производство изделий из глин или глиносодержащих масс путем формования, сушки и последующего обжига. В настоящее время под технологией керамического производства понимают изготовление изделий из минерального сырья или химических веществ путем приготовления массы, формования, удаления временной связки и высокотемпературного обжига с целью придания им камнеподобных свойств.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

На свойства керамических материалов большое влияние оказывает их строение. Поэтому в основу общепринятой классификации положена структура пор керамических материалов. Керамика подразделяется на два класса: пористые, дающие землистый излом и пропускающие воду (без глазурования); спекшиеся, дающие блестящий раковистый излом и не пропускающие воды.

Каждый из этих классов в зависимости от свойств и структуры черепка, его внешнего оформления, а также применения изделий подразделяется на группы (например, грубо- и тонкозернистые, глазурованные и неглазурованные, огнеупорными и кислотостойкие и т.д.). Обычно керамические изделия классифицируют по производственно-отраслевому признаку, позволяющему отразить свойства изделий, область применения и в значительной степени способ производства. Согласно данной классификации, различают следующие группы керамических материалов и изделий:



строительная керамика – изделия, предназначенные для кладки зданий и сооружений (кирпич, керамические камни, блоки), керамические плитки для наружной и внутренней облицовки стен и покрытия полов, изделия для подземных коммуникаций (канализационные и дренажные трубы), санитарно-технические изделия, черепица, теплоизоляционные керамические материалы (керамзит, аглопорит);

огнеупорные материалы – изделия, применяемые для кладки промышленных печей, топок и аппаратов, работающих при высоких температурах, а также изделия, используемые в качестве огнеприпаса при обжиге деталей различного назначения;

химически стойкие материалы – изделия, предназначенные для работы в агрессивных средах, заменяющие или защищающие металлические части аппаратов, машин в промышленности;

тонкая керамика – хозяйственная фарфоровая и фаянсовая посуда, художественные и декоративные изделия, химическая посуда и другие виды изделий;

техническая и специальная керамика – материалы и изделия со специфическими свойствами, применяемые авиационной, ракетно-космической, атомной технике, радиоэлектронике, электротехнике.

2. СТРОЕНИЕ КЕРАМИКИ

Строение керамики определяется взаимным распределением и сочетанием составляющих ее фаз. Практически все керамические материалы являются сложными системами, состоящими из трех основных фаз – кристаллической, стекловидной и газовой.

Кристаллическая фаза является основной, она определяет фазовый состав, свойства и группу керамического материала. В структуре может быть одна или несколько кристаллических фаз, находящихся в различных соотношениях. Кристаллическая фаза представлена в основном кристаллами муллита, а также частицами кварца и каолинистого остатка, не растворившимися в стекловидной фазе. Так, на долю кристаллической фазы в фарфоре приходится около 30%. Муллит, имеющий игольчатое волокнистое строение, обладает высокими механической проч-



ностью и химической стойкостью, малым термическим расширением и в связи с этим высокой термической стойкостью.

Стекловидная фаза находится в керамическом материале как прослойка между кристаллическими составляющими и выполняет в нем цементирующую роль. Количество и состав стекловидной фазы определяются наличием примесей и вводимыми в состав массы плавнями. Стекловидная фаза представляет собой расплав полевого шпата с частично растворившимися в нем зернами кварца и глинозема. Иногда встречается полевошпатовое стекло с кристаллами муллита. Стекловидная фаза способствует повышению просвечиваемости черепка. С повышением стекловидной фазы уменьшаются прочность и термическая стойкость.

Газовая фаза представляет собой воздух или другие газы, содержащиеся в порах материала. Керамические материалы – это сочетание твердого вещества (кристаллические) с пустотами – порами.

Взаимное распределение, физико-химическая природа и количественное соотношение кристаллической, стекловидной и газовой фаз определяют строение керамического материала.

В строении керамики различают микроструктуру и текстуру. Под *микроструктурой* понимают природу кристаллических фаз, состав стекловидной фазы, а также их сочетание с порами. *Текстура* определяет зерна и поры в материале, их размеры, объем, взаимное расположение. Микроструктура и текстура керамики зависят от многих факторов, в основном, от вида исходного сырья, технологических приемов их обработки и подготовки массы, методов формования, физико-химических процессов, протекающих при спекании.

Для полной характеристики микроструктуры, кроме данных о пористости, необходимо знать количество, размер, форму и распределение каждой из составляющих сложной керамической системы.



3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ

3.1. Пористость, плотность, проницаемость

В керамическом материале наряду с основными структурными составляющими (кристаллической и стекловидной фазами) имеются пустоты (поры), заполненные воздухом или газом. Размер, суммарный объем и характер распределения пор влияют на свойства керамики.

Поры в керамике разнообразны по форме и очертаниям. Поры подразделяют на закрытые, т.е. недоступные для проникновения жидкости и газа, и открытые, которые в свою очередь могут быть тупиковыми или каналобразующими.

Наиболее полную и правильную характеристику пористости керамики дают интегральные и дифференциальные кривые распределения пор по их размерам. Однако получить данные характеристики практически сложно, поэтому пористость керамики принято определять следующими косвенными показателями:

- истинная плотность $\rho_{\text{и}}$ – масса единицы объема материала, исключая поры, кг/м^3 ;
- кажущаяся плотность $\rho_{\text{к}}$ – плотность материала, включая поры, кг/м^3 ;
- истинная пористость $\Pi_{\text{и}}$ – отношение суммарного объема открытых и закрытых пор к общему объему материала, %;
- кажущаяся, или открытая, пористость $\Pi_{\text{к}}$ – отношение объема пор, заполняемых жидкостью, к общему объему материала, %;
- закрытая пористость – находится из выражения $\Pi_{\text{з}} = \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{к}}$;
- водопоглощение B – отношение массы воды, заполняющей поры материала при его кипячении, к массе сухого материала, %.

Тогда истинную и кажущуюся пористость можно найти из выражений

$$\Pi_{\text{и}} = (\rho_{\text{и}} - \rho_{\text{к}}) / \rho_{\text{и}} \cdot 100 = (1 - \rho_{\text{к}} / \rho_{\text{и}}) \cdot 100 \text{ и } \Pi_{\text{к}} = B \rho_{\text{и}},$$

где $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{и}}$ – относительная плотность.



Пористость – в зависимости от пористости керамические материалы делятся на спекшиеся и пористые. Истинная пористость полностью спекшейся керамики составляет 3-5%, кажущаяся – менее 0,1%. Пористость и водопоглощение используются в технологии в качестве критериев степени спекания керамики и для различных ее видов имеют разные значения.

Плотность керамики определяется плотностью составляющих ее кристаллических фаз. Она колеблется от 2250-2800 кг/м³ для силикатной керамики до 4500-9000 кг/м³ для керамики на основе тяжелых оксидов. По изменению плотности можно судить о степени закристаллизованности керамики, выделении той или иной кристаллической фазы, наличии полиморфных превращений.

Проницаемость керамики определяется количеством каналовобразующих пор. Она характеризуется коэффициентом проницаемости, который показывает, какое количество жидкости или газа проходит в единицу времени через единицу площади и толщины образца при перепаде давлений.

3.2. Механическая прочность и термохимические свойства

Керамика при обычных температурах относится к хрупким материалам, которые способны разрушаться при небольшой упругой деформации. Пластическая деформация при этом отсутствует. Теоретическая прочность керамических тел кристаллического строения, рассчитанная по их межатомным связям, равна примерно $(1-5) \cdot 10^5$ МПа. Однако реальная прочность керамики гораздо ниже – $10 \cdot 10^3$ МПа, что обусловлено особенностями ее строения. Кристаллическая фаза керамики практически всегда имеет дефектную структуру как на макро-, так и на микро-уровне вследствие наличия примесных ионов, дислокации, вакансий, границ зерен, пустот, включений других фаз.

Уменьшение прочности может быть также вызвано микротрещинами на поверхности материала, являющимися концентраторами напряжений и способствующими разрушению материала. Если удастся в значительной степени избежать дефектов решетки и поверхностных микротрещин, то прочность материала приближается к теоретической.



Характер разрушения керамики зависит от вида прикладываемой нагрузки. Поэтому прочностные свойства материалов оценивают кратковременной прочностью при сжатии, изгибе, растяжении, скручивании. Необходимо отметить, что прочность при сжатии и изгибе наиболее часто оцениваются, так как они более просты методически. Максимальной прочностью обладает керамика кристаллического строения, главным образом оксидная. Например, предел прочности при сжатии глиняного кирпича 10-20 МПа, фарфора 300-500 МПа, некоторых разновидностей технической оксидной керамики 1000-1800 МПа и более. Прочность на изгиб составляет 1/3-1/5, а на растяжение 1/6-1/8 прочности на сжатие.

Прочностные свойства керамики с повышением температуры снижаются. Причем у отдельных видов керамики прочность изменяется неодинаково. Прочность керамики кристаллического строения (например, корундовой) уменьшается плавно, что обусловлено главным образом ослаблением структурных связей при росте температуры. Для муллитовой керамики, содержащей значительное количество стекловидной фазы, на кривой прочности образуется ясно выраженный максимум (рисунок 1). Увеличение прочности в интервале 1000-1200°С объясняется уменьшением вязкости стеклофазы, появлением пластичности, что снижает склонность материала к хрупкому разрушению. Возможно также, что стеклофаза затягивает микротрещины, имеющиеся в структуре керамики.

В ряде случаев керамика используется при высоких температурах, находясь в напряженном состоянии, например под усилием сжатия, изгиба или растяжения. Способность керамических материалов выдерживать постоянные нагрузки при высокой температуре оценивают двумя методами – определением температуры деформации под нагрузкой и снятием кривых ползучести.



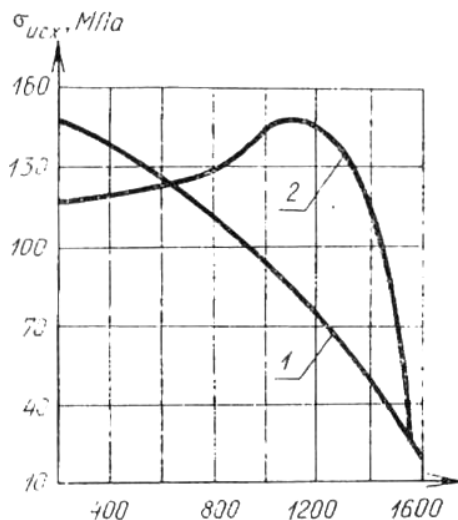


Рис. 1. Изменение прочности керамики при высоких температурах:

- 1 – керамика кристаллического строения;
 2 – керамика, содержащая значительное количество стекловидной фазы

Температура деформации устанавливается при нагрузке 0,2 МПа, при этом фиксируются 4 температурные точки: начала деформации, 4, 10 и 20% сжатия. Этот метод обычно используют для характеристики огнеупорных материалов и определения его оптимальной температуры эксплуатации, которая лежит между температурой начала деформации и 4% сжатия.

3.3. Теплофизические свойства

К теплофизическим свойствам керамики относятся теплоемкость, теплопроводность, термическое расширение.

Теплоемкость керамики определяется количеством теплоты, затрачиваемой при нагревании 1 кг материала на 1°С. Эта теплота усиливает колебательные движения атомов в узлах кристаллической решетки. Теплоемкость – свойство самого вещества, которое не зависит от структурных особенностей кера-



мического изделия, его плотности, пористости, размера кристаллов и зерен, а также других факторов. Теплоемкость керамики зависит от температуры.

Теплопроводность керамики характеризуется количеством теплоты, проходящей через материал при определенном градиенте температуры. В твердых неметаллических веществах, в частности керамике, теплота переносится тепловыми упругими волнами.

Теплопроводность керамики характеризуется коэффициентом теплопроводности λ , которая выражается в Вт/(м·К). Это свойство керамики зависит от температуры, поэтому коэффициенты приводятся в определенном интервале температур. Теплопроводность керамики кристаллического строения сильно снижается с повышением температуры. В керамических материалах с большим содержанием стекловидной фазы теплопроводность монотонно увеличивается при тех же условиях, что объясняется существенными различиями в их строении.

Для уменьшения коэффициента теплопроводности в керамике увеличивают пористость. При этом важную роль играет вид пористости. Наиболее эффективны в этом плане поры, нарушающие цельность материала и вызывающие многочисленные разрывы и трещины.

Термическое расширение керамики является обратимым процессом и обусловлено увеличением расстояния между атомами при росте амплитуды их колебаний под влиянием температуры. Термическое расширение структурных составляющих керамики (кристаллов и стекловидной фазы) различно и зависит от их строения, а также прочности химической связей. Способность к термическому расширению характеризует ТКЛР (температурный коэффициент линейного расширения, α) истинным или средним, т.е. отнесенным к определенному интервалу температур:

$$\alpha_{\text{ист}} = \frac{dl}{l dt}, \quad \alpha_{\text{ср}} = \frac{l t_2 - l t_1}{l t_1 (t_2 - t_1)}.$$



Термическое расширение можно выражать в процентах:

$$\frac{lt_2 - lt_1}{lt_1} * 100.$$

Объемный коэффициент термического расширения для изотропных поликристаллических тел, к которым относится большинство керамических материалов, равняется утроенному линейному $\beta=3\alpha$.

3.4. Термические свойства

К термическим свойствам керамики относятся огнеупорность, постоянство объема и массы при высоких температурах, термическая стойкость.

Огнеупорность – свойство керамики противостоять, не расплавляясь, воздействию высоких температур. Количественно огнеупорность определяется температурой, под влиянием которой образец в виде усеченной пирамиды деформируется и вершиной касается подставки.

По огнеупорности керамические материалы делятся на легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные. К легкоплавким материалам относится керамика на основе красных глин (кирпич, черепица, гончарные изделия и др.), огнеупорность которых не более 1350°C. Тугоплавкие материалы характеризуются огнеупорностью в пределах 1350-1580°C. Это изделия из беложгущихся глин – фарфор, фаянс, кислотостойкая и некоторые виды технической керамики. Материалы, имеющие огнеупорность выше 1580°C, принадлежат к огнеупорным, которые подразделяются на собственно огнеупорные (1580-1770°C), высокоогнеупорные (1770-2000°C) и высшей огнеупорности (>2000°C). К первой группе относятся кислые, полукислые и шамотные огнеупоры, ко второй – высокоглиноземистые, доломитовые и др. Материалами высшей огнеупорности является керамика на основе углерода, чистых оксидов, некоторых некислородных соединений.

Постоянство объема и массы при высоких температурах важно для изделий из огнеупорной и технической керамики,



подвергающихся длительному воздействию более высоких температур по сравнению с температурами их обжига, вследствие чего во время эксплуатации в материалах протекают незавершенные в период обжига физико-химические процессы. При этом происходят необратимые изменения объема изделий. Большинство керамических материалов уплотняется под влиянием температуры, что приводит к их дополнительной усадке.

Термическая стойкость керамических изделий характеризует их способность выдерживать без разрушения резкие смены температуры. Под влиянием температурных перепадов изделие разрушается вследствие появления напряжений, превышающих предел прочности материала изделия. При резком нагревании или охлаждении разные слои изделия имеют различную температуру, поэтому претерпевают неодинаковые объемные изменения, приводящие к возникновению напряжения сдвига или скалывания. Термостойкость зависит от многих факторов – механической прочности и модуля упругости материала, ТКЛР, теплофизических показателей, размеров и форм изделия. Большое значение для термостойкости имеет строение керамики. В плотных спекшихся керамических изделиях термические трещины зарождаются и распространяются с очень высокой скоростью, в то время как в грубозернистом черепке с микротрещиноватой структурой этот процесс идет медленнее за счет амортизирующего, разрежающего действия структурных неоднородностей. Поэтому для повышения термостойкости материала вводят крупнозернистый отощитель или искусственно создают микротрещиноватую структуру.

3.5. Химическая стойкость

Керамические материалы в процессе эксплуатации подвергаются агрессивному действию различных веществ – твердых (пыли, сырья, огнеупоров), жидких (растворов кислот, щелочей, расплавов солей, стекол, шлаков, металлов), газообразных (продуктов горения топлива и химических реакций).

Способность керамики противостоять воздействию агрессивных сред называется *химической стойкостью*. Под влиянием агрессивной среды происходит коррозионное разрушение кера-



мики, что приводит к частичной или полной потере прочности или других свойств материала. Недостаточно высокая химическая стойкость значительно снижает срок службы изделий, что приводит к выходу из строя целых агрегатов.

Химическая стойкость керамики зависит от природы взаимодействующих фаз, их химического и минералогического состава. Скорость химического взаимодействия зависит от внешних факторов, в частности, температуры, давления, концентрации и вязкости среды. На химическую стойкость керамики большое влияние также оказывают ее структурные особенности – пористость, вид и характер распределения пор, состояние поверхности, количественное соотношение и объемное распределение кристаллических и стекловидных фаз. С повышением пористости, особенно проникающей, усиливается химическое разрушение керамики, из-за увеличения поверхности взаимодействия с агрессивной средой. Поэтому в пористой керамике коррозия распространяется по всему объему. В однофазной керамике наблюдается сплошная коррозия, в многофазной возможна избирательная коррозия одной из фаз, менее устойчивой, преимущественно стекловидной.

При воздействии на керамику кислот и щелочей, а также их растворов наиболее уязвимой является стекловидная фаза и от ее химического состава в основном зависит степень растворения. Как известно, кислые фазы и оксиды более устойчивы против кислот, а основные – против щелочей.

Стойкость керамики к газообразным агентам обусловлена как ее химическим составом и структурой, так и составом газа. При взаимодействии керамики с газообразными продуктами возможны химические реакции, в результате которых образуются более легкоплавкие соединения. Примером может служить разрушение сводов стекловаренных печей под воздействием летучих компонентов из стекломассы и продуктов горения топлива.

3.6. Электрофизические свойства

К основным электрофизическим характеристикам керамики относятся электропроводимость, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, электрическая прочность.



Электропроводность керамики обычно определяют по величине, обратной проводимости, – сопротивлению. При этом различают удельное объемное ρ_v (Ом·м) и поверхностное ρ_s (Ом) сопротивления, которые определяются экспериментально. По их значениям можно рассчитать удельные объемную $\chi_s = 1/\rho_s$ (Ом⁻¹) проводимости. Электропроводность материала зависит от природы носителей заряда, их концентрации и подвижности.

Большинство керамических материалов являются диэлектриками, что обусловлено их составом и строением. Кристаллические фазы в керамике обладают главным образом ионным строением решетки. Преимущественно ковалентные связи присущи лишь некоторым керамическим материалам на основе бескислородных соединений. Свободные электроны в керамике почти полностью отсутствуют. Исключение составляет полупроводниковая керамика.

Электропроводность керамики подчиняется правилу аддитивности, т.е. складывается из электропроводностей составляющих ее фаз. Носителями зарядов в керамике являются ионы – ионы стекловидной фазы, которые более подвижны, чем ионы, расположенные в узлах кристаллической решетки. Определенный вклад в проводимость вносят ионы, находящиеся в дефектном положении, а также ионы примесных соединений. Наибольшей подвижностью обладают ионы щелочных металлов, особенно Na^+ , Li^+ . Поэтому в изоляционной и тем более радиотехнической керамике исключают или уменьшают содержание щелочных оксидов. Для снижения электропроводности в состав материала целесообразно вводить крупные катионы двухвалентных металлов, которые оказывают тормозящее действие на движение ионов щелочных металлов.

Поры в керамике имеют низкую электропроводность и принимаются во внимание только при высокой напряженности поля.

Электропроводность керамики, содержащей стекловидную фазу, возрастает с повышением температуры, так как концентрация и подвижность носителей зарядов находятся в экспоненциальной зависимости от температуры: $\chi = \chi_0 e^{\alpha T}$, где χ_0 – электропроводность при 0°С, α – температурный коэффициент.



Электропроводность чисто кристаллической керамики с температурой изменяется медленно и сохраняет довольно низкие значения до очень высоких температур.

Диэлектрическая проницаемость характеризует меру поляризации диэлектрика и выражается отношением заряда конденсатора с диэлектриком между обкладками Q_d к заряду конденсатора с вакуумным или воздушным зазором Q_v : $\epsilon = Q_d / Q_v$.

Поляризация – процесс перемещения структурных элементов диэлектрика со своего оптимального положения под действием электрического поля. При этом электронейтральность кристаллов сохраняется. На механизм поляризации влияют состав и структура керамического диэлектрика. Различают электронную поляризацию, ионную и спонтанную. Электронная поляризация обусловлена смещением центра тяжести и деформацией электронного облака по отношению к положительному ядру атома. Ионная поляризация представляет собой взаимное смещение упруго связанных ионов различных зарядов.

Диэлектрические потери характеризуют энергию, затраченную на перемещение структурных элементов диэлектрического материала под воздействием электрического поля. Диэлектрические потери в керамических диэлектриках складываются из суммарных затрат энергии, связанных с процессами поляризации, сквозной электропроводностью, ионизацией газовой фазы, неоднородностью структуры. С повышением температуры диэлектрические потери в керамике возрастают.

Электрическая прочность характеризует способность керамики выдерживать пробивное действие приложенного электрического поля. Количественно электрическая прочность определяется пробивным напряжением (т. е. напряжением, при котором происходит пробой изделия или образца) и пробивной напряженностью, которая выражается отношением пробивного напряжения к толщине образца: $E_{пр} = U_{пр} / h$ (кВ/см, кВ/мм).

4. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

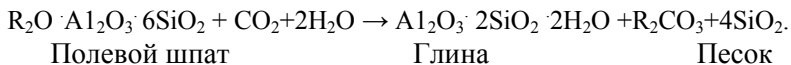
Сырьевые материалы, применяемые для большинства керамических изделий строительного, бытового, технического назначения, можно разделить на пластичные (или глинистые) и непластичные.



4.1. Пластичные материалы

К пластичным глинистым материалам относятся глины и каолины. Глины представляют собой горные породы, состоящие преимущественно из глинообразующих минералов – слоистых алюмосиликатов. В техническом аспекте глины – землистые горные породы, способные при затворении водой образовывать пластичное тесто, которое после сушки обладает некоторой прочностью, а после обжига приобретает камнеподобные свойства.

Глины – продукты разложения и гидратации некоторых горных пород (гранитов, пегматитов, слюд и др.) под воздействием атмосферных агентов. В простейшем случае этот процесс можно выразить так:



Глины и каолины, которые остаются на месте их образования, называются первичными. Породы, которые переносятся в другие места, относятся к вторичным, или отложным, месторождениям. В зависимости от агента переноса различают делювиальные, ледниковые и лессовидные глины. Их соответственно перенесли снеговые или дождевые воды, ледник и ветры.

4.1.1. Состав глин

Глины характеризуются вещественным, химическим и granulometric composition.

Вещественный состав представлен глинистым веществом и примесями. Глинистое вещество состоит из комплекса глинообразующих минералов, придающих глине пластичность. Все глинистые минералы обладают типичной слоистой структурой, похожей на структуру слюды. При смешивании глины с водой последняя входит в межслоевые пространства глинистого минерала и его слои получают возможность сдвигаться один относительно другого по водяной пленке и закрепляться в новом положении. Такая способность минералов объясняет важнейшее свойство глины – ее пластичность.



Наиболее распространенный глинистый минерал – *каолинит* $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Каолинит и его аналоги характеризуются наличием пакетов, состоящих из тетраэдрического и октаэдрического слоев. Благодаря такому строению каолинит содержит наибольшее количество глинозема по сравнению с другими глинистыми минералами и поэтому обладает высокой огнеупорностью. Кристаллическая решетка его отличается плотным строением, прочным сцеплением пакетов. Вот почему каолинит не может присоединять и прочно удерживать большое количество воды, а при сушке легко отдает ее.

Монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (упрощенная формула) имеет кристаллическую решетку, состоящую из трехслойных пакетов. Снаружи располагаются два слоя кремнекислородных тетраэдров, а в центре слой из глинозема – кислородных октаэдров, где возможно изоморфное замещение ионов алюминия другими ионами.

Распространенным материалом в легкоплавких глинах является *иллит*, или *гидрослюда* $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 7\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, который является продуктом гидратации слюд. Кристаллическая решетка данного минерала представлена трехслойными пакетами подобно структуре монтмориллонита, но в ее строении принимают участие щелочные и щелочноземельные металлы, а также происходит изоморфное замещение катионов кремния и алюминия.

Как известно, в природе практически нет мономинеральных глин. Исключение составляет каолин, содержащий в основном минерал каолинит, а также бентониты, которые представлены преимущественно монтмориллонитом. Наиболее часто встречаются полиминеральные глины с преобладанием какого-либо минерала, название которых определяется названием преобладающего минерала.

Кроме глинистых минералов, в глинах имеются примеси – кварцевые, карбонатные, полевошпатовые, железистые и органические.

Кварцевые примеси входят в состав глин в виде кварцевого песка или пыли. Они снижают пластичность породы, улучшают ее сушильные свойства, но повышают трещиноватость изделий после обжига.



Карбонатные соединения (в основном CaCO_3) могут быть тонкодисперсными, рыхлыми и плотными каменистыми включениями. Наиболее вредны каменистые включения, которые при обжиге вызывают образование пустот и иногда приводят к разрыву изделий.

Примесные полевошпатовые пески, остатки неразложившейся породы играют роль плавней и снижают огнеупорность глин.

Железистые примеси присутствуют в виде минералов (лимонита, сидерита), гидроксида, пирита. Соединения железа придают глине и обожженным изделиям окраску от кремового до темно-красного цвета, поэтому чрезвычайно вредны для беложгущихся изделий, например фарфора. Содержание примесей железа ограничено также для электротехнической керамики, так как приводят к снижению электрических свойств. Включения пирита (FeS_2) вызывают при обжиге появление выпалов черного цвета (мушек).

Органика, входящая в состав глин, окрашивает их от серого до черного цвета. При обжиге органические примеси выгорают, создавая внутри восстановительную среду и повышая пористость изделий. Они полезны в производстве теплоизоляционных и нежелательны при получении плотных керамических материалов.

Химический состав глин определяют в основном оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O и Na_2O .

Диоксид кремния присутствует в глинах только в связанном состоянии в глинистых минералах и в свободном — в виде примесей кремнезема. Содержание SiO_2 в глинах составляет 60–65%, а в запесоченных 80–85%.

Глинозем находится в глинах только в связанном состоянии и глинистых и примесных минералах в количестве от 10 до 38%. Чем больше содержание Al_2O_3 , тем выше качество глин.

Оксиды кальция и магния входят в состав карбонатов, а также участвуют в строении некоторых глинистых минералов. Содержание CaO составляет 2–3% и лишь в отдельных разновидностях, глин достигает 20–25%, MgO в глинах не более 3%.

Оксид железа содержится в примесях в связанном состоянии и количестве от долей процента в высококачественных беложгущихся глинах, а в красных кирпичных до 10–15%.



Диоксида титана в примесях содержится не более 1,5%. Он придает обожженной керамике зеленоватые тона.

Щелочные оксиды K_2O , Na_2O иногда входят в состав глинообразующих минералов, но чаще присутствуют в примесных полевошпатных песках, а также в виде растворимых солей. Они способствуют образованию легкоплавких эвтектик.

Химический состав глин определяет их промышленное применение. Глины по содержанию Al_2O_3 и TiO_2 делятся на высокоосновные (>40%), основные (30-40%), полукислые (15-30%) и кислые (<15%).

Гранулометрический состав глин имеет большое значение для технологии изготовления керамических изделий. От него зависят формовочные свойства масс, их отношение к сушке и обжигу. Гранулометрия глин определяется природой глинообразующего минерала, а также видом и количеством примесей. Наибольшей дисперсностью обладает глинистая часть породы, среди глинообразующих минералов наименьший размер частиц типичен для монтмориллонита (намного меньше 1 мкм). В производстве тонкой керамики пользуются шестичленной классификацией гранулометрического состава глин, относя к глинистому веществу только фракцию < 1 мкм. В производстве грубой керамики применяют трехчленную классификацию, относя к глинистой фракции частицы размером <5 мкм, к пылевидной – 5–50, песчаной – от 50 мкм до 2 мм. По содержанию глинистой фракции (<1 мкм) глины делятся на высокодисперсное (>60%), дисперсное (20–60%) и грубодисперсное (<20%).

4.1.2. Свойства глин

Свойства глин условно можно разделить на водные, механические, сушильные и термические.

Водные свойства характеризуют отношение глины к воде и являются определяющими в технологии подготовки массы и формования керамических изделий. Важнейшие водные свойства – влагоемкость, набухание, размокание и тиксотропное упрочнение.

При взаимодействии глины с водой вокруг элементарного глинистого зерна возникает гидратная оболочка. Комплекс глина – вода схематически изображен на рисунке 2. Зерно глинообразующего минерала, как правило, несет отрицательный электрический заряд,



обусловленный изоморфным замещением катионов в кристаллической решетке и наличием нескомпенсированных связей. Под действием электрического поля, создаваемого зерном, молекулы воды приобретают полярность и окружают его поверхность, образуя последовательно мономолекулярный, полимолекулярный и диффузный слои. Каждый слой удерживается с разной силой, убывающей от поверхности зерна к периферии. Поэтому вода в диффузном слое обладает определенной степенью свободы. Состояние системы глина – вода можно характеризовать электрокинетическим потенциалом (ζ -потенциалом), представляющим разность потенциалов между неподвижным слоем ионов и жидкостью, которая соответствует его диффузному слою.

В реальных суспензиях всегда есть растворимые соли, в частности, соли кальция. Образовавшиеся при диссоциации солей положительные катионы могут адсорбироваться на поверхности глинистого зерна либо, окружив себя гидратной оболочкой, находиться в диффузном слое. Формируется так называемый *сорбированный комплекс*.

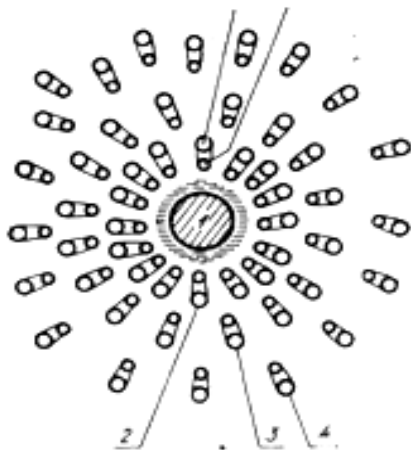


Рис. 2. Схема строения водной оболочки зерна глинообразующего минерала:

1 – зерно минерала; молекулы воды; 2 – мономолекулярного слоя;
3 – полимолекулярного; 4 – диффузионного



Влагоемкость – это способность глины поглощать то или иное количество воды и удерживать ее. При непосредственном контакте с водой глина набухает, т. е. увеличивается в объеме. Как влагоемкость, так и набухание зависят от дисперсности глин и природы глинообразующего минерала. Наибольшим сродством к воде отличаются высокодисперсные глины с минералом, обладающим легко- раздвигающейся кристаллической решеткой. По этой причине высокодисперсная монтмориллонитовая глина имеет большую влагоемкость и может увеличить свой объем в 16 раз.

Способность глин к размоканию необходимо учитывать при мокром способе подготовки массы и приготовлении керамических шликеров. При размокании агрегаты глинистых частиц распадаются на более мелкие частицы, в результате чего образуется полидисперсная система. Процесс размокания начинается с набухания поверхности глиняного куса вследствие раскливающего действия воды. Набухшие наружные слои испытывают напряжение скалывания, отделяются и освобождают поверхность для дальнейшего взаимодействия с водой. Большинство глин хорошо размокает в воде.

Тиксотропное упрочнение – способность глин или глинодержателю масс увеличивать свою прочность или самопроизвольно восстанавливать структуру с течением времени при неизменной влажности.

Механические свойства глин характеризуются пластичностью, степенью деформации пластичной массы при различных механических нагрузках и прочностью при изгибе высушенных образцов. Количественный показатель пластичности условно оценивается числом пластичности P , в зависимости от которого глины делятся на высокопластичные ($P > 25$), среднепластичные (15–25), умеренно пластичные (7–15), малопластичные (< 7) и непластичные, не дающие пластичного теста.

Сушильные свойства свидетельствуют об изменениях, которые происходят в глинах при сушке.

Термические свойства проявляются в процессе нагрева глин при высоких температурах. Они определяются огнеупорностью, огневой усадкой, спекаемостью и интервалом обжига.



По огнеупорности глины делятся на огнеупорные (огнеупорность $>1580^{\circ}\text{C}$), тугоплавкие ($1350\text{--}1580^{\circ}\text{C}$) и легкоплавкие ($<1350^{\circ}\text{C}$). По температуре спекания различают три группы глин: низкотемпературного спекания ($<1100^{\circ}\text{C}$), среднетемпературного ($1100\text{--}1300^{\circ}\text{C}$) и высокотемпературного ($>1300^{\circ}\text{C}$).

По степени спекания, которая зависит от величины водопоглощения (B) черепка после обжига, различают глины сильноспекающиеся ($B < 2\%$), среднеспекающиеся ($2 < B < 5$) и неспекающиеся ($B > 5\%$). Указанные значения водопоглощения должны быть не менее чем при двух температурах спекания с интервалом 50°C .

4.2. Непластичные материалы

Для производства керамических материалов и изделий наряду с глинистым сырьем используются непластичные материалы: отошающие, плавни, выгорающие и специальные.

Отошающие материалы предназначены для снижения пластичности глин и воздушной усадки полуфабрикатов при сушке. Отошители могут быть природными и искусственными. В качестве природных отошителей используются кварцевые материалы – жильный кварц, кварциты, кварцевые пески, кремень. Они не дают усадки при сушке и обжиге, поэтому эффективны как отошители, но данные материалы повышают склонность изделий к появлению трещин и требуют усложнения режима обжига.

Жильный кварц и кремень находят очень ограниченное применение в керамической технологии. Кварциты в основном используются для производства динасовых огнеупоров.

Кварцевые пески применяются для производства различных видов керамики. Для грубой строительной керамики пески должны быть грубодисперсными без крупных каменистых включений. Для тонкокерамических изделий пески должны содержать не менее $93\% \text{SiO}_2$, содержание красящих оксидов Fe_2O_3 и TiO_2 не должно превышать $0,3\%$.

Из искусственных отошающих материалов в производстве керамики применяют шамот и дегидратированную глину. Шамот получают обжигом глин до температуры спекания, исполь-



зуется в производстве огнеупорных изделий, так как в отличие от других отошителей не снижает их огнеупорности и других физико-технических свойств. Имеет значение не только количество шамота, но и его зерновой состав, от которого зависит плотность упаковки сырца. Функции шамота выполняет бой обожженных изделий, который используется в производстве тонкой и строительной керамики.

Дегидратированная глина получается путем низкотемпературного обжига при 600–700°C, при этом она теряет химически связанную воду и пластичность. Такая глина используется для интенсификации процесса сушки в производстве строительной керамики.

Плавни применяются для снижения температуры и повышения степени спекания керамических материалов. Эта цель может быть достигнута за счет низкой температуры плавления используемых материалов, так и путем образования более легкоплавких эвтектик с исходными компонентами керамической массы.

Наиболее часто в керамической технологии плавнями являются полевошпатовые сырьевые материалы, обладающие низкой температурой плавления благодаря наличию в их составах оксидов щелочных металлов. Полевые шпаты представляют собой алюмосиликаты, например, ортоклаз $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, температура плавления 1160–1170°C; альбит $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, температура плавления 1200°C. Полевые шпаты встречаются преимущественно в виде смешанных минералов.

Наиболее ценными свойствами обладает калиевый полевой шпат, характеризующийся значительной вязкостью расплава при высоких температурах, широким интервалом спекания. Например, фарфоровым изделиям он придает просвечиваемость, устойчивость против деформации, более высокие физико-механические свойства, чем при использовании натриево-кальциевых шпатов.

Основные требования, предъявляемые к полевым шпатам, – легкоплавкость и минимальное содержание красящих примесей (Fe_2O_3). Полевые шпаты широко распространены в природе, но их промышленные месторождения ограничены. Поэтому в промышленности используют также заменители полевых шпатов – пегматиты и нефелиновые сиениты.



Пегматиты содержат 60-70% полевых шпатов, проросших кристаллами кварца, и в качестве примесей слюды. Пегматиты характеризуются большими размерами кристаллов, непостоянным химическим составом, поэтому они подвергаются дроблению и обогащению.

Нефелиновые сиениты состоят из смеси минералов нефелина $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, полевых шпатов и пироксенов. Температура плавления около 1200°C , содержание щелочных оксидов 20-30%, поэтому нефелиновые сиениты являются хорошими плавнями. Однако эта горная порода включает большое количество примесей, особенно железистых. Поэтому даже обогащенные нефелины применяются лишь для изготовления изделий, которым не требуется белизна черепка.

В качестве заменителей полевых шпатов можно также использовать граниты. Их целесообразно применять в виде отходов – гранитных отсеков.

Кроме полевошпатовых пород, плавнями могут служить природные сырьевые материалы, сами обладающие довольно высокой температурой плавления, однако способствующие образованию при обжиге легкоплавких соединений с основными компонентами керамической массы. Это мел, мрамор, доломит, тальк и др.

Мел, мрамор CaCO_3 широко используются в комплексе со щелочными плавнями для производства керамических плиток, что уменьшает коэффициент усадки массы в процессе обжига.

Доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ обладает более сильным флюсующим действием, чем чистые карбонаты кальция и магния. Температура диссоциации доломита $765-895^\circ\text{C}$. Разновидности его применяются в производстве малоусадочных керамических плиток на конвейерных линиях, а также для получения глазурей.

Тальк $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ представляет собой мягкий слоистый силикат, обладающий хорошими электроизоляционными, кислотоупорными свойствами, огнеупорность $1500-1550^\circ\text{C}$. Он широко применяется в производстве стеатитовой, форстеритовой, кордиеритовой керамики, огнеупорных капсул, керамических плиток и глазурей.

Выгорающие (органические) добавки используются в производстве пористой и строительной керамики, теплоизоляционных



огнеупорных и строительных материалов. В керамической технологии выгорающие добавки необходимы для интенсификация процесса спекания за счет дополнительного внутреннего источника теплоты, создание восстановительной среды внутри изделия и получение в нем дополнительной пористости.

В качестве выгорающих добавок в керамической технологии применяются древесные опилки, антрацит, тощие каменные и бурые угли, лигнин, мазут, золы ТЭЦ. Назначение и характер действия различных добавок неодинаковы.

Для производства отдельных видов керамики (огнеупорной, технической) применяются специальные материалы, обеспечивающие заданные фазовый состав и свойства изделий.

4.3. Отходы производства

Использование отходов различных производств в керамической промышленности является актуальным с экономической, социальной и экологической стороны. Наиболее перспективными являются отходы горнодобывающей, металлургической, топливной, химической, пищевой и других отраслей промышленности.

Металлургические шлаки являются отходами при выплавке металлов. Они делятся на доменные, сталеплавильные и шлаки цветной металлургии. Химический состав шлаков представлен главным образом оксидами SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO , дополнительно шлаки могут содержать MnO , Fe_2O_3 , FeO , CaS и другие соединения. Минералогический состав шлаков обусловлен наличием силикатов, а также алюмосиликатов кальция и магния и др. Соотношение между кристаллической и стекловидной фазами зависит от скорости охлаждения шлаков.

Металлургические шлаки используются для получения минеральной ваты, в качестве флюсующих добавок в производстве стеновой керамики и керамических плиток.

Топливные шлаки и золы образуются в результате твердофазовых реакций при горении топлива. Их химический состав представлен SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{FeO})$, CaO , органикой, содержание которых непостоянно и зависит от вида топлива и способа его сжигания.



Топливные шлаки и золы используются в производстве стеновой керамики и пористых заполнителей. При этом они выполняют роль отощителей, а также выгорающих добавок вследствие наличия в них механического недожога.

Фосфорные шлаки – отходы электротермического производства фосфора, содержат до 90% CaO и SiO₂. Используются как заменители природного волластонита в производстве малоусадочных керамических плиток.

Отходы химических и пищевых производств используются в технологии керамики недостаточно и в небольших количествах. Так, отход целлюлозной промышленности – сульфитно-спиртовая барда (ССБ) – может применяться как ПАВ при помоле сырья, электролит для шликера, связка при формовании.

5. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИКИ

Производство керамических изделий, несмотря на их разнообразие, состоит из следующих основных этапов: получение керамической массы, формование изделий, сушка, обжиг.

5.1. Получение керамической массы

Данный этап включает следующие стадии: предварительная подготовка сырьевых материалов, смешивание компонентов и подготовка массы.

5.1.1. Предварительная подготовка сырьевых материалов

Состав керамической массы и метод ее подготовки определяют исходя из назначения изделия, его формы и вида исходного сырья. Цель подготовки сырья – разрушение природной структуры материалов до мельчайших частиц для получения однородной массы и ускорения взаимодействия частиц между собой в процессе образования керамики.

Сырье, используемое в керамической промышленности, может быть привозным и местным. Привозные сырьевые материалы поступают на керамические завод со специализированных предприятий, которые ведут их добычу и первичную обработку,



сортировку и обогащение. Местное сырье поступает непосредственно из карьеров, и их обработка проводится на заводе.

Предварительная подготовка исходного сырья должна обеспечить для каждого компонента заданный состав и определенную степень чистоты, влажность. Данный технологический этап включает процессы обогащения с целью удаления примесей, пустой породы или разделения компонентов. Промышленные методы обогащения, в основном, базируются на разделении компонентов по их плотности (гравитационное), магнитной восприимчивости (магнитное), физико-химическим свойствам поверхностей (флотация). Как известно, в технологии керамики обогащают первичные каолины, некоторые глины, кварцевые пески, пегматиты, нефелины.

Подготовительная стадия предусматривает также предварительное дробление сырья и его сушку до влажности, позволяющей проводить дальнейшее измельчение. Необходимо отметить, что при производстве специальных видов керамики могут быть и дополнительные операции. Так в технологии огнеупорной и технической керамики иногда нужна предварительная термообработка (обжиг) сырья для обеспечения необходимых фазовых превращений, уплотнения, удаления летучих примесей и облегчения размола материалов.

Керамическая технология предъявляет жесткие требования к зерновому составу исходных сырьевых материалов, который определяет плотность и пористость изделий, интенсивность процесса спекания изделия. Исходные порошки или массы, применяемые в технологии керамики, в зависимости от их зернового состава делятся на грубо- и тонкозернистые. К грубозернистым относятся составы, содержащие значительное количество зерен размером > 1 мм. В тонкозернистых массах размеры частицы не превышают 0,1 мм. К тонкозернистым относятся также высокодисперсные порошки, в которых материал измельчен до микрометра или его долей. Тонкозернистые и высокодисперсные массы применяются, в основном, в производстве фарфора, фаянса, керамических плиток, технической керамики. Поэтому такие производства названы тонкокерамическими.

Гранулометрический состав тонких порошков и масс обычно оценивается параметром, характеризующим степень измель-



чения материала. Наиболее часто в качестве такого параметра применяется величина остатка на контрольном тонком сите, выраженная в процентах. Например, остаток на сите 0056 (10 085 отв/см²) для фарфоровых масс должен составлять 1–2%. Этот метод является широко применяемым в промышленности в силу простоты осуществления. Однако остаток на сите непосредственно не характеризует распределение частиц по размерам. Но чем меньше заданный остаток, тем больше в порошке тонкодисперсных фракций.

На керамических заводах сырьевые материалы подвергают грубому, среднему и мелкому дроблению, грубому и тонкому помолу. Обычно тонким помолом завершается механическое измельчение материалов, что обеспечивает более интенсивное их спекание, содействует снижению температуры обжига. Способность материала к измельчению определяется такими характеристиками, как его объемная масса, механическая прочность, модуль упругости и коэффициент размолоспособности. Последний показатель представляет собой отношение расхода энергии при измельчении эталонного материала к удельному расходу энергии на измельчение данного материала при одинаковой степени измельчения.

При изготовлении керамических изделий применяют большое разнообразие сырьевых материалов. Поэтому для их измельчения используют разные дробильно-помольные агрегаты. Выбор дробильно-помольного оборудования зависит от физических свойств сырья и требований к продуктам его размола.

Измельчают материалы по открытому и закрытому циклам. По открытому циклу измельченный материал поступает на дальнейшую переработку как готовый продукт, а по закрытому – идет на рассев с последующим возвратом недостаточно измельченных частиц на домол в помольный агрегат.

Для получения глинистых материалов в молотом виде проводят их первичную обработку в ножевых глинорезательных машинах и зубчатых дробильных валках, а после сушки размалывают до зерна размером < 0,5 мм. При этом используются дезинтеграторы, редко бегуны. В дезинтеграторах измельчение происходит при многократном разбивающем действии пальцев, которые закреплены в корзинах, вращающихся навстречу друг другу.



В бегунах материал измельчается при раздавливании и истирании между катками и чашей. Для получения тонких фракций глины распускают в воде, поскольку природные частицы глины имеют размер порядка 1 мкм. Глинистые материалы распускают в мешалках (пропеллерных или лопастных), шаровых мельницах, а также непрерывно действующих жидкоструйных аппаратах.

Непластичные твердые сырьевые материалы подвергаются предварительному (грубому) дроблению в щековых или конусных дробилках, работающих по принципу раздавливающего и разламывающего действия. Принцип действия щековых дробилок: материал раздавливается между подвижной и неподвижной щеками. Степень измельчения в щековых дробилках 3–6. В конусных дробилках материал измельчается путем раздавливания между поверхностями подвижного внутреннего и неподвижного внешнего конусов. Куски дробленого материала должны составлять 10–30 мм.

Среднее и мелкое дробление, грубый помол непластичных материалов выполняются с помощью бегунов, молотковых дробилок, валковых мельниц. В молотковых дробилках измельчение осуществляется при ударе вращающихся молотков по кускам материала и ударе кусков друг о друга, о дробящие плиты. В валковых мельницах материал раздавливается между валками, которые могут иметь гладкую, рифленую, зубчатую, ребристую поверхность. Зазор между валками определяет крупность помола.

В керамической технологии для получения тонкокерамических масс широко используются, в основном, шаровые и вибрационные мельницы периодического действия, работающие по сухому и мокрому способам, и реже струйные мельницы непрерывного действия.

При помоле в шаровых мельницах проблема чистоты материала решается путем футеровки барабана и использования мелющих тел из керамики соответствующего состава. Часто применяют кремневую, корундовую, стеатитовую, резиновую футеровки.

В последнее время для тонкого измельчения непластичных материалов применяют также струйные мельницы непрерывного действия. Помол в них осуществляется без участия мелющих тел при соударении двух струй измельчаемого материала, поэтому загрязнения почти не наблюдается.



Так как для получения тонких и сверхтонких фракций требуются длительные сроки помола, поэтому очень важно решение вопроса об интенсификации данного процесса. В этом отношении подбор оптимальных параметров режима измельчения является одним из направлений, способствующим его решению. К параметрам, влияющим на режим измельчения, относятся: массовое и объемное соотношение мелющих тел и измельчаемого материала, степень заполнения мельницы, скорость вращения, размеры, форма, плотность мелющих тел. Существуют также физико-химические методы интенсификации измельчения. Самый простой – мокрый помол с добавлением воды. Вода препятствует агрегации, так как для этой системы энергетически выгоднее образование водных оболочек. Вода облегчает разрушение твердых частиц. При попадании ее в поверхностные микротрещины возникают капиллярные силы, создающие капиллярное давление, поэтому вода оказывает расклинивающее действие и препятствует смыканию трещин в период между ударами мелющих тел. Мокрый помол благоприятен и с точки зрения охраны труда рабочих, поскольку в цехе нет пыли. Однако мокрый помол имеет и свои недостатки. При нем снижается твердость мелющих тел и футеровки, что увеличивает загрязненность измельчаемого материала.

При сухом и мокром помолах для интенсификации помола применяют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые адсорбируются поверхности твердого тела, тем самым уменьшают энергию образования новой поверхности. К таким веществам относятся сульфитно-спиртовая барда (ССБ), жирные кислоты и их соли, некоторые кремнийорганические жидкости. ПАВ, заполняя микротрещины, оказывают расклинивающее действие. Обычно при помоле вносят 0,1–0,4% ПАВ на сухую массу.

5.1.2. Смешивание компонентов и подготовка массы

В производстве большинства керамических изделий применяются многокомпонентные массы. Каждый компонент должен находиться в строго определенном количестве. Поэтому от точности дозирования компонентов зависят свойства и структура готового керамического изделия.



Для дозирования компонентов используются **питатели и дозаторы**. Питатели применяют для равномерной и непрерывной подачи материалов на транспортирующие устройства, дозаторы и другое оборудование. Питатели могут использоваться в качестве дозаторов, если не требуется высокая точность дозирования. Различают питатели с непрерывным движением по замкнутому контуру (пластинчатые, ленточные, цепные), колебательным движением (лотковые, вибрационные, секторные) и вращательным движением (винтовые, дисковые, барабанные).

Дозаторы бывают циклического и непрерывного действия с ручным, дистанционным и автоматическим управлением. Дозирование в них осуществляется по объему или по массе. Объемные дозаторы проще по устройству, однако, точность дозирования у них ниже, чем у весовых. Наиболее совершенными являются автоматические весовые дозаторы, которые используют для дозировки порошкообразных материалов и жидкостей.

Исходные материалы смешиваются для увеличения поверхности раздела между частицами разноименных компонентов и повышения однородности массы, т. е. для уменьшения различий в составе отдельных участков смеси. Количественно определить поверхность раздела между компонентами невозможно, поэтому при оценке качества смешивания обычно проверяют однородность массы. Критерием оценки служат содержание какого-либо компонента, влажность, потери при прокаливании, зерновой состав. Для количественной оценки применяют среднее квадратичное отклонение

$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - A_{cp})^2},$$

где N – число проб; A_i – частное определение по отдельной пробе; A_{cp} – среднее значение характеристики.

Характер изменения среднего квадратичного отклонения во времени представляет собой кинетику процесса смешивания. Качество смешивания выражается коэффициентом вариации v , который определяется по следующей формуле:

$$v = (S/A_{cp}) \cdot 100$$



Если $v = 3-4\%$, то это свидетельствует о хорошем смешивании, при $v = 6-8\%$ - об удовлетворительном качестве смешивания. Качество перемешивания и скорость приготовления массы зависят от зернового состава компонентов, числа перемешиваемых материалов и их соотношения, степени увлажнения массы, вводимых добавок и способности отдельных частиц к агрегации.

Для получения керамических масс используют смесители непрерывного действия (лопастные, винтовые, барабанные), а также периодического действия (смесительные или центробежные бегуны, бегунковые мешалки, Z-образные смесители, рисунок 3).

Для пластических масс рекомендуются смесители непрерывного действия, так как высокая влажность и наличие пластичных компонентов обеспечивают необходимое сцепление между частицами массы. Следует отметить, что при этом керамическая масса получается рыхлая, с большим содержанием воздуха. Поэтому, полученную массу подвергают вакуумированию, с целью максимального удаления воздуха, что улучшает пластические свойства керамической массы, способствует повышению ее однородности по влажности, составу, устраняет ряд дефектов формования, повышает некоторые физико-химические характеристики готового изделия.

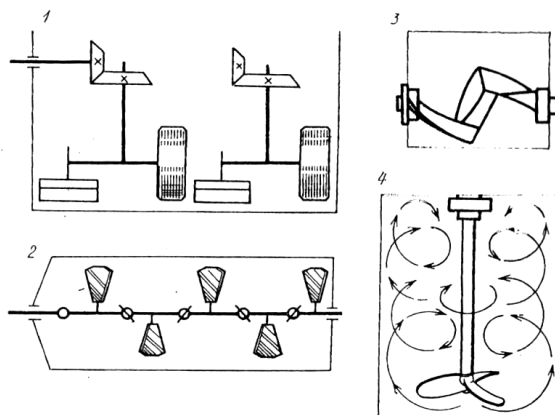


Рис. 3. Схемы смесителей: 1 – бегункового (сдвоенного);

2 – двухвального лопастного; 3 – с Z-образными лопастями;
4 – пропеллерной мешалки

При производстве керамики наиболее часто применяется *совместный мокрый помол* материалов в периодических мельницах или смешивание отдельно приготовленных суспензий. Для глино-содержащих масс смешивают тонкомолотую смесь непластичных компонентов и глинистую суспензию, которую получают роспуском глин и каолинов в воде. Суспензии обычно смешиваются в мешалках пропеллерного типа. Полученный шликер имеет влажность около 50%. Формовочная влажность масс при всех способах формования значительно ниже (полусухое прессование – 2-10%, пластическое формование – 16–25%, методом литья – 30–35%), поэтому необходимо обезвоживание полученной массы. Для этой цели используют различные способы: фильтрование, сушка, электрофорез. Выбор метода зависит от требуемой конечной влажности массы.

Для частичного обезвоживания при получении пластических масс с влажностью около 20% используется фильтрование, которое можно осуществить вакуум-фильтрованием и фильтр-прессованием. Способ вакуумного обезвоживания на непрерывных фильтрах с высокой степенью автоматизации в керамическом производстве используется редко, что обусловлено гидрофильностью глин и высокой дисперсности частиц, в результате чего возникает большое сопротивление движению жидкости по капиллярам. Поэтому для ускорения данного процесса требуются большие перепады давления (1,2–1,6 МПа), которое возможно при фильтр-прессовании.

Для обезвоживания керамических масс используют камерные фильтр-прессы. В фильтр-прессе суспензии обезвоживаются при отделении твердых частиц матерчатыми пористыми перегородками, пропускающими под давлением воду и задерживающими дисперсную фазу. Твердые частицы оседают на поверхности ткани в виде пластов (коржей) с влажностью 22–25% и удаляются из пресса при раздвижке рам после фильтрации. За один цикл в фильтр-прессе получают до 1 т массы. Данный способ обезвоживания имеет недостатки: низкая производительность, периодичность работы, большие габариты и масса.

Чтобы из керамической суспензии получить порошки для прессования, необходим процесс сушки. Известен многостадийный вариант приготовления пресс-порошка, включающий частичное обезвоживание на фильтр-прессах, переработку и сушку



фильтр-прессных коржей, помол и просев порошка. Этот вариант трудоемок и дорог, используется ограниченно при производстве специальных видов керамики. Применение одностадийного приготовления пресс-порошка путем сушки шликера в башенной распылительной сушилке позволило значительно упростить схему производства.

Электрофорез является одним из эффективных методов обезвоживания керамических масс. Данный метод основан на способности твердых частиц глины, несущих отрицательный заряд, передвигаться под действием электрического поля к положительно заряженной стенке сосуда или формы, на которой образуется уплотненный частично обезвоженный пристеночный слой. Основной недостаток указанного метода – повышенная остаточная влажность керамической массы.

5.2. Формование изделий

Формуют керамические изделия, в основном, прессованием, пластическим способом и методом литья.

5.2.1. Прессование изделий из порошкообразных масс

Данный способ формования широко применяется в керамической технологии для получения изделий правильной геометрической формы различного назначения – огнеупоров, стеновой и технической керамики, плиток, электротехнического фарфора.

Исходные керамические массы в виде порошков, используемые для прессования, разнообразны по свойствам и строению. Как известно, они могут быть грубо- и тонкозернистыми, глинодержателями и безглинистыми, иметь в качестве временной связки воду или другие вещества. При этом к ним предъявляется ряд общих требований. Массовая доля временной связки в порошках составляет 2-10%, объемная составляет порядка 8-40%. На объемную долю твердой минеральной части приходится 30-45%, доля временной связки составляет 5-15, воздуха – 45-65%.

Процесс прессования изделий состоит из несколько стадий с различным поведением структурных составляющих порошка. Начало прессования керамического порошка сопровождается его уплотнением за счет перемещения частиц относительно друг



друга и их сближения в направлении движения прессующего штампа. На этой стадии из системы частично удаляется воздух через зазоры между пуансоном и формой. Далее происходит пластическая необратимая деформация гранул с увеличением контактной поверхности между частицами. При этом влага или другая связка выжимается из глубинных слоев гранул на контактную поверхность, что повышает сцепление между частицами. На второй стадии уплотнения может быть защемление и упругое сжатие воздуха, который не успел удалиться из порошка. На третьей стадии развиваются упругие, т. е. обратимые, деформации частиц. Последняя, четвертая, стадия уплотнения прессовки сопровождается хрупким разрушением минеральных частиц с дальнейшим увеличением контактной поверхности и сцепления между частицами. Хрупкая деформация, обычно, носит поверхностный характер, поскольку для массового разрушения необходимо очень высокое прессовое давление. После прекращения действия прессующего усилия и освобождения изделия из формы происходит его упругое расширение, которое может достигнуть 8%. Это нежелательное явление мешает получить полуфабрикат с максимальной плотностью и может служить причиной возникновения ряда пороков изделий.

Таким образом, при прессовании порошков наблюдаются необратимая и обратимая деформации. Необратимая деформация может быть пластической и хрупкой. Минеральные частицы порошков не склонны к пластической деформации, это свойственно только гранулам порошка, которые деформируются и скользят по пленкам связки в начальных стадиях прессования. Необратимая хрупкая деформация минеральных частиц происходит под высокими давлениями, которые при обычной керамической технологии не достигаются. Обратимая, или упругая, деформация присуща как твердым частицам, так и воздуху, заключенному между ними.

В процессе прессования пористость и плотность полуфабриката в различных точках объема неодинакова, особенно у изделий с неудобной для прессования формой. Уменьшают неравноплотность различными конструктивными решениями, в частности, используют двустороннее прессование. При этом самое слабое место с меньшей плотностью и большей пористостью будет в середине прессовки. Наиболее простой способ



двустороннего прессования – использование двух подвижных штампов. Но такой вид прессования можно осуществить с помощью подвижной (плавающей) формы и одного неподвижного (нижнего) штампа (рисунок 4).

При опускании верхнего штампа форма, укрепленная на пружинах, под действием сил трения сдвигается вниз. Положение нижнего пуансона изменяется по отношению к форме, что по законам механики эквивалентно двустороннему прессованию, т. е. масса сжимается с обеих сторон. Усилие пружины должно быть меньше, чем сила трения формы о прессуемый порошок, в таком случае наблюдается равноплотное прессование.

Основным пороком при прессовании порошкообразных масс являются трещины расслаивания. Они возникают на боковых поверхностях изделия в результате упругого последействия запрессованного воздуха и обратимо деформированных частиц материала, упругого сжатия пресс-формы, в которой прессуется изделие, неправильно выбранных режимов прессования.

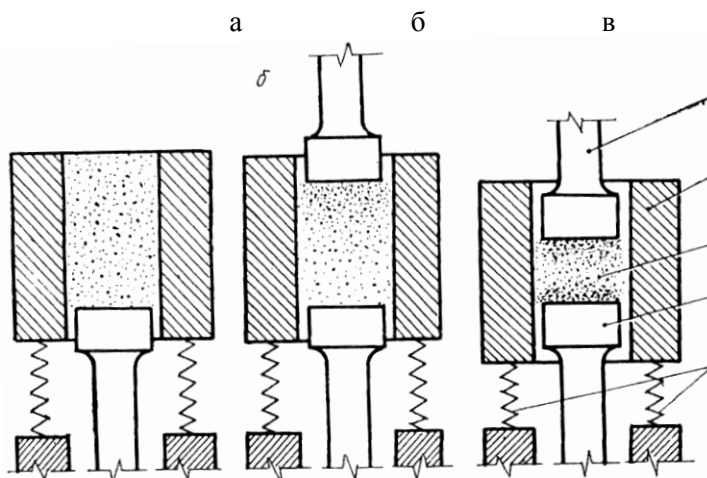


Рис. 4. Схема двустороннего прессования с подвижной формой

а – засыпка порошка; б – начало прессования; в – конец сжатия;
1, 4 – соответственно прессующий и нижний пуансоны; 2 – подвижная форма; 3 – пресс-порошок; 5 – пружины



5.2.2. Формование из пластических масс

В керамической технологии применяются следующие способы пластического формования: выдавливание массы на непрерывных прессах через профильные мундштуки заданного сечения; штампование, или допрессовка, заготовок в формах; вытачивание, или раскатка, в тела вращения; ручная лепка (для художественных или реставрационных работ).

Выдавливание применяется для получения изделий правильной геометрической формы в основном строительного назначения из глиносодержащих масс (кирпич плотный и с отверстиями, дренажные трубы, черепица и др.), а также некоторых изделий технической керамики из пластифицированных масс (стержни, трубки с тонкими стенками).

Штампование (пресс-формовка, штемпельное прессование) заготовок из пластических масс применяется в технологии керамики для получения изделий с более точными размерами, четкими гранями, углами, хорошей поверхностью. Данным способом формуют огнеупоры, кислотоупорный кирпич, огнеприпас.

Тонкостенные изделия, имеющие форму тел вращения (фарфоровые, фаянсовые, изоляторы, гончарная керамика), формуют медом вытачивания (раскатки) на станках с вращающимися формующими органами. Прообразом данного способа является гончарный круг, стол которого гончар вращал ногами, а форму изделию придавал руками или простым приспособлением. По этому принципу в настоящее время работают высокопроизводительные станки, которые служат основой автоматических линий в производстве фарфорофаянсовых изделий.

При получении изделий методом вытачивания (раскатки) применяют гипсовые формы (рисунок 5).

При формовании плоских изделий глиняный пласт помещают на форму и при вращении ее разравнивают роликом (из металла, полиэтилена или фторопласта). Для получения полых изделий, например, чашек, заготовку массы помещают в форму и раскатывают специальным профильным роликом. Пространство между роликом и формой заполняется слоем массы необходимой толщины готового изделия и величины воздушной и огневой усадки. Наружная поверхность изделия формируется за счет поверхности формы, а внутренняя – роликом. Если на внутренней поверхности формы



имеется углубленный рисунок, то он точно воспроизводится на наружной поверхности изделия. Ролики из гидрофобных материалов (фторопласта, полиэтилена) подогревать не нужно.

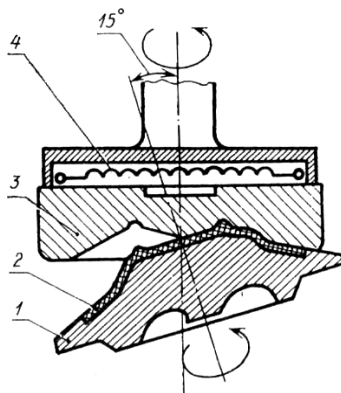


Рис. 5. Схема формования плоских изделий роликовым шаблоном

1 – гипсовая форма; 2 – керамическая масса; 3 – ролик;
4 – нагревательный элемент

5.2.3. Метод литья

В современной керамической технологии изделия из жидких шликеров получают тремя методами: литьем водных шликеров в пористые формы, в которых масса уплотняется за счет удаления воды в поры формы; горячим литьем с использованием термопластических связующих, при этом материал упрочняется вследствие изменения агрегатного состояния связки при соприкосновении шликера с холодной формой; литьем тонких пленок из шликеров на полимерных связках, в этом случае упрочнение пленки происходит в результате быстрого испарения растворителя, в котором растворена связка.

Литье в пористые формы применяют для глинистых и безглинистых шликеров при получении сложных крупногабаритных изделий. В основном используют гипсовые формы, которые просты в изготовлении и обладают большой пористостью (рисунок 6). В шликер добавляют для повышения текучести при минимальной



влажности 0,1-0,2% электролита (соды, жидкого стекла), что обеспечивает лучшее заполнение формы.

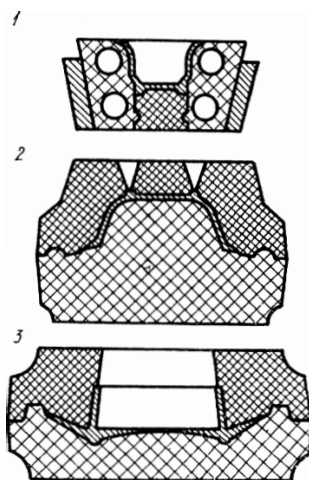


Рис. 6. Гипсовые формы для отливки

1 – сливным способом; 2 – наливным способом;
3 – комбинированным

По характеру взаимодействия шликера с формой различают сливной, наливной и комбинированные способы литья.

При сливном способе, который применяется для изготовления тонкостенных изделий, излишек шликера выливается из формы после образования слоя заданной толщины. Образование на гипсовой форме частично обезвоженного, относительно плотного осадка, являющегося стенками формуемого изделия, называется набором черепка.

При наливном способе шликер заливают в разъемную форму с соответствующими углублениями на внутренних поверхностях, затем оставляют до полного затвердевания и получения монолитного изделия или приставной детали. Плотный слой отливки образуется быстрее, чем при сливном способе, так как влага отбирается из массы с двух сторон. Шликер непрерывно доливают в форму до полного ее заполнения.



Комбинированный способ предполагает отливку одних элементов изделия сливным способом, а других – наливным. Как правило, формы собирают, заливают, разбирают, подсушивают на специальных стендах или конвейерно-поточных линиях, куда шликер подается по шликеропроводам.

В производстве технической керамики применяются литье водных шликеров из непластичных масс. Горячее литье, или термопластическое прессование, применяется для получения малогабаритных изделий сложной формы в основном радиотехнического назначения. В промышленности в качестве термопластической связки, часто используется парафин – неполярное органическое соединение с низкой температурой плавления (55°C). Пленочное литье применяется в основном в радиотехнической промышленности для получения тонких керамических пленок из диэлектрических, сегнетоэлектрических материалов. В качестве связки в таких шликерах используют раствор высокопластичного полимерного вещества в органических растворителях (например, каучука в смеси ацетона и бензина). При этом растворитель быстро испаряется, а оставшееся полимерное вещество придает тонкой пленке прочность, которая необходима для дальнейших технологических операций.

5.3. Сушка

Процесс сушки сопутствует производству большинства керамических изделий. Сушат не только полуфабрикаты, но также сырье, фильтр-прессные коржи, заготовки, шликер. Основная цель сушки – завершение изменения объема полученного полуфабриката, которая обусловлена удалением связки, обеспечение достаточной для обжига прочности, исключение образования внутренних напряжений, приводящих к появлению трещин, деформаций.

Сушка проводится в основном в две стадии: предварительная (подвяливание), в частности, в гипсовых формах и окончательная – без формы. Плоские изделия сушат только на гипсовых формах. Полые изделия после предварительной сушки до влажности 14-16% вынимают из формы, прикрепляют к корпусу приставные детали (ручки, носики и т.д.) смесью шликера с декстрином, после чего изделия окончательно высушивают.



Для сушки применяют конвейерные, конвективные с направленной подачей теплоносителя на изделие, радиационные с электрическим или газовым обогревом и комбинированные сушилки, в которых время сушки значительно сокращается.

Теплоносителями являются воздух и лучистая энергия, выделяемая керамическими панелями и другими поверхностями, обогреваемыми газом и реже лампами накаливания. Указанные сушилки характеризуются высокой производительностью и минимальными затратами ручного труда.

Для сушки керамических изделий могут быть использованы ультразвук, токи высокой частоты и инфракрасное излучение. Современные методы сушки позволяют регулировать температуру и время в зависимости от толщины изделия.

В процессе сушки могут образоваться трещины (при неодинаковой влажности массы), деформации и другие дефекты.

Высушенные изделия перед обжигом зачищают наждачной бумагой, удаляют швы от пресс-форм, посторонние примеси и загрязнения. После зачистки изделия обдувают сжатым воздухом для удаления пыли.

5.4. Обжиг

Все рассмотренные стадии важны при получении керамических изделий, но они не являются определяющими при синтезе керамики. Только при обжиге изделия окончательно формируется структура материала, т.е. происходит спекание керамики, в результате чего сырец превращается в достаточно прочное твердое тело. При спекании керамики протекают различные физико-химические процессы.

Керамические изделия подвергают, как правило, двукратному обжигу – утельному (до глазурирования) и политу (после глазурирования). Применяют также однократный скоростной и бескапельный обжиг. Фарфоровые изделия, декорированные надглазурными красками, подвергают третьему обжигу – муфельному.

Утельный обжиг в зависимости от состава черепка и назначения керамических изделий проводят при температуре 900-1000°C, политой – 1200-1400°C. При утельном обжиге удаляется механически и химически связанная вода, черепок приобретает



необходимую прочность при достаточной для впитывания глазури пористости. Реакции взаимодействия между исходными компонентами массы протекают в твердой фазе.

После утельного обжига керамические изделия подвергают либо декорированию подглазурными красками, глазурованию и политому обжигу, либо глазурованию, обжигу и декорированию. Так, фарфоровые изделия после утельного обжига чаще всего глазуют, а затем подвергают политому обжигу. Тугоплавкую глазурь в виде суспензии наносят методом окунания, обливания и пульверизацией. После глазурования ножку или верхний край фарфорового изделия очищают от глазури, чтобы предупредить сплавление его с подставкой во время политого обжига. Этим фарфоровые изделия отличаются от фаянсовых, которые полностью покрывают глазурью. Перед политым обжигом изделия помещают в шамотные капсулы и тщательно предохраняют от сплавления. Капсулы устанавливают на вагонетку и направляют в туннельную печь. Применяют также бескапсельную загрузку на специальные этажерочные вагонетки.

Политой обжиг является важным процессом в производстве керамических изделий, обуславливающим формирование черепка с необходимыми физическими и химическими свойствами. При политом обжиге происходит расплавление глазури, равномерное распределение ее на поверхности изделия и сплавление с черепком. При обжиге должны строго соблюдаться определенные режим температуры, скорость ее подъема, время выдержки и газовая среда. Нарушение этих требований приводит к образованию дефектов, ухудшающих внешний вид, свойства готового изделия.

Процесс обжига состоит из трех периодов: нагревания, выдержки при максимальной температуре и охлаждения. Основная задача нагревания – нагреть изделие до заданной температуры, избежав его разрушения или появления трещин. Максимальная температура и время выдержки при ней взаимосвязаны. При увеличении температуры можно значительно сократить время обжига. С экономической точки зрения более выгоден относительно короткий обжиг при повышенных температурах, что часто используется в технической керамике. Для керамики с жидкостным спеканием это сделать трудно, так как на количество расплава и его вязкость сильно влияет температура. Период охлаждения так-



же требует определенного режима. Необходимо учитывать, что при охлаждении происходит термическое сжатие изделий, кристаллизация или твердение образовавшегося расплава.

Политой обжиг можно разделить на ряд периодов, каждый из которых протекает при определенном температурном режиме и газовой среде, что обеспечивает постепенное формирование черепка с необходимыми свойствами.

Рассмотрим на примере получения фарфоровых изделий. Первый период протекает при температуре до 900-940°C; скорость подъема температуры 100-140°C в час. Из массы удаляется остаток гигроскопической влаги, происходит разложение глинистых веществ, карбонатов, выгорание органических примесей. В этот период поддерживается окислительная газовая среда. Реакция протекает в твердой фазе и начинается спекание черепка, которое сопровождается усадкой. На поверхности пористого черепка благодаря его высокой каталитической и адсорбционной способности осаждается углерод, выделяющийся при сгорании топлива. Углерод придает черепку серый цвет.

При температуре 500-550°C происходит обезвоживание каолинита с образованием метакаолинита – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. При повышении температуры до 800-900°C метакаолинит разлагается на окись алюминия и кремнезем.

Второй период обжига протекает в сильно окислительной среде при температуре 940-1040°C. Он является подготовительным к самому ответственному этапу обжигу в восстановительной среде. В этот период выравнивается температура, завершается выделение остатков гидратной воды и полностью выгорает сажистый углерод. Если углерод не выгорит до расплавления глазури в третьем периоде, то изделие приобретает серую или буроватую окраску либо покрывается мельчайшими кратероподобными точками – наколами. Вследствие расплавления полевого шпата образуется жидкая фаза, которая цементирует твердые частицы и обуславливает повышение механической прочности черепка. Кроме того, происходит процесс кристаллизации глинозема и начало образования муллита.

Третий период ведется в интервале температур 1040-1250°C в восстановительной среде, которая необходима для перевода окисного железа в закисную форму. Закись железа образует си-



ликат, которые придают черепку голубоватый оттенок. На этом этапе вначале образуется силиманитоподобный ангидрид ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$), а затем муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и кремнезем в виде кристобалита. На этой стадии продолжается спекание черепка, сопровождающееся интенсивной усадкой, так как кристаллические частицы соединяются вязким расплавом. При температуре выше 1200°C вязкость расплава снижается и на границе твердой и жидкой фаз под влиянием поверхностных сил сближаются частицы кварца, продукты разложения каолинита и кристаллы муллита. Образование легкоплавкого силиката железа способствует развитию жидкой фазы. На данном этапе начинается расплавление глазури. Скорость подъема температуры составляет $30\text{--}35^\circ\text{C}$ в час.

Четвертый период является завершающим в процессе формирования черепка. Данный этап начинается при температуре 1250°C и заканчивается при $1380\text{--}1410^\circ\text{C}$; протекает в нейтральной среде. Происходит окончательное спекание черепка, разлив глазури и сплавление ее с черепком. Активнее протекает процесс взаимодействия полевошпатового стекла и аморфного кремнезема из каолинистового остатка, что способствует заполнению промежутков между кристаллами муллита. Одновременно укрупняются кристаллы муллита в полевошпатовом стекле и уменьшаются размеры остаточного кварца. Происходят диффузионные процессы, обуславливающие равномерное распределение кристаллических новообразований в черепке.

Период заканчивается выдержкой изделий при максимальной температуре в течении $1,5\text{--}3,0$ часов. Чем дольше выдержка изделий, тем больше образуется кристаллов муллита. Игольчатые кристаллы муллита, переплетаясь между собой, способствуют повышению механической прочности и термической стойкости. Процесс муллитизации при этом ускоряется за счет растворения кварца в стекле и насыщения его кремнеземом. Образующиеся кристаллы муллита как бы врастают в стекло и нерастворившиеся зерна кварца.

Повышение температуры обжига способствует уменьшению пористости черепка вследствие заполнения пустот стекловидной массой и другими структурными элементами. Однако при повышенной температуре происходит выделение газов из полевошпатового стекла, вздувается черепок и тем самым снижается качество готовых изделий.



Пятый (диффузионный) период обжига соответствует выдержке изделий при максимальной температуре обжига.

Чаще всего для обжига применяют печи непрерывного действия – туннельные, конвейерные с шагающим подом и роликовые щелевые и периодического действия – горны. В печах непрерывного действия обеспечивается более строгий температурный режим, сокращается время обжига и обеспечиваются нормальные условия работы при загрузке и выгрузке. В качестве топлива используют нефть, газ и электроэнергию (в электропечах).

Продолжительность политого обжига в туннельных печах от 18-22 до 32-34 часов. На некоторых предприятиях керамические изделия подвергают однократному бескапельному обжигу, при этом цикл производства сокращается до 3-5 часов что значительно снижает расход топлива, повышается производительность труда, сокращается себестоимость готовой продукции, сокращаются отходы производства. Однократному обжигу подвергают в основном толстостенные изделия, например, кружки, салатники, масленки, сахарницы, которые при глазуровании без утельного обжига не размокают, не деформируются и не разрушаются.

6. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

6.1. Определение влажности керамических материалов

Цель работы: рассчитать влажность керамики.

Необходимые аппаратура, реактивы и растворы:

Чашка фарфоровая

Эксикатор

Шкаф сушильный, обеспечивающий температуру 150°C

Спирт этиловый, 96%-ный раствор

Палочка стеклянная

Тигель фарфоровый

Печь муфельная, обеспечивающая температуру 1000°C

Теоретическая часть

Различают относительную и абсолютную влажность. Относительная влажность представляет собой отношение количества



влаги, удаляемой при сушке, к массе материала с естественной влажностью, выраженное в процентах:

$$w_{отн.} = \frac{g - g_0}{g} * 100$$

Абсолютная влажность есть отношение масса удаленной при сушке влаги к массе абсолютно сухого материала, выраженное в процентах:

$$w_{абс.} = \frac{g - g_0}{g_0} * 100 ,$$

где g – масса пробы до сушки, г;

g_0 – масса пробы после сушки, г.

При анализе силикатных материалов, как правило, определяют относительную влажность.

Порядок выполнения работы

Проведение испытания и обработка результатов

Весовое определение

Естественная влажность сырья (карьерная), вода затворения и гигроскопическая влага составляют общую влажность – $W_{общ.}$. Для ее определения 50-100 г средней пробы испытуемого материала помещают в фарфоровую чашку, охлажденную в эксикаторе и взвешенную на технических весах с точностью до 0,001 г. Пробу сушат в сушильном шкафу в течение 2–4 ч при температуре 110°C до постоянной массы. Второе (контрольное высушивание) проводят в течение 30-40 мин. Процентное содержание влаги находят по формуле

$$w_{общ.} = \frac{g - g_1}{g} * 100$$

где g – масса материала до сушки, г;

g_1 – масса материала после сушки, г.



Спиртовой метод

В заранее взвешенную фарфоровую чашку помещают около 10 г исследуемого материала, взвешивают с точностью до 0,01 г и наливают 15 мл 96%-ного этилового спирта. Навеску перемешивают в спирте стеклянной палочкой и зажигают. После выгорания спирта чашку с навеской несколько охлаждают (до 40°C), добавляют еще 10 мл спирта, перемешивают и зажигают вторично. Если материал имеет значительную влажность (15-25%), то прибавляют по 15 мл спирта, а третий раз – 10 мл. После выгорания спирта чашку с навеской охлаждают и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Влажность вычисляют по ранее приведенной формуле.

6.2. Определение потерь при прокаливании керамических материалов

Цель работы: рассчитать потери при прокаливании (п.п.п.) керамики.

Необходимые аппаратура, реактивы и растворы:

Чашка фарфоровая

Эксикатор

Шкаф сушильный, обеспечивающий температуру 150°C

Тигель фарфоровый

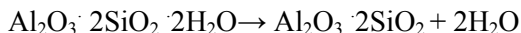
Печь муфельная, обеспечивающая температуру 1000°C

Теоретическая часть

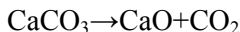
Потерей при прокаливании (п.п.п.) называется убыль в массе прокаливаемой при 1000°C навески материала, выраженная в процентах.

В процессе прокаливании происходят следующие процессы: сначала при температуре 100-110°C удаляется гигроскопическая влага, при температуре свыше 200°C – кристаллизационная вода, входящая в состав минералов, а затем происходит окисление и выгорание органических веществ, после чего удаляется химически связанная вода. Алумосиликаты теряют химически связанную воду в пределах от 450-600 (монтмориллонит) до 500-700°C (каолинит). Каолинит, отщепляя воду, переходит в метакаолинит:

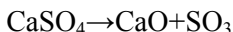




При дальнейшем повышении температуры происходит разложение карбонатов. При температуре 890°C разлагается карбонат кальция с выделением углекислого газа CO_2 :



Разложение сульфатов сопровождается с выделением оксида серы SO_3 :



Окисление сульфидов в сульфаты также сопровождается выделением диоксида и триоксида серы. При прокаливании происходит и окисление соединений двухвалентного железа в соединения трехвалентного, что дает незначительное увеличение массы навески.

Порядок выполнения работы

Проведение испытания и обработка результатов

Для определения 0,5 г воздушно-сухой измельченной пробы помещают в прокаленный и предварительно взвешенный фарфоровый тигель и взвешивают на аналитических весах. Тигель с навеской помещают в муфельную печь и прокаливают в течение 40-60 мин при температуре 950-1000°C.

После прокаливания тигель с навеской охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах, затем повторно прокаливают до постоянной массы.

Расчет ведут по следующей формуле:

$$n.n.n = \frac{g - g_1}{g} - w \left(\frac{100}{100 - w} \right),$$

где g – масса материала до сушки, г;



g_1 – масса материала после сушки, г;

w – содержание влаги, %.

Значительно быстрее определять потери при прокаливании не из отдельной навески, а из навески после определения влаги. В этом случае навеску помещают не в бюкс, а в прокаленный до постоянной массы при температуре 950°C фарфоровый тигель. Прокаленный тигель охлаждают в эксикаторе, взвешивают на аналитических весах, помещают в него навеску материала и высушивают до постоянной массы при температуре 100-110°C. Затем тигель помещают в муфельную печь и прокаливают при температуре 950-1000°C. Потери при прокаливании в процентах в этом случае находят по формуле:

$$n.n.n = \frac{g - g_0}{g} - w \left(\frac{100}{100 - w} \right)$$

где g_0 – абсолютно сухая навеска материала, г.

6.3. Определение щелочестойкости керамических материалов

Цель работы: рассчитать щелочестойкость керамики.

Необходимые аппаратура, реактивы и растворы:

Шкаф сушильный лабораторный по ГОСТ 7365-55

или другой, обеспечивающий температуру 105°C

Печь муфельная с терморегулятором, обеспечивающая температуру до 1100°C

Весы лабораторные аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г

Холодильник стеклянный лабораторный по ГОСТ 9499-70.

Колба коническая по ГОСТ 10394-72

Фильтры обеззоленные «белая лента».

Натрия гидроокись по ГОСТ 4328-77, х.ч., 10, 35%-ные растворы

Кислота соляная по ГОСТ 3118-77, х.ч., 10%-ный раствор



Индикатор метиловый оранжевый по ГОСТ 10816-64, 0,1%-ный водный раствор

Вода дистиллированная.

Порядок выполнения работы

Проведение испытания

1. Определение щелочестойкости проводят в вытяжном шкафу. Из подготовленной пробы зерен берут одновременно две навески по 1 г, высушенные до постоянной массы и взвешенные с погрешностью не более 0,0002 г, помещают в коническую колбу вместимостью 250 см³ и приливают 100 см³ 35%-ного раствора гидроокиси натрия.

Колбу помещают на предварительно нагретую песчаную баню или электроплитку с закрытой спиралью, соединяют с обратным холодильником и кипятят в течение 1 ч. За начало кипения принимают появление пузырьков на поверхности щелочи и движение в ней частиц пробы.

2. Отсоединяют холодильник, колбу снимают и охлаждают в течение 10 мин. Осторожно сливают раствор гидроокиси натрия в стеклянный стакан. В колбу с содержимым приливают 50-60 см³ нагретой до 60°C дистиллированной воды, 30 см³ раствора соляной кислоты и все содержимое переносят на фильтр.

Зерна на фильтре промывают нагретой до 60°C дистиллированной водой до отрицательной реакции на кислоту по индикатору метиловому оранжевому.

3. Зерна с фильтром подсушивают, помещают в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель, прокаливают при 950-1000°C до постоянной массы, охлаждают в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

При определении щелочестойкости оборудования из керамики допускается применять 10%-ный раствор гидроокиси натрия.

Обработка результатов

Щелочестойкость (X) в процентах вычисляют по формуле



$$X = \frac{m_1 * 100}{m},$$

где m_1 – масса зерен керамического материала после испытания, г;

m – масса зерен керамического материала до испытания, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,5%.

6.4. Определение кислотостойкости керамических материалов

Цель работы: рассчитать щелочестойкость керамики.

Необходимые аппаратура, реактивы и растворы:

Шкаф сушильный лабораторный по ГОСТ 7365-55

или другой, обеспечивающий температуру 105°C

Печь муфельная с терморегулятором, обеспечивающая температуру до 1100°C

Весы лабораторные аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г

Холодильник стеклянный лабораторный по ГОСТ 9499-70

Колба коническая по ГОСТ 10394-72

Фильтры обеззоленные «белая лента»

Сита с сетками 08К и 1К по ГОСТ 3584-73

Кислота серная по ГОСТ 4204-77, х.ч.

Кислота соляная по ГОСТ 3118-77, х.ч., 20,4%-ный раствор

Индикатор метиловый оранжевый по ГОСТ 10816-64, 0,1%-ный водный раствор

Вода дистиллированная.

Порядок выполнения работы

Проведение испытания

1. Определение кислотостойкости проводят в вытяжном шкафу. Из подготовленной пробы зерен берут одновременно две



навески по 1 г, высушенные до постоянной массы и взвешенные с погрешностью не более 0,0002 г, помещают в коническую колбу вместимостью 250 см³ и приливают 25 см³ серной кислоты.

Колбу помещают на предварительно нагретую песчаную баню или электроплитку с закрытой спиралью, соединяют с обратным холодильником и кипятят в течение 1 ч. За начало кипения принимают появление пузырьков на поверхности кислоты и движение в ней частиц пробы.

2. Отсоединяют холодильник, колбу снимают и охлаждают в течение 30 мин. Осторожно сливают кислоту, а содержимое колбы переносят на фильтр. Зерна промывают нагретой не менее чем до 60°C дистиллированной водой до отрицательной реакции на кислоту по индикатору метиловому оранжевому.

3. Зерна с фильтром подсушивают, помещают в предварительно прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель, прокаливают при 950-1000°C до постоянной массы, охлаждают в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

4. При определении химической стойкости оборудования из керамики допускается применять 20,4%-ый раствор соляной кислоты.

Обработка результатов

Кислотостойкость (X) в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{m_1 * 100}{m},$$

где m_1 – масса зерен керамического материала после испытания, г;

m – масса зерен керамического материала до испытания, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,5%.



7. ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ

1. **Материалы и изделия, изготавливаемые формованием и обжигом глин:**
 - A) стеклянные
 - B) керамические
 - C) специальные
 - D) воздушные
 - E) гидравлические
2. **Керамические материалы, классифицированные по составу:**
 - A) кислородсодержащие
 - B) глазурованные
 - C) строительные
 - D) пористые
 - E) технические
3. **Керамические материалы, относящиеся к кислородсодержащим:**
 - A) боридные
 - B) карбидные
 - C) силицидные
 - D) нитридные
 - E) силикатные
4. **Керамические материалы, относящиеся к бескислородным:**
 - A) боридные
 - B) карбидные
 - C) силицидные
 - D) нитридные
 - E) силикатные
5. **Керамические материалы, классифицированные по применению:**
 - A) кислородсодержащие
 - B) глазурованные
 - C) строительные
 - D) пористые
 - E) такой группы нет
6. **Керамические материалы, относящиеся к строительным:**
 - A) кирпич
 - B) фарфор
 - C) майолика
 - D) специальная
 - E) фаянс
7. **Керамические материалы, относящиеся к тонкой керамике:**
 - A) кирпич
 - B) фарфор



- С) огнеупоры
 - Д) специальная
 - Е) черепица
- 8. Керамические материалы, классифицированные по структуре и степени спекания:**
- А) кислородсодержащие
 - В) глазурованные
 - С) строительные
 - Д) пористые (грубозернистые)
 - Е) такой группы нет
- 9. Керамические материалы, относящиеся к пористым (грубозернистым) :**
- А) кирпич
 - В) фарфор
 - С) огнеупоры
 - Д) специальная
 - Е) основные
- 10. Керамические материалы, относящиеся к спекшимся (мелкозернистым) :**
- А) кирпич
 - В) фарфор
 - С) огнеупоры
 - Д) специальная
 - Е) фаянс
- 11. Плотность материала, исключая поры:**
- А) истинная пористость
 - В) кажущаяся плотность
 - С) водопоглощение
 - Д) кажущаяся пористость
 - Е) истинная плотность
- 12. Плотность материала, включая поры:**
- А) истинная пористость
 - В) кажущаяся плотность
 - С) водопоглощение
 - Д) кажущаяся пористость
 - Е) истинная плотность
- 13. Отношение суммарного объема открытых и закрытых пор к общему объему материала:**
- А) истинная пористость
 - В) кажущаяся плотность
 - С) водопоглощение



- D) кажущаяся пористость
- E) истинная плотность

14. Отношение объема пор, заполняемых жидкостью, к общему объему материала:

- A) истинная пористость
- B) кажущаяся плотность
- C) водопоглощение
- D) кажущаяся пористость
- E) истинная плотность

15. Отношение массы воды, заполняющей поры материала при его кипячении, к массе сухого материала:

- A) истинная пористость
- B) кажущаяся плотность
- C) водопоглощение
- D) кажущаяся пористость
- E) истинная плотность

16. Выражение для расчета закрытой пористости:

- A) $\Pi_3 = \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{к}}$
- B) $\Pi_{\text{к}} = V \cdot \rho_{\text{и}}$
- C) $\Pi_{\text{и}} = (\rho_{\text{и}} - \rho_{\text{к}}) / \rho_{\text{и}} \cdot 100$
- D) $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{и}}$
- E) $\Pi_{\text{к}} = V - \rho_{\text{и}}$

17. Выражение для расчета истинной пористости:

- A) $\Pi_3 = \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{к}}$
- B) $\Pi_{\text{к}} = V \cdot \rho_{\text{и}}$
- C) $\Pi_{\text{и}} = ((\rho_{\text{и}} - \rho_{\text{к}}) / \rho_{\text{и}}) \cdot 100$
- D) $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{и}}$
- E) $\Pi_{\text{к}} = V - \rho_{\text{и}}$

18. Выражение для расчета кажущейся пористости:

- A) $\Pi_3 = \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{к}}$
- B) $\Pi_{\text{к}} = V \cdot \rho_{\text{и}}$
- C) $\Pi_{\text{и}} = ((\rho_{\text{и}} - \rho_{\text{к}}) / \rho_{\text{и}}) \cdot 100$
- D) $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{и}}$
- E) $\Pi_{\text{к}} = V - \rho_{\text{и}}$

19. Выражение для расчета относительной плотности:

- A) $\Pi_3 = \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{к}}$
- B) $\Pi_{\text{к}} = V \cdot \rho_{\text{и}}$
- C) $\Pi_{\text{и}} = ((\rho_{\text{и}} - \rho_{\text{к}}) / \rho_{\text{и}}) \cdot 100$
- D) $\rho_{\text{к}} / \rho_{\text{и}}$
- E) $\Pi_{\text{к}} = V - \rho_{\text{и}}$



- 20. Формула доломита:**
A) $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
B) CaCO_3
C) $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
D) MgCO_3
E) ZrO_2
- 21. Формула талька:**
A) $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
B) CaCO_3
C) $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
D) MgCO_3
E) ZrO_2
- 22. Керамические материалы, классифицированные по состоянию поверхности:**
A) кислородсодержащие
B) глазурованные
C) строительные
D) пористые
E) тонкая керамика
- 23. Сырьевые материалы, используемые для большинства керамических изделий:**
A) пластичные (глинистые)
B) любые
C) тонкие
D) специальные
E) плоские
- 24. Сырьевые материалы, которые применяются для большинства керамических изделий:**
A) непластичные
B) любые
C) тонкие
D) слоистые
E) плоские
- 25. Непластичные материалы, обеспечивающие заданный фазовый состав и свойства керамических изделий:**
A) пластичные
B) специальные
C) плавни
D) выгорающие
E) отощающие
- 26. Природные отощители в керамической технологии – это:**
A) шамот



- В) полевого шпат
 - С) антрацит
 - Д) дегидратированная глина
 - Е) жильный кварц и кремень
- 27. Природными отощителями в керамической технологии являются:**
- А) шамот
 - В) полевого шпат
 - С) антрацит
 - Д) дегидратированная глина
 - Е) кварциты
- 28. Искусственные отощители в керамической технологии – это:**
- А) шамот, дегидратированная глина
 - В) полевого шпат
 - С) антрацит
 - Д) дегидратированная глина
 - Е) кварциты
- 29. Самые распространенные плавни в керамической технологии – это:**
- А) шамот
 - В) полевые шпаты
 - С) антрацит
 - Д) дегидратированная глина
 - Е) кварциты
- 30. Выгорающие (органические) добавки в керамической технологии – это:**
- А) шамот
 - В) полевые шпаты
 - С) антрацит, мазут, лигнин
 - Д) дегидратированная глина
 - Е) кварциты
- 31. Все керамические материалы по структуре пор подразделяются на:**
- А) 3 класса
 - В) 2 класса
 - С) 4 класса
 - Д) 6 классов
 - Е) 5 классов
- 32. Изделия, предназначенные для кладки и сооружений (кирпич, керамические камни, блоки), – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы



- С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупоры
 - Е) строительная керамика
- 33. Изделия, применяемые для кладки промышленных печей, топок и аппаратов, работающих при высоких температурах, – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 34. Изделия, предназначенные для работы в агрессивных средах, – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 35. Хозяйственная фарфоровая и фаянсовая посуда – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 36. Материалы и изделия со специфическими свойствами, применяемые в авиационные отрасли, – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 37. Керамические плитки для наружной и внутренней облицовки стен и покрытия полов – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 38. Изделия, используемые в качестве огнеприпаса при обжиге деталей различного назначения, – это:**
- А) тонкая керамика



- В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 39. Заменяющие или защищающие металлические части емкостей, аппаратов, машин в химической и других отраслях:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 40. Художественные и декоративные изделия, химическая посуда – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 41. Изделия, применяемые в ракетно-космической, атомной технике, радиоэлектронике, электротехнике, – это:**
- А) тонкая керамика
 - В) химически стойкие материалы
 - С) техническая и специальная керамика
 - Д) огнеупорные материалы
 - Е) строительная керамика
- 42. В выражении для расчета закрытой пористости керамики P_n – это:**
- А) истинная пористость
 - В) кажущаяся плотность
 - С) водопоглощение
 - Д) кажущаяся пористость
 - Е) истинная плотность
- 43. В выражении для расчета закрытой пористости керамики P_k – это:**
- А) истинная пористость
 - В) кажущаяся плотность
 - С) водопоглощение
 - Д) кажущаяся пористость
 - Е) истинная плотность
- 44. В выражении для расчета истинной пористости керамики ρ_n – это:**
- А) истинная пористость



- В) кажущаяся плотность
- С) водопоглощение
- Д) кажущаяся пористость
- Е) истинная плотность

45. В выражении для расчета кажущейся пористости керамики ρ_k – это:

- А) истинная пористость
- В) кажущаяся плотность
- С) водопоглощение
- Д) кажущаяся пористость
- Е) истинная плотность

46. В выражении для расчета кажущейся пористости керамики V – это:

- А) истинная пористость
- В) кажущаяся плотность
- С) водопоглощение
- Д) кажущаяся пористость
- Е) истинная плотность

47. Поликристаллические материалы и изделия из них, полученные спеканием природных глин и их смесей с минеральными добавками, а также оксидов металлов и других тугоплавких соединений, – это:

- А) специальные
- В) воздушные
- С) гидравлические
- Д) стеклянные
- Е) керамические

48. Непластичные материалы, использующиеся для снижения пластичности глин и воздушной усадки полуфабрикатов при сушке, – это:

- А) пластичные
- В) специальные
- С) плавни
- Д) выгорающие
- Е) отошающие

49. Непластичные материалы, использующиеся для снижения температуры и повышения степени спекания керамических материалов, – это:

- А) пластичные
- В) специальные
- С) плавни
- Д) выгорающие
- Е) отошающие



- 50. Непластичные материалы, использующиеся для интенсификации спекания, создания восстановительной среды внутри изделия и получения в нем дополнительной пористости, – это:**
- А) пластичные
 - В) специальные
 - С) плавни
 - Д) выгорающие
 - Е) отошающие
- 51. К термическим свойствам керамики относятся:**
- А) постоянство объема и массы при высоких температурах, термическая стойкость
 - В) постоянство объема и массы при высоких температурах
 - С) огнеупорность, постоянство объема и массы при высоких температурах, термическая стойкость
 - Д) термическая стойкость
 - Е) огнеупорность, термическая стойкость
- 52. К электрофизическим характеристикам относятся:**
- А) электропроводность
 - В) диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери
 - С) электрическая прочность
 - Д) электропроводность, диэлектрическая проницаемость
 - Е) электропроводность, диэлектрическая проницаемость, диэлектрические потери, электрическая прочность
- 53. Отошающие материалы предназначены:**
- А) только для получения специальной керамики
 - В) для производства различных видов керамики
 - С) для снижения пластичности глин, воздушной усадки полуфабрикатов при сушке
 - Д) для снижения температуры и повышения степени спекания керамических изделий
 - Е) для получения пористой строительной керамики, теплоизоляционных материалов
- 54. Плавни применяются:**
- А) только для получения специальной керамики
 - В) для производства различных видов керамики
 - С) для снижения пластичности глин, воздушной усадки полуфабрикатов при сушке
 - Д) для снижения температуры и повышения степени спекания керамических материалов
 - Е) для получения пористой строительной керамики, теплоизоляционных материалов
- 55. Кварцевые пески применяются:**
- А) только для получения специальной керамики



- В) для производства различных видов керамики
- С) для снижения пластичности глин, воздушной усадки полуфабрикатов при сушке
- Д) для снижения температуры и повышения степени спекания керамических материалов
- Е) для получения пористой строительной керамики, теплоизоляционных материалов

56. Выгорающие добавки применяются:

- А) только для получения специальной керамики
- В) для производства различных видов керамики
- С) для снижения пластичности глин, воздушной усадки полуфабрикатов при сушке
- Д) для снижения температуры и повышения степени спекания керамических материалов
- Е) для получения пористой и строительной керамики, теплоизоляционных огнеупорных, строительных материалов

57. Для дозирования компонентов применяются:

- А) питатели и дозаторы
- В) мешалки
- С) мельницы
- Д) камерные фильтр-прессы
- Е) дезинтеграторы

58. Для обезвоживания керамических суспензий применяются:

- А) питатели и дозаторы
- В) мешалки
- С) мельницы
- Д) камерные фильтр-прессы
- Е) дезинтеграторы

59. К кремнеземистым огнеупорам относятся:

- А) диноас
- В) мел
- С) кварцевая керамика
- Д) тальк
- Е) диноас и кварцевая керамика

60. Для получения изделий с более точными размерами применяется:

- А) вытягивание
- В) штампование
- С) вытачивание
- Д) выдавливание
- Е) ручное прессование



- 61. Для получения керамических изделий, имеющих форму тел вращения, применяется:**
- A) вытягивание
 - B) штампование
 - C) вытачивание
 - D) выдавливание
 - E) ручное прессование
- 62. К огнеупорным материалам принадлежат те, которые не плавятся в интервале температур:**
- A) 1770-1850 °C
 - B) 200-1000 °C
 - C) 1000-1500 °C
 - D) > 2000 °C
 - E) 1580-1770 °C
- 63. К материалам высшей огнеупорности относятся те, которые не плавятся при температуре:**
- A) 1770-1850 °C
 - B) 200-1000 °C
 - C) 1000-1500 °C
 - D) > 2000 °C
 - E) 1580-1770 °C
- 64. К высокоогнеупорным материалам относятся те, которые не плавятся при температуре:**
- A) 1770-2000 °C
 - B) 200-1000 °C
 - C) 1000-1500 °C
 - D) > 2000 °C
 - E) 1580-1770 °C
- 65. Впервые фарфор был получен в:**
- A) Китае
 - B) Германии
 - C) России
 - D) Англии
 - E) Египте
- 66. Сушка керамических изделий ведется при температуре:**
- A) 150 – 300°C
 - B) 500 – 700°C
 - C) 1000- 1200°C
 - D) 900 – 1150°C
 - E) 1250 – 1410°C



67. Физико-химический процесс, проводящий к увеличению плотности керамических изделий:

- A) диссоциация
- B) дегидратация
- C) спекание
- D) кристаллизация
- E) вспучивание

68. Каолинами называют глины:

- A) состоящие преимущественно из каолинита или минералов каолиновой группы
- B) состоящие преимущественно из монтмориллонита и гидрослюд
- C) с высоким содержанием известняка, доломита или гипса
- D) состоящие из смеси глинистых минералов, кварца, полевого шпата и известняка
- E) с высоким содержанием вредных примесей

69. Чем отличается процесс глазурования фарфора от фаянса?

- A) в процессе глазурования фарфора необходимо наличие ПАВ
- B) в процессе глазурования фаянса необходимо наличие ПАВ
- C) после глазурования фарфора методом окунания необходимо зачистить ножку (нижний край) изделия
- D) после глазурования фаянса методом окунания необходимо зачистить ножку (нижний край) изделия
- E) процесс глазурования фарфора и фаянса аналогичен

70. Политой обжиг фарфоровых изделий состоит из:

- A) пяти основных периодов, которые характеризуются определенным температурным режимом, средой обжига
- B) трех основных периодов, которые характеризуются определенным температурным режимом, средой обжига
- C) двух основных периодов, которые характеризуются определенным температурным режимом, средой обжига
- D) четырех основных периодов, которые характеризуются определенным температурным режимом, средой обжига
- E) трех основных периодов, которые практически не отличаются температурным режимом, средой обжига.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Без керамических материалов невозможно представить нашу жизнь. Распространенность сырья, относительная простота технологии в сочетании с высокими физико-техническими свойствами получаемых изделий – механической прочностью, тугоплавкостью, термостойкостью обеспечили ведущее место керамики не только в быту и строительстве, как это было тысячи лет назад, но и в самых современных областях техники: авиации, космонавтике, электронике, радиотехнике, атомной энергетике. Широту спектра использования керамических материалов наглядно характеризует, представленная в пособии их классификация по производственно-отраслевому признаку.

Учебное пособие «Химическая технология керамики» разработано для студентов специальности 5В072000–Химическая технология неорганических веществ. В учебном пособии представлена необходимая информация по основным физико-химическим свойствам керамики: физико-механическим, термомеханическим, теплофизическим, термическим, электрофизическим, а также химическим. Рассмотрены особенности строения керамики, дана характеристика и требования, предъявляемые к исходному сырью: пластичному (глины, каолины), непластичному (отошающие материалы, плавни, выгорающие и специальные). В настоящем пособии представлены основные технологические схемы, стадии производства керамических изделий. Рассмотрены основные этапы получения керамики, состоящие из следующих стадий: получение керамической массы, формование изделий, сушка, обжиг. Следует отметить, что каждая из этих стадий рассмотрены детально. Особое внимание уделено наиболее важному этапу – обжигу: утельному, политому. Представлена информация о пяти периодах политого обжига на примере производства фарфоровых изделий. Дана информация о некоторых типах печей, используемых при получении керамики. Рассмотрены различные методы формования: прессование, пластический способ, метод литья.

В учебном пособии дан материал, который необходим для выполнения лабораторных работ по керамике (по определению влажности, потерь при прокаливании, кислотостойкости, щелочестойкости). С целью проверки знаний студентов в пособии представлены тестовые вопросы, которые отражают теоретические и практические аспекты технологии керамики.



ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова И.М., Дятлова П.М., Куницкая Г.С. Общая технология силикатов. – Минск. Высшая школа, 1987. – 288 с.
2. Дудеров И.Г., Матвеев Г.М., Суханова В. Б. Общая технология силикатов. – М.: Стройиздат, 1987. – 560 с.
3. Сулименко Л.М. Общая технология силикатов. – М: Инфра-М, 2004. – 336 с.
4. Рабухин А.И. Основы технологии керамики и огнеупоров: учебное пособие. – М.:РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2001. – 111 с.
5. Щипалов Ю.К., Комлева Г.П., Овчинников Н.Л. Лабораторный практикум по основам технологии тугоплавких неметаллических и силикатных. – Иваново: ИХТИ, 2005. – 285 с.
6. Химическая технология керамики / под ред. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. – 496 с.
7. Матреннин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: учебное пособие. – Томск: ТПУ, 2004. – 75 с.



СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1. Классификация керамических материалов и изделий | 5 |
| 2. Строение керамики | 6 |
| 3. Физико-химические свойства керамики | 8 |
| 3.1. Пористость, плотность, проницаемость | 8 |
| 3.2. Механическая прочность и термохимические свойства | 9 |
| 3.3. Теплофизические свойства | 11 |
| 3.4. Термические свойства | 13 |
| 3.5. Химическая стойкость | 14 |
| 3.6. Электрофизические свойства | 15 |
| 4. Сырьевые материалы | 17 |
| 4.1. Пластичные материалы | 18 |
| 4.2. Непластичные материалы | 24 |
| 4.3. Отходы производства | 27 |
| 5. Основы технологии керамики | 28 |
| 5.1. Получение керамической массы | 28 |
| 5.2. Формование изделий | 36 |
| 5.3. Сушка | 42 |
| 5.4. Обжиг | 43 |
| 6. Лабораторные работы | 47 |
| 6.1. Определение влажности керамических материалов | 47 |
| 6.2. Определение потерь при прокаливании керамических материалов | 49 |
| 6.3. Определение щелочестойкости керамических материалов | 51 |
| 6.4. Определение кислотостойкости керамических материалов | 53 |
| 7. Тестовые вопросы | 55 |
| Заключение | 67 |
| Литература | 68 |



Учебное издание

Сейлханова Гульзия Амангельдыевна
Ашимхан Назгуль Сейлханкызы

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ

Учебное пособие

Стереотипное издание

Редактор Э.А. Сулейменова
Компьютерная верстка У.А. Абдикаймовой
Дизайн обложки К. Умирбековой

В оформлении обложки использованы
фото с сайтов www.inform.kz

ИБ №8117

Подписано в печать 02.04.2020. Формат 60х84. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Объем 4,37. Тираж 130 экз. Заказ №710.

Издательский дом «Қазақ университеті»

Казахского национального университета им. аль-Фараби 050040,
г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71. КазНУ

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті»

