

ХЕЛ
профТЕХ

Е.В. Горохова

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
И ТЕХНОЛОГИЯ
КЕРАМИКИ**



Е.В. Горохова

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ

Рекомендовано
учреждением образования
«Республиканский институт профессионального
образования» в качестве пособия для учащихся
учреждений, обеспечивающих
получение профессионально-технического
образования, по учебной специальности
«Декоративно-прикладное искусство»
(единичная квалификация «Изготовители
художественных изделий из керамики»)



МИНСК
«ВЫШЭЙШАЯ ШКОЛА»
2009

УДК 738.023(075.32)
ББК 85.125я722
Г70

Рецензенты: методическая комиссия Минского государственного профессионально-технического колледжа декоративно-прикладного искусства имени *Н.А. Кедышко*; доцент кафедры декоративно-прикладного искусства Белорусского государственного университета культуры и искусств *Т.И. Васюк*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Горохова, Е. В.

Г70 Материаловедение и технология керамики : пособие /
Е. В. Горохова. – Минск : Выш. шк., 2009. – 222 с.: ил.
ISBN 978-985-06-1706-4.

Даны общие сведения о материалах, используемых при изготовлении керамических изделий. Рассмотрена технология керамики, важнейшие свойства исходных материалов и добавок, способы приготовления керамических масс. Приведены лабораторные практические задания и тесты.

Для учащихся учреждений, обеспечивающих получение профессионально-технического образования по учебной специальности «Декоративно-прикладное искусство». Будет полезно мастерам-художникам, преподавателям специальных дисциплин художественного профиля, а также всем интересующимся керамикой.

УДК 738.023(075.32)
ББК 85.125я722

ISBN 978-985-06-1706-4

© Горохова Е.В., 2009
© Издательство «Вышэйшая школа», 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Материаловедение и технология керамики – важнейшие предметы для специалистов, изучающих вопросы заготовки сырья и его переработки.

Технический прогресс в промышленности, новые технологические решения для изготовления керамических материалов способствуют увеличению объема выпуска продукции, облегчают создание новых, более эффективных материалов. Расширение выпуска и повышение качества высокопрочных, многокомпонентных материалов из керамики, особенно металлокерамики, твердого фарфора, полуфарфора, фаянса на базе новейшей техники повышает уровень производства, увеличивает применение новых материалов.

Для охраны окружающей среды и экономии топливно-энергетических ресурсов большое значение приобретает малоотходное и безотходное производство материалов керамики. Например, в состав многих керамических масс входит утельный или политой бой. Поэтому специалистам необходимо обладать широкими знаниями о свойствах и строении керамического сырья, знать технологию производства керамики.

В современных условиях повысились требования к товарам из керамики, особенно к предметам декоративно-прикладного искусства. Основным признаком искусства в бытовом предмете является соединение целесообразности и красоты, выражающееся и в форме предмета, и в правильно выбранном для него материале.

Керамика – один из самых древних искусственных материалов. На территории Республики Беларусь имеются Добрушский (Гомельская обл.), Радошковичский, Ивенецкий (Минская обл.), Минский фарфоровые заводы. Их ассортимент представлен фарфоровыми изделиями разного функционального назначения. В конце XX в. в республике освоен выпуск тонкостенных изделий оригинальных форм с украшениями, что позволило нашим предприятиям выйти на рынок не только ближнего, но и дальнего зарубежья.

Пособие состоит из двух теоретических и двух практических разделов. Первый освещает вопросы материаловедения керамики: физико-химические и потребительские свойства керамики; характеристику различных керамических материалов (сырьевых пластичных материалов, непластичных материалов и добавок, керамических масс, материалов для модельно-формовочного дела и для декорирования художественных изделий из керамики, изоляционных и вспомогательных материалов, а также новых кера-

мических материалов). Во втором разделе раскрывается технология производства керамики: технология приготовления керамических масс, формование керамических изделий, сушка и обжиг керамики, основы модельно-формовочного дела, декорирование керамических изделий; приводятся сведения по стандартизации и контролю качества керамических изделий, организации труда.

Третий раздел включает лабораторно-практические работы: рекомендации по организации лабораторных работ, самоподготовке учащихся к их выполнению. В каждой работе раскрываются цели выполнения работы, приводятся инструменты и материалы; излагается ход выполнения работы. Лабораторные работы дают возможность учащимся самостоятельно испытать материалы и изделия, определить свойства, оценить качество, проверить технологию производства.

Представленные в четвертом разделе тесты не только позволяют получить объективные результаты, но и предполагают ряд условий, необходимых для успешного их проведения: должны учитываться характеристика помещения, его оснащение, состояние тестовых материалов, психологические факторы. Целесообразно заранее ознакомить учащихся с процедурой тестирования, провести диагностические, тематические тесты. Задания, с которыми справляются все или не справляется никто, являются низкокoeffективными. Не рекомендуется использовать для тестов спорные в научном плане материалы.

Все лабораторно-практические работы и тесты подготовлены автором и опробованы на учебных занятиях.

Главное внимание современного профессионального образования должно быть направлено на развитие личности молодого человека. В обществе существует два способа обучения: традиционный (репродуктивный) и развивающий (творческий, продуктивный).

В теории обучения дисциплинам профессионального цикла особая роль отводится развитию практического мышления специалистов, под которым надо понимать вид мышления в практической деятельности человека, связанной с использованием технологического оборудования, выбором оптимального процесса, планированием и организацией труда.

Для того чтобы не только учить, но и воспитывать, развивать, необходима атмосфера взаимопомощи, соревнования, поиска, игры, уважения и признания личности каждого учащегося. Для создания таких отношений на уроке нужен не просто специалист, а человек разносторонней культуры, знающий психологию молодежи.

Автор

Раздел 1

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Краткие сведения из истории развития керамики и керамических материалов. Освоение производства керамики началось еще в глубокой древности и является одним из важнейших достижений первобытного человека в борьбе за существование. Около 5 тысяч лет до н.э. впервые стали использовать керамическую посуду для хранения и варки пищи. Твердость, водоустойчивость и огнестойкость этой посуды позволили намного расширить ассортимент съедобных продуктов.

Первым примером применения керамики в качестве строительного материала были глинобитные жилища (4–3 тысячелетия до н.э.), обжигавшиеся снаружи кострами и украшавшиеся росписями. В Египте найдена заупокойная плита фараона Нармера – это шифер с выполненным на нем рельефом. В дальнейшем керамический стеновой материал стали изготавливать в виде камня правильной формы, т.е. кирпича. Для украшения зданий в Египте и древнем Иране употребляли глазурованные кирпичи. В особенности развилось производство кирпича в Древней Греции, Древнем Риме, Византии, где из него сооружали сложные конструкции – своды перекрытий, пролеты мостов, акведуки.

Древнегреческая богиня мудрости и справедливой войны Афина была также и покровительницей ремесленников, гончаров и ткачей, ювелиров и плотников, корабелов и каменщиков. Особенно ее почитали гончары: ведь она изобрела гончарный круг. По их верованиям, Афина помогала при выборе лучшего сорта глины и противодействовала злым демонам Синтрипу, Сабакту и Смарагу, постоянно чинившим различные козни мастерам, деформируя сосуды при обжиге или покрывая их бока трещинами.

Гончарное искусство стало быстро распространяться в Элладе начиная с VII в. до н.э. Первые крупные керамические школы того периода – ионическая и коринфская – отличались богатой декоративной орнаментальной росписью. Но уже в VI в. до н.э. популярность приобрели сосуды с фигурной росписью на мифологические и жанровые сюжеты.

Бурно развивавшаяся афинская керамика стремительно завоевала все рынки Средиземноморья. Гончары, жившие в городском районе Керамик (отсюда и название глиняной посуды

и изделий – керамика), сумели достичь в своих изделиях особого изящества и ясности форм, тонкости и крепости черепка, выразительности росписи.

Эволюция эстетических принципов прослеживается на примере вакописи керамики Античности – VI–V вв. до н.э. Станковой живописи не существовало, ее функцию несли росписи на глиняных сосудах, употреблявшихся в быту. На них изображались сложные сюжетные композиции – смесь мифологического, бытового и батального жанров. Самой распространенной формой греческих сосудов была двуручная амфора с яйцевидным туловом и суженной горловиной, предназначенная для хранения вина. Стиль вазовых росписей менялся на протяжении двух столетий. Первоначально господствовала *чернофигурная керамика*, в которой изображения, покрывающие сосуды, выполнялись чрезвычайно стойким и глубоким по тону черным лаком, состав его не разгадан и поныне. Имена лучших аттических мастеров (например, живописец Клитий и гончар Эрготим) были широко известны по берегам Средиземного моря. В конце VI в. до н.э. под влиянием культур Сирии, Египта появляется *краснофигурная техника*. Своими нарядностью, многоцветием, пышностью вазы иногда напоминали восточные ковры. При этой росписи черным лаком покрывался только фон, а само изображение сохраняло естественный цвет глины. Своего расцвета краснофигурная вакопись достигла в V–IV вв. до н.э. До сих пор она является для нас не только предметом эстетического наслаждения, но и источником знаний о жизни, обычаях и верованиях древних. Глубокая архаичность была у этрусков (Италия, Рим, Средиземноморье, VI в. до н.э. – 600 г. н.э.), о чем свидетельствуют каноны – сосуды для хранения пепла умерших, крышки сосудов – в виде шлема или портрета; статуи для святилища, саркофаги. Саркофаг имел вид каменного ящика, на крышке которого помещалось изображение супругов или одинокой фигуры с чашей в руке. Храмы строились из дерева или кирпича-сырца, фронтоны заполнялись фигурами, сделанными в терракоте.

На территории бывшего Советского Союза наиболее древние памятники, связанные с применением керамики, сохранились в Средней Азии. Еще в первые века н.э. в древнем городе Ахсыхет, расположенном в Ферганской долине, была проложена трасса водопровода из толстых керамических труб. До наших дней дошли мотивы керамики, заложенные в жилых

постройках этого города. Бесценные памятники мусульманской архитектуры с применением керамики (цветного кирпича, многоцветных глазурованных плиток) сохранились в Самарканде, Бухаре, Хиве и других среднеазиатских городах.

Истоки керамического производства на территории Беларуси уходят в глубокую древность. Оно существовало везде, где были залежи природных глин. В белорусских селах и городах работали тысячи гончаров, игрушечников, изразцовых дел мастера. Массовое производство керамики относится к эпохе неолита. Сосуды имели простую монументальную форму, отличались некоторой асимметрией (следствие ручной лепки) и богатой орнаментацией. Когда в X в. на территории Беларуси стали применять гончарный круг, то и посуда приобрела другой вид, стала более тонкостенной, изящной, симметричной.

В XII–XIII вв. в быт горожан вошла поливная керамика; развилось ремесленное производство посуды, по форме и декору отличающееся от крестьянской. Во многих городах – Гродно, Бресте, Витебске, Полоцке, Минске, Копыле, Мире, Слуцке, Шклове, Дисне и др. – существовали гончарные цехи.

В Древней Руси в X в. начали производство византийского тонкого квадратного кирпича в форме плит различных размеров. Первыми значительными сооружениями из него были *Десятинная церковь*, *Софийский собор* и *Золотые ворота* в Киеве, *Преображенский собор* в Чернигове, отделка изразцами монастыря в Москве и часовни в Гомеле. В 1555–1560 гг. в Москве был сооружен замечательный памятник архитектуры – *храм Василия Блаженного*, при строительстве которого использовали не только обыкновенный кирпич, но и цветной, а также черепицу, глазурованные керамические плитки, изразцы, изготовленные из пластичных глин и покрытые разноцветными глухими глазурами.

Определение и классификация керамических материалов.

Керамика (от греч. *keramiké (techne)* – гончарное искусство, *kéramos* – глина) – общее название всех видов изделий из обожженной глины (майолика, терракота, фаянс, фарфор и др.), а также изделия и материалы, полученные спеканием глин и их смесей с минеральными добавками, оксидов и других неорганических соединений. В настоящее время керамикой называют изделия, изготовленные из глины с последующим однократным или двукратным обжигом (утельный и политой обжиг).

Современная керамика – это обширный класс тугоплавких неорганических материалов, изделия из которых находят широкое применение в быту, строительстве и во многих отраслях современной техники.

Керамические материалы – это искусственные каменные материалы, изготавливаемые из минерального сырья путем формования и последующего обжига при высоких температурах. Изготовление строительной керамики (кирпича, черепицы) началось около 5 тысяч лет назад. В это время была изобретена письменность на Ближнем Востоке (в Месопотамии), а первую «бумагу» стали делать из глины. Белая глина и сейчас обязательно входит в состав бумаги.

Материал, из которого состоят керамические изделия после обжига, в технологии керамики называют *керамическим черепком*. По структуре различают керамические изделия с *пористым черепком* (водопоглощение > 5%) и со *спекшимся черепком* (водопоглощение < 5%).

По конструктивному назначению различают керамические изделия для архитектурных сооружений, зданий и для оформления садов и парков (вазы, скульптуры). При этом используются скульптуры различных жанров: портретного, бытового, исторического, анималистического, растительного и т.д. Именно глина, особенно белая, остается лучшим материалом для изготовления садово-парковой керамики: ваз, фонтанов, различных панно, розеток и т.д. Такая керамика декоративна и практична. По своим архитектурным достоинствам и долговечности она превосходит многие другие материалы.

В условиях научно-технического прогресса возникает необходимость использования новых керамических материалов с уникальными свойствами, которыми не обладают ни металлы, ни синтетические материалы, ни традиционные виды керамики. Распространились такие термины, как *новая керамика*, *металлокерамика*, *тонкая техническая керамика*, *керамика нового поколения*.

Современная керамика включает почти все твердые и часть газообразных элементов периодической системы Д.И. Менделеева, которые используются для создания керамических материалов на основе как простого соединения (оксид, нитрид и др.), так и сложного. Керамические материалы чрезвычайно разнообразны, но все же хотелось бы выделить 10 типичных их видов.

1. Оксид алюминия (Al_2O_3) – глинозем – отличается весьма прочной химической связью. Для него характерна исклю-

чительно высокая химическая и физическая устойчивость, жаропрочность ($t_{пл}$ 2050 °С), высокая теплопроводность, механическая твердость, электроизоляционные свойства, оптическая прозрачность, коррозионная стойкость, совместимость с живым организмом и др.

Жаропрочность и высокая механическая твердость Al_2O_3 используются в футеровке печей, высокая прочность – в подшипниках, абразивах для шлифования и полирования, электроизоляционные свойства, коррозионная стойкость и стойкость к термическим ударам – в изоляторах для систем передачи электроэнергии, изоляторов в МГД (генераторах), изоляторах для запальных свечей. Его оптическая прозрачность применяется для лазерной генерации, для окон в лазерах, трубок натриевых ламп высокого давления. В качестве материала, совместимого с живым организмом, глинозем используют в искусственно вживляемых зубах и искусственных суставах. В пористых мембранах он служит для диффузионного разделения газов, обогащения урана, где требуется его коррозионная стойкость.

2. Диоксид кремния (SiO_2) – кремнезем – обладает превосходной коррозионной стойкостью, устойчивостью к действию почти всех кислот, за исключением плавиковой (HF), низкой теплопроводностью при комнатной температуре, крайне малым коэффициентом термического расширения, а также способностью выдерживать быстрое нагревание и быстрое охлаждение, $t_{пл}$ 1610 °С. Его широко применяют в качестве материала для изготовления химической и термостойкой посуды.

Прозрачный монокристалл, в состав которого входит SiO_2 , называют горным хрусталем. Если его расплавить, а потом охладить, то он не возвращается в первоначальное состояние, а образует кварцевое стекло. Горный хрусталь обладает пьезоэлектрическими свойствами. Прозрачность диоксида кремния в широкой области ультрафиолетового и видимого диапазона позволяет использовать его в качестве материала для прозрачных покрытий поверхностей, аккумулирующих теплоту солнца, и для оптических волокон. SiO_2 может служить и электроизолятором, входит в состав шихты для глазурей, эмалей, как отощитель в составе керамических масс.

3. Карбид кремния (SiC) – физически и химически устойчив, обладает жаропрочностью, высокими температурной, механической прочностью и твердостью, коррозионной стойкостью и др. Известно около 10 видов модификации α -SiC, который при 2700 °С разлагается с образованием графита. Обычно α -SiC широко используется в промышленности в ка-

честве абразива, а β -SiC приобрел большое значение в качестве материала для нагревателей. SiC обладает высокой теплопроводностью и низким коэффициентом термического расширения. Ему свойственны также стойкость к термическим ударам и малая плотность ($3,1 \text{ г/см}^3$). По электрическим свойствам относится к собственным полупроводникам, но его можно использовать и в качестве проводника. В связи с этим SiC применяют в рамках фюзеляжей в качестве композиционного материала, для которого требуется высокая прочность; в сверхтвердых инструментах; в абразивах для шлифования и полирования, где необходима высокая твердость; для неподвижных и вращающихся лопаток газовых турбин и в камерах сгорания, где требуются такие свойства, как жаропрочность, высокотемпературная прочность и коррозионная стойкость; в материалах для оболочки топлива в реакторах, где используется еще и его радиохимическая стойкость; в нагревателях, инфракрасных излучателях, подложках интегральных схем. Для улучшения электроизоляционных свойств и увеличения теплопроводности к карбиду кремния добавляют BeO , что делает подложки из SiC очень распространенными. Помимо этого, SiC применяют в качестве датчика излучения. Процесс спекания SiC связан с большими трудностями. Для их преодоления добавляют микроколичества бора и углерода. Однако введение примесей снижает высокотемпературную прочность.

4. Нитрид кремния (Si_3N_4) – чрезвычайно устойчивое вещество, жаропрочное, обладает высокой механической прочностью, большой твердостью, коррозионной стойкостью и др. Si_3N_4 характеризуется высокой стойкостью к термоударам, так как коэффициент термического расширения очень низкий. Главное отличие Si_3N_4 от SiC состоит в том, что он является диэлектриком и обладает низкой теплопроводностью. По данным ученых, Si_3N_4 можно применять в сверхтвердых обрабатывающих инструментах; в электролюминесценции используют электроизоляционные свойства данного материала.

5. Титанат бария (BaTiO_3) – характеризуется сегнетоэлектрическими свойствами, является пирозлектриком и пьезоэлектриком, поэтому используется в сегнето- и пьезокерамике, $t_{\text{пл}} 1612 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура Кюри составляет $120\text{--}130^\circ$. При превышении этой температуры BaTiO_3 становится обычным диэлектриком.

BaTiO_3 используют в качестве датчика инфракрасного излучения, диэлектрика для конденсаторов, применяют для изготовления ПТК – термисторов и нагревателей, так как вблизи температуры Кюри резко изменяется сопротивление.

6. Ферриты ($\text{Mo} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) – обладают малой силой, большой начальной проницаемостью и большим электрическим сопротивлением. Их используют в качестве магнитно-мягких материалов в магнитных головках, сердечниках трансформаторов низкого напряжения, датчиках температуры и акустических волн, в поглотителях радиоволн для предотвращения ложного изображения. В качестве типичных материалов можно назвать $(\text{Ni}, \text{Zn})\text{Fe}_2\text{O}_4$, $(\text{Mn}, \text{Zn})\text{Fe}_2\text{O}_4$, $(\text{Mn}, \text{Mg})\text{Fe}_2\text{O}_4$. Кроме того, эти ферриты являются обычными диэлектриками, только Fe_2O_3 обладает очень высокой проводимостью. Ферриты применяют в качестве материалов для электродов, магнитных лент и катализаторов, а также входят в состав некоторых подглазурных керамических красок, глазурей и эмалей.

7. Оксид цинка (ZnO) – характеризуется пьезоэлектрическими свойствами, жаропрочность проявляется не всегда, при высоких температурах сильно испаряется; при $t > 1000$ °С оксид цинка выделяет кислород. Если ZnO резко охладить до комнатной температуры, то он может стать полупроводником *л*-типа. Эти свойства нашли применение в датчиках, варисторах или в фотоэлектрических элементах, для генерирования электроэнергии с помощью солнечного света. Тонкие пленки из оксида цинка, изготовленные методом распыления, используют в материалах для фильтров высоких частот в качестве элементов. Кроме этого, ZnO входит в состав керамических красок, глазурей, эмалей как основной окисел.

8. Диоксид циркония (ZrO_2) – обладает жаропрочностью, коррозионной стойкостью, высокой механической прочностью, низкой теплопроводностью, $t_{\text{пл}} > 2700$ °С. Из материалов на основе ZrO_2 изготавливают нагреватели для печей, их используют также и в качестве жаропрочных материалов, твердого электролита. Частично диоксид циркония повышает прочность керамики, поэтому материалы на его основе используют для изготовления сверхтвердого инструмента, предназначенного для обработки резанием и пластической обработки.

9. Графит (C) – характеризуется высокими электро- и теплопроводностью, $t_{\text{пл}} \approx 3500$ °С. Графит не горюч, обладает превосходной коррозионной стойкостью по отношению к кислотам и щелочам и хорошей биологической совместимостью, устойчив к радиохимическому воздействию. Твердость графита низкая. Применяют в качестве материала покрытия топлива в высокотемпературных газовых ядерных реакторах, для изготовления замедлителей и отражателей в ядерных реакторах, электродов низкотемпературных топливных элементов, окислительно-восстановительных элементов, для электролиза по-

варенной соли в нагревателях, обжига керамики в искусственно вживляемых зубах, изготовления графитовых волокон.

10. Алмазы (СС) – самые твердые вещества, обладающие высокой теплопроводностью. Беспримесный алмаз – бесцветный диэлектрик. Однако благодаря введению примесей алмаз окрашивается и характеризуется свойствами полупроводника *p*-типа. Для новейшей технологии производства керамики алмаз – чрезвычайно важный материал. Его используют в сверхтвердых инструментах и абразивах для шлифования и полирования; в подложках для интегральных схем применяют его электроизоляционные и теплоизлучательные свойства.

Сырьевую массу для изготовления керамических изделий обычно составляют из пластичных и непластичных материалов. Поэтому очень важно знать основные свойства керамических материалов.

Умение правильно выбрать материал, оценить его качества, условия хранения – это залог долговечности изделия из керамики.

1.1. Важнейшие физико-химические и потребительские свойства керамики

1.1.1. Физико-химические свойства керамики

К данным свойствам относятся теплофизические, механические, электрофизические, магнитные, оптические, химические.

Для керамического черепка важной является *плотность*, ρ , которая характеризует массу единицы его объема и составляет в среднем 2,25–2,5 г/см³. Большого влияния на потребительские свойства этот показатель не оказывает.

К *теплофизическим свойствам* относятся температура плавления (табл. 1.1), удельная теплоемкость, тепловое (термическое) расширение, теплопроводность. *Температура плавления* в различных веществах разная. С ростом температуры увеличивается амплитуда колебаний атомов в решетке кристалла, что и обуславливает его тепловое расширение. Обычно за основной фактор, который позволяет определить температуру плавления, принимают тип химической связи. Но температура плавления не является величиной постоянной и зависит от давления. Под *удельной теплоемкостью* понимают количество теплоты, необходимое для повышения температуры единицы количества вещества на 1 Кл. *Тепловое (термическое) расширение* керамические бытовые изделия претерпевают в процессе эксплуатации. Оно характеризуется коэф-

Температура плавления различных веществ

Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{деф}, ^\circ\text{C}$
Al (алюминий, цветной металл)	659	B (бор)	≈ 2000	Полистирол	$70 \approx 100$
Al_2O_3 (глинозем, оксид алюминия)	2050	B_2O_3 (оксид бора)	450	Полиэтилен	$40 \approx 70$
AlN (нитрид алюминия)	≈ 2400	BN (нитрид бора)	3000	Полипропилен	$85 \approx 110$
Al_4C_3 (карбид алюминия)	2800	V_4C (карбид бора)	2450	Поликапролактамы	66
Ti (титан)	1667	Ta (тантал)	2996	Винилкарбазол	$100 \approx 150$
TiO_2 (окись титана)	1840	Ta_2O_3 (оксид тантала)	1470	Сложный полиэфир	$60 \approx 200$
TiN (нитрид титана)	2950	TaN (нитрид тантала)	≈ 3090	ПММА (полиметилметакрилат)	$65 \approx 100$
TiC (карбид титана)	3140	TaC (карбид тантала)	3880	Высокомолекулярные органические соединения:	
Zr (цирконий)	1885	Hf (гафний)	> 2130	нейлон	
ZrO_2 (окись циркония)	2700	HfO_2 (окись гафния)	2810	поливинилхлорид	
ZrN (нитрид циркония)	2980	HfN (нитрид гафния)	≈ 3300		
ZrC (карбид циркония)	3530	HfC (карбид гафния)	3890		
Si (кремний)	1412	W (вольфрам)	3377		
SiO_2 (диоксид кремния, кремнезем)	1710	WO_3 (окись вольфрама)	1473		
Si_3N_4 (нитрид кремния)	≈ 2000	WC (карбид вольфрама)	2870		
SiC (карбид кремния)	≈ 2830				

фициентом линейного термического расширения черепка и глазури при нагревании керамики на 1°C . Очень важно, чтобы этот показатель совпадал для черепка и глазури, так как в противном случае будет образовываться сетка трещин на глазури или ее отслаивание.

Соответствие коэффициентов термического расширения черепка и глазури достигается подбором составов, повышением температуры обжига и фриттованием (сплавлением) компонентов глазури.

Теплопроводность – это способность проводить теплоту через толщу материала от одной поверхности к другой. Носителями тепловой энергии в твердом теле являются электроны проводимости, фононы (от греч. *phōnē* – звук, квазичастица), фотоны (от греч. *phōtos* – свет, частица света). Теплопроводность характеризует скорость переноса тепла керамическим черепком. Этот показатель зависит прежде всего от соотношения кристаллической и стекловидной фаз строения, а также от формы, размеров и количества пор. Стекловидная фаза увеличивает теплопроводность, кристаллическая и газовая – уменьшают. С повышением теплопроводности увеличивается и термическая стойкость изделий, что необходимо учитывать при определении условий их эксплуатации.

К *механическим свойствам* относятся напряжение и деформация, хрупкость и разрушение, пористость, прочность, ползучесть, твердость, термический удар, термическая стойкость. Если к твердому телу приложить силу (*напряжение*), то растягивается в направлении действия этой силы, т.е. происходит *деформация*. Обычно в керамике деформация черепка очень мала. Если образец не возвращается в первоначальное состояние, то такая деформация называется пластической. Для многих видов керамики характерна *хрупкость*, однако при повышении температуры наблюдается пластическая деформация, происходит пластическое *разрушение*.

Пористость характеризуется степенью заполнения керамического материала порами. Наличие пор уменьшает площадь сечения материала, к которому приложена нагрузка. С увеличением пористости прочность керамики снижается.

Прочность – это сила, приходящаяся на единицу площади, необходимая для достижения разрушения. Механическая прочность определяется работой, которую необходимо затратить, чтобы разрушить изделие с помощью свободно падающего на его дно стального шарика стандартных размеров. Механическая прочность зависит от наличия микротрещин, пор, качества измельчения сырья, соотношения различных фаз строения. Самыми прочными видами керамики являются твердые фарфор и полуфарфор, затем фаянс, майолика и мягкий фарфор.

Ползучесть – это явление, когда пластически деформируется материал, который находится под определенным напряжением.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Раздел 1. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ	5
1.1. Важнейшие физико-химические и потребительские свойства керамики	12
1.1.1. Физико-химические свойства керамики	12
1.1.2. Потребительские свойства керамики	16
1.2. Сырьевые пластичные материалы	20
1.2.1. Глины, их характеристика	20
1.2.2. Каолины, их характеристика	25
1.2.3. Месторождения глин и каолинов	25
1.3. Непластичные материалы и добавки	27
1.3.1. Отощающие материалы	28
1.3.2. Флюсующие материалы	29
1.3.3. Выгорающие добавки	31
1.3.4. Электролиты	32
1.4. Керамические массы	32
1.4.1. Массы для гончарных изделий	32
1.4.2. Массы для тонкокаменных изделий	33
1.4.3. Фарфоровые и фаянсовые массы	34
1.4.4. Из истории производства английского костяного фарфора	37
1.4.5. Открытие производства фарфора в России	37
1.4.6. Литейные массы	38
1.5. Материалы для модельно-формовочного дела	41
1.5.1. Вяжущие материалы	42
1.5.2. Смазки	43
1.5.3. Древесина	43
1.5.4. Металлы, их сплавы	44
1.5.5. Пластмассы, их разновидности	45
1.5.6. Мягкие материалы	46
1.6. Материалы для декорирования художественных изделий из керамики	47
1.6.1. Ангобы, глазури	47
1.6.2. Керамические краски	53
1.7. Топливные материалы для обжига изделий из керамики	56
1.7.1. Топливо, его классификация и виды	56

1.8. Изоляционные и вспомогательные материалы в керамике	61
1.8.1. Электроизоляционные материалы	61
1.8.2. Вспомогательные материалы	63
1.9. Области применения керамики. Новые керамические материалы....	67
Раздел 2. ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ.....	76
2.1. Технология приготовления керамических масс, машины и оборудование.....	79
2.1.1. Основные понятия о технологических процессах.....	79
2.1.2. Промышленное приготовление керамических масс	87
2.1.3. Дефекты при приготовлении керамических масс	93
2.2. Формование керамических изделий	94
2.2.1. Способ свободной лепки	95
2.2.2. Свободное формование на гончарном круге	97
2.2.3. Формование керамических изделий литьем	99
2.2.4. Формование методом прессования.....	102
2.2.5. Пластическое формование	103
2.2.6. Процессы точения традиционных гончарных форм	105
2.3. Сушка и обжиг керамических изделий	109
2.3.1. Сушка керамических изделий	109
2.3.2. Обжиг и режим обжига керамических изделий	112
2.3.3. Контроль сушки и обжига керамических изделий	118
2.4. Основы модельно-формовочного дела.....	121
2.4.1. Классификация моделей, изготовление однокусковой формы	121
2.4.2. Способы создания мелкой пластики	124
2.5. Декорирование керамических изделий	125
2.5.1. Декорирование керамических изделий в сыром виде.....	125
2.5.2. Массовая роспись керамических изделий после обжига.....	127
2.5.3. Керамическая живопись	133
2.5.4. Декорирование скульптурных изделий и ваз	145
2.6. Стандартизация и контроль качества керамических изделий	147
2.7. Прогрессивные формы организации и стимулирования труда рабочих, техника безопасности.....	151
2.7.1. Оплата труда.....	151
2.7.2. Требования безопасности труда	153
2.7.3. Санитарно-гигиенические нормы для производственных помещений.....	154

Раздел 3. ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ	157
3.1. Изучение свойств глин (материаловедение)	160
3.2. Ручное формование (технология)	162
3.3. Формование в гипсовых формах (технология)	164
3.4. Формование на гончарном круге (технология)	165
3.5. Изучение материалов для модельно-формовочного дела (материаловедение)	168
3.6. Изготовление плоской модели и снятие с нее формы (технология)	169
3.7. Создание однофигурной скульптуры (технология)	171
3.8. Изучение материалов декорирования (материаловедение)	172
3.9. Изучение материалов декорирования и их свойств (материаловедение и технология)	173
3.10. Изучение техники декорирования (технология)	175
3.11. Декорирование изделий в сыром виде (технология)	176
3.12. Керамическая живопись (технология)	178
3.13. Определение видов художественной росписи по стилям и школам	179
3.14. Анализ высокохудожественной, среднехудожественной и массовой росписи	184
3.15. Ознакомление с видами и конструкциями керамических игрушек, их роспись (технология)	185
3.16. Виды и конструкции скульптурных изделий и ваз; декорирование ваз	186
3.17. Декорирование «белого» товара (фарфора, фаянса) (технология)	188
3.18. Роспись изделий из керамики различных эпох (технология)	189
3.19. Основы формообразования в керамике (материаловедение и технология)	190
3.20. Составление технологических карт, установка товарного знака изготовителя	191
3.21. Контроль качества	193
Раздел 4. ТЕСТИРОВАНИЕ	195
4.1. Тесты по предметам	196
4.1.1. Из истории развития керамики	196
4.1.2. Физические свойства керамики	197
4.1.3. Методика расчета количества глиномассы и глазури. Задачи	199
4.1.4. Химические свойства глинистых материалов	204
4.1.5. Формование изделий	204
4.1.6. Декорирование сырых изделий из керамики	205
4.1.7. Сушка и обжиг керамики	206
4.1.8. Основы модельно-формовочного дела	206

4.1.9. Приготовление керамических масс	207
4.1.10. Декорирование керамических изделий после обжига	208
4.2. Кроссворды	210
4.2.1. Технология керамики	210
4.2.2. Модельно-формовочное дело	211
4.2.3. Виды керамики	212
4.2.4. Материаловедение	212
4.2.5. Лепка	213
4.2.6. Ребусы	213
Ключи к тестовым заданиям	215
Ответы на кроссворды	217
Литература	218

Учебное издание
Горохова Екатерина Владимировна
**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
КЕРАМИКИ**

Пособие

Редактор *Ю.А. Мисюль*
Художественный редактор *Е.Э. Агунович*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Е.З. Липень*
Компьютерная верстка *И.С. Оликсевич*

Подписано в печать 08.06.2009. Формат 84×108/32. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс». Офсетная печать. Усл. печ. л. 11,76. Уч.-изд. л. 13,69. Тираж 200 экз. Заказ 1315.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».
ЛИП № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
<http://vshph.com>

Республиканское унитарное предприятие «Типография “Победа”».
ЛП № 02330/0056832 от 30.04.2004. Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.