

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра технологии стекла и керамики

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ И ОГНЕУПОРОВ

**Программа, методические указания
и контрольные задания для студентов специальности
1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ,
материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09
«Технология тонкой, функциональной и строительной
керамики» заочной формы обучения**

Минск 2012

УДК 666.3:7
ББК 35.41я73
Х-46

Рассмотрены и рекомендованы редакционно-издательским советом университета

Составитель *Е. М. Дятлова*

Рецензент
кандидат технических наук, доцент кафедры
химической технологии вяжущих материалов БГТУ
С. В. Плышевский

По тематическому плану изданий учебно-методической литературы университета на 2012 год. Поз. 178.

Для студентов специальности 1-48 01 01 «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 01 09 «Технология тонкой, функциональной и строительной керамики» заочной формы обучения.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Химическая технология керамики и огнеупоров» является базовой при подготовке студентов по специализации «Технология тонкой, функциональной и строительной керамики».

Цель изучения дисциплины – формирование инженерных знаний и обеспечение достаточной специальной подготовки студентов в области современного производства керамики.

Курс основывается на фундаментальной, общенаучной и общепрофессиональной подготовке студентов после изучения дисциплин «Минералогия и кристаллография», «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» и «Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» и направлен на формирование базы будущей углубленной подготовки по специализации.

Основными задачами при изучении дисциплины являются:

- ознакомление с ролью керамических и огнеупорных материалов в народном хозяйстве и дальнейшими перспективами развития керамической технологии в Республике Беларусь и за рубежом;

- изучение современных представлений о структуре керамики и важнейших свойствах керамических материалов во взаимосвязи с их строением;

- изучение основных сырьевых материалов в керамической технологии и оценка сырьевой базы Республики Беларусь;

- изучение теоретических основ и технологических аспектов важнейших процессов и методов керамической технологии;

- ознакомление с дополнительными процессами специфических и вспомогательных производств керамических материалов, а также покрытиями по керамике различного назначения;

- ознакомление с основными положениями охраны труда, противопожарной техники и охраны окружающей среды при производстве керамики.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные положения физикохимии твердого состояния и строения керамики; влияние макро- и микроструктуры на свойства керамических материалов; основные диаграммы фазового состояния систем, имеющих значение для керамической технологии; виды и основные месторождения

минерального сырья для керамической промышленности; основные процессы и методы керамической технологии; физико-химические основы переноса вещества при сушке и спекании; реакции в твердых фазах; покрытия по керамике различного назначения.

Студент должен уметь использовать учебную и методическую литературу, справочные данные; методы анализа процессов технологии керамического производства, определения качественного и количественного фазового состава материала на основе фазовых диаграмм многокомпонентных систем.

В результате изучения дисциплины студент должен приобрести опыт выбора рациональной технологической схемы производства заданного вида керамической продукции; замены минерального сырья различных типов в производстве при условии обеспечения заданного химического состава; прогнозирования исходных составов смесей для синтеза керамических материалов с заданными свойствами.

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

По учебному плану дисциплина «Химическая технология керамики и огнеупоров» изучается в 9-м и 10-м семестрах. Объем учебной работы включает:

- изучение материала (как самостоятельно, так и на лекциях);
- отработку лабораторного практикума;
- выполнение контрольной и курсовой работ;
- сдачу зачета и экзамена.

Студенты-заочники изучают дисциплину в основном самостоятельно по утвержденной программе, пользуясь учебниками, учебными пособиями, технической литературой и другими источниками. Для успешной проработки и усвоения материала студенту рекомендуется вести записи в виде краткого конспекта по отдельным разделам дисциплины. После усвоения основных положений курса студент выполняет контрольную работу (в соответствии с вариантом и правилами оформления) и высылает ее на кафедру для рецензирования. Рецензия должна быть получена до начала экзаменационной сессии. При выполнении работы студент может получить необходимую консультацию на кафедре у преподавателя, ведущего курс.

Во время экзаменационных сессий студенты V курса прослушивают лекции по дисциплине и выполняют лабораторные работы в объеме, предусмотренном рабочей программой курса. В 10-м семестре предусмотрено выполнение курсовой работы, направленной на закрепление полученных знаний и приобретение навыков анализа литературы, технологических расчетов, выбора и обоснования рациональных технологических процессов для получения керамики. Глубокое понимание взаимосвязи между свойствами исходных материалов, параметрами технологического процесса, структурой и свойствами готовых изделий, способность анализировать происходящие в материалах физико-химические процессы являются основой для дальнейшего совершенствования технологии керамического производства подготовленными специалистами.

Сведения о новейших достижениях в области исследования и технологии производства керамических и огнеупорных материалов студенты могут дополнительно получить при ознакомлении с периодическими изданиями (журналами):

- «Стекло и керамика»;
- «Строительные материалы»;
- «Огнеупоры»;
- «Огнеупоры и техническая керамика»;
- «Весці Акадэміі навук»;
- «Химия» (раздел «Силикатные материалы»).

Для контроля знаний, полученных при изучении курса, учебным планом предусмотрены:

- 1) собеседование по контрольной работе (9-й семестр);
- 2) зачет по лабораторным занятиям (9-й семестр);
- 3) защита курсовой работы (10-й семестр);
- 4) экзамен по всему курсу (10-й семестр).

2. ПРОГРАММА КУРСА

Введение

Содержание, задачи и основные разделы дисциплины. Исторические сведения о керамике и керамической технологии. Классификация керамических материалов по эксплуатационному признаку, их роль и значение в народном хозяйстве. Задачи керамической промышленности и перспективы ее развития в Республике Беларусь. Вопросы по технике безопасности и охране окружающей среды при производстве керамических материалов.

Литература: [1–3, 7, 10, 11].

Раздел 1. Строение керамических материалов

1.1. Структура керамики. Характеристика и роль структурных составляющих в керамике (кристаллическая, стекловидная и газовая фазы).

1.2. Текстура, макро- и микроструктура керамики. Количественное и пространственное распределение составляющих фаз. Монофазные и полифазные керамические материалы. Дефекты кристаллической решетки (объемные, поверхностные, линейные и точечные), их влияние на строение и свойства керамики.

1.3. Взаимосвязь фазового состава керамики с диаграммой состояния системы. Использование диаграмм фазового состояния для проектирования составов и определения температуры синтеза керамических материалов с требуемыми фазовым составом и свойствами.

1.4. Применение физико-химических методов для исследования фазового состава и структуры керамических материалов (химический, дифференциально-термический, рентгенофазовый, рентгеноструктурный анализ, оптическая и электронная микроскопия, спектральные методы (ИКС, КР и др.).

Литература: [1, 3–5, 7, 9, 14, 18, 19, 24–26].

Раздел 2. Свойства керамических материалов

2.1. Плотность, пористость и водопоглощение керамики. Классификация пор по виду и размерам, проницаемость системы. Влияние

пористости на эксплуатационные свойства керамики. Экспериментальные и расчетные методы оценки пористости.

2.2. Механические и упругие свойства. Взаимосвязь механических свойств со строением кристаллической решетки. Методы оценки предела прочности керамических образцов при различных видах механических воздействий. Зависимость механических свойств керамики от температуры. Деформационные свойства керамики при нагрузках и высоких температурах. Кратковременная прочность при высокой температуре, температура деформации под нагрузкой, явление ползучести, его механизм, способы оценки.

2.3. Теплофизические и термические свойства: теплоемкость, теплопроводность, температурный коэффициент линейного расширения. Постоянство объема и массы при нагревании. Огнеупорность керамики. Термостойкость. Стадии термического разрушения. Расчетные и экспериментальные методы оценки термостойкости. Морозостойкость, определяющие ее факторы.

2.4. Химическая стойкость керамики. Классификация видов химической стойкости (к шлакам, расплавам, растворам, газовым средам). Процессы, происходящие при химической коррозии, в том числе высокотемпературной при взаимодействии с расплавами, и факторы, влияющие на скорость процессов. Методы оценки химической стойкости.

2.5. Электрофизические свойства. Электросопротивление, электропроводимость, ее механизм и зависимость от температуры. Кристаллохимические аспекты поляризации материалов, ее виды. Диэлектрическая проницаемость. Диэлектрические потери и их виды, взаимосвязь со структурой материала. Электрическая прочность керамики. Сегнето-, пьезоэлектрические и магнитные свойства керамики.

Литература: [1–4, 8, 9, 14–16, 18, 21, 22].

Раздел 3. Основные сырьевые материалы для производства керамики

3.1. Глинистые материалы. Определение, классификация, происхождение. Вещественный состав глин. Строение глинообразующих минералов, минеральный тип глин. Химический и гранулометрический состав глин. Примеси в глинах. Система «глина – вода». Свойства глин (водные, механические, сушильные, термические, технологические). Связь между составом, свойствами глин и областями их ис-

пользования (диаграмма А. И. Августиника). Основные месторождения глин и каолинов, сырьевая база Республики Беларусь.

3.2. Непластичные материалы. Их классификация по назначению. Природные и искусственные отощители. Назначение, свойства, получение. Плавни (флюсующие материалы), их виды, химический и фазовый составы, свойства. Выбор плавней для различных видов керамики. Выгорающие компоненты, их назначение, виды. Основные требования к материалам, применяемым для производства огнеупоров и технической керамики. Использование отходов промышленности в качестве вторичного сырья в производстве керамических изделий. Охрана труда при использовании отходов.

3.3. Специальные материалы для регулирования технологических свойств керамических масс. Технологические связки, пластификаторы, их назначение. Требования, предъявляемые к связкам, их составам и реологическим свойствам. Виды связок и способы их введения в керамические массы. Физико-химический механизм взаимодействия связки с керамической массой. Электролиты, стабилизаторы, коагуляторы, поверхностно-активные вещества, их назначение и виды.

Литература: [1–6, 9–11, 13, 15, 16].

Раздел 4. Основные процессы и методы подготовки керамических масс и получения полуфабриката

4.1. Общая последовательность технологических процессов. Назначение и краткая характеристика каждого процесса.

4.2. Основные способы обогащения керамического сырья и предварительная подготовка материалов. Получение компонентов в измельченном состоянии. Зерновой состав материалов, способы его выражения и определения. Основные типы зерновых составов для различных вариантов керамической технологии. Энергетика, кинетика и интенсификация тонкого измельчения. Основные мероприятия по охране труда и защите окружающей среды при процессах измельчения.

4.3. Смешивание материалов и подготовка масс. Методы оценки однородности керамических масс. Основные схемы подготовки грубозернистых (полусухих и пластичных) и тонкозернистых (полусухих, пластичных и шликеров) масс. Процессы обезвоживания шликеров при мокром способе подготовки массы (фильтрование, электрофорез, распылительная сушка). Вакуумирование и вылеживание пластичных

масс, назначение и режимы этих процессов. Современные (химические, криогенные и др.) способы получения высокооднородных смесей для технической керамики.

4.4. Процессы и методы формования керамических полуфабрикатов. Общие характеристики формовочных смесей. Прессование порошкообразных масс. Структура и свойства пресс-порошков. Последовательность процессов, происходящих при прессовании. Причины неравноплотности прессовок и пути ее устранения. Специальные виды прессования (изостатическое, квазиизостатическое, вибропрессование, горячее прессование и др.), их отличительные особенности.

Формование пластичных масс. Основные понятия теории пластичности дисперсных систем. Важнейшие характеристики керамических масс в пластическом состоянии. Процесс развития и виды деформаций при пластическом формовании. Способы пластического формования (выдавливание или протяжка через профильные мундштуки, допрессовка или прессштамповка, раскатка в тела вращения). Особенности формования пластичных безглинистых масс.

Литье керамических полуфабрикатов из жидкотекучих масс. Классификация методов литья и их теоретические основы, общие требования к шликерам. Литье из водных шликеров в пористые формы. Регулирование свойств водных глинистых и неглинистых шликеров. Физико-химическая роль электролитов в разжижении шликеров. Виды электролитов и подбор их оптимального количества. Основные особенности горячего литья из шликеров на термопластическом связующем. Литье тонких керамических пленок из шликеров на полимерных связках.

Литература: [1–7, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 26].

Раздел 5. Процессы и методы термической обработки керамических материалов и изделий

5.1. Сушка керамических полуфабрикатов. Стадии процесса сушки. Способы регулирования внутренней и внешней диффузии влаги. Факторы, определяющие допустимую скорость удаления влаги при сушке. Методы и режимы сушки в керамической технологии для различных видов изделий. Пути интенсификации процессов сушки. Способы и режимы удаления органических пластификаторов из полуфабрикатов.

5.2. Процессы спекания и обжиг керамики. Определение и критерии процесса спекания. Термодинамическое описание процессов, протекающих при обжиге. Движущая сила процесса спекания. Классифи-

кация процессов по структурным составляющим, определяющим явление спекания и механизм переноса вещества.

Жидкостное спекание. Процесс уплотнения, определяемый вязким течением жидкости и физико-химическим взаимодействием твердой и жидкой фаз. Влияние свойств и строения расплава на процесс спекания. Регулирование и интенсификация процесса жидкофазного спекания.

Твердофазовое спекание. Механизмы переноса вещества: пластическая деформация зерен, испарение-конденсация, поверхностная и объемная диффузия. Процесс рекристаллизации при спекании. Методы интенсификации процесса твердофазового спекания. Роль минерализаторов при спекании. Спекание под давлением (горячее прессование). Реакционное спекание при взаимодействии с газовой средой обжига.

5.3. Обжиг керамических изделий. Факторы, определяющие выбор режима обжига изделий (температура, скорость подъема температуры, изотермическая выдержка, скорость охлаждения). Роль термических напряжений и процессов массообмена при подборе температурно-временных параметров. Мероприятия по охране труда и окружающей среды, осуществляемые на предприятиях при обжиге керамических изделий.

Литература: [1–4, 7–10, 12–14, 26, 27].

Раздел 6. Дополнительные технологические процессы в керамической технологии

6.1. Получение пористых керамических структур. Типы пористых структур, их назначение и основные характеристики. Методы поризации структуры (введение выгорающих добавок, пенообразователей в концентрированную суспензию, газообразование за счет химических реакций в керамической массе, использование полых микросфер). Особенности получения пористой керамики с высокой проницаемостью для фильтрации жидких и газообразных сред.

6.2. Получение минеральных волокон и их применение в керамической технологии. Требования к волокнам. Основные сырьевые материалы. Получение минеральных расплавов и типы применяемых установок. Способы волокнообразования (дутьевой горизонтальный и вертикальный, центробежный и центробежно-дутьевой).

6.3. Получение безобжиговых и неформованных керамических материалов и изделий. Наполнители и их назначение. Влияние зернового состава наполнителя на плотность изделий. Связующие материалы (це-

менты, фосфатные и силикатные связки и др.). Процессы упрочнения безобжиговых материалов.

6.4. Механическая обработка керамики. Назначение процесса и исходные механические характеристики керамики. Виды обработки (резание, шлифование, обработка ультразвуком). Характер разрушения керамики при шлифовании. Применяемые абразивные материалы и их свойства. Шлифовальные порошки, пасты, суспензии.

6.5. Изготовление гипсовых форм. Требования к формовочному гипсу и гипсовым формам. Приготовление и процесс твердения гипсового раствора. Последовательность изготовления форм для литья и пластического формования. Недостатки гипсовых форм. Использование других пористых материалов (металлокерамических и полимерных композиций) для изготовления форм.

Литература: [1, 2, 6–8, 10–13, 20].

Раздел 7. Покрытия по керамике

7.1. Глазурование керамики. Типы глазурей и их свойства. Составы и методы расчета составов и свойств глазурей. Сырьевые материалы и методы приготовления фриттованных и сырых глазурей. Основные критерии подбора глазурей к керамическому черепку. Способы нанесения глазурей на поверхность изделий. Дефекты глазурных покрытий, их причины и способы устранения.

7.2. Ангобирование керамических изделий. Ангобы и их назначение. Составы и применяемые сырьевые материалы. Способы приготовления и нанесения ангобов на поверхность изделий.

7.3. Декорирование керамических изделий. Материалы, применяемые для декорирования. Керамические пигменты, классификация, исходные материалы, технология получения. Керамические краски, надглазурные и подглазурные. Технология их приготовления. Препараты благородных металлов, люстры. Методы декорирования (ручная живопись, декалькомания, аэрография и др.). Закрепительный обжиг декора.

7.4. Металлизация и получение металлокерамических узлов. Назначение металлизации. Требования к металлическим покрытиям по керамике различного назначения. Используемые металлы и металлосодержащие пасты. Варианты технологии металлизации (метод вжигания металла или соли металла; пламенное, плазменное и вакуумно-плазменное напыления; термокомпрессионная и диффузионная сварка керамики и металла).

Литература: [1–3, 6, 7, 9–12, 15, 16].

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Качество керамических и огнеупорных изделий, технология их производства базируются на составах масс, принятых для изготовления данного вида изделий. Правильность выбора состава шихты определяется технологическими свойствами массы, которые должны обеспечивать рациональный процесс производства и высокое качество продукции при минимальных энергетических и материальных затратах.

Умение правильно рассчитывать составы, осуществлять своевременную корректировку при изменении влажности сырьевых материалов, замене отдельных компонентов шихты и т. д. является залогом выпуска качественной продукции.

3.1. Расчет содержания вещества, влажности материалов и керамических масс

3.1.1. Пересчет количества влажного материала на сухое вещество

При расчете количества влажных материалов используют такие характеристики, как абсолютная и относительная влажность.

Абсолютную влажность W_a , или влажность, отнесенную к высушенной до постоянного веса навеске, находят по формуле

$$W_a = \frac{q_0 - q_1}{q_1} \cdot 100\%,$$

где q_0 – масса влажного материала; q_1 – масса материала, высушенного до постоянного значения.

Относительную влажность W , или влажность, отнесенную к массе влажного материала, определяют по формуле

$$W = \frac{q_0 - q_1}{q_0} \cdot 100\%.$$

Соотношение между абсолютной и относительной влажностью выражается зависимостями

$$W = \frac{100W_a}{100 + W_a}; \quad W_a = \frac{100W}{100 - W}.$$

Пример. Определить относительную карьерную влажность глины, если навеска массой 20,35 г после сушки в сушильном шкафу уменьшилась до 15,72 г.

$$W = \frac{20,35 - 15,72}{20,35} \cdot 100\% = 22,75\%.$$

Абсолютная влажность всегда имеет большее значение и для данной глины составляет: $W_a = 29,45\%$.

На практике все технологические расчеты с материалами производятся по сухому веществу, т. е. составы материалов пересчитываются на продукт, не содержащий механически связанной воды. Пересчет ведут по следующей формуле:

$$X_c = \frac{q_{\text{вл}} \cdot (100 - W)}{100},$$

где X_c – искомая масса сухого материала, г; $q_{\text{вл}}$ – исходная масса влажного материала, г; W – влажность материала, %.

Пример. Рассчитать количество сухого вещества, содержащегося в 1850 кг глины с влажностью 22%.

$$X_c = \frac{1850 \cdot (100 - 22)}{100} = 1443 \text{ кг.}$$

Пересчет на сухое вещество смеси (шихты), содержащей несколько компонентов, производится по формулам

$$X_c = \sum_{i=1}^N \frac{a_i \cdot (100 - W) \cdot 100}{100b}$$

(если состав не пересчитан на 100%);

$$X_c = \sum_{i=1}^N \frac{a_i \cdot (100 - W)}{100}$$

(если состав приведен к 100%),

где X_c – искомая масса сухого вещества в смеси; a_i – содержание отдельной составной части, %; $100b$ – общая сумма составных частей шихты a_i , %.

Пример. Рассчитать количество сухого вещества, содержащегося в шихте состава, мас. %: глина – 70; гранитные отсеvy – 15; металлургический шлак – 10; шамот – 5, если влажность глины – 24; гранитных отсеvov – 7; шлака – 5; шамота – 0,5%. Масса шихты 450 кг.

$$X_c = \frac{450 \cdot 0,7 \cdot (100 - 24)}{100} + \frac{450 \cdot 0,15 \cdot (100 - 7)}{100} + \frac{450 \cdot 0,1 \cdot (100 - 5)}{100} + \frac{450 \cdot 0,05 \cdot (100 - 0,5)}{100} = 239,4 + 62,8 + 42,7 + 22,4 = 367,3 \text{ кг.}$$

3.1.2. Пересчет содержания сухого вещества на влажный материал

Пересчет осуществляется по формуле

$$X_{\text{вл}} = \frac{q_c \cdot 100}{100 - W},$$

где $X_{\text{вл}}$ – искомая масса влажного материала; q_c – исходная масса сухого материала; W – относительная влажность.

Иногда на практике пересчеты сухого материала на влажный проводят, принимая массу сухого материала за 100%. Тогда

$$X_{\text{вл}} = \frac{q_c \cdot (100 + W_a)}{100}.$$

Пример. Определить массу материала при его увлажнении до 16%. Начальная влажность 0%. Количество материала 850 кг.

$$X_{\text{вл}} = \frac{850 \cdot 100}{100 - 16} = 1011,9 \text{ кг.}$$

3.1.3. Пересчет материала с одной влажности на другую

Такой расчет необходим при изменении в технологическом процессе влажности материала, например при роспуске глины, обезвоживании шликера и др. Осуществляется по формуле

$$X_{\text{вл}} = \frac{q \cdot (100 - W)}{100 - W_1},$$

где $X_{\text{вл}}$ – искомая масса материала с новой влажностью; q – масса материала с исходной влажностью; W – исходная влажность материала; W_1 – влажность материала после его переработки.

Пример. Дана природная глина массой 300 кг и влажностью 15%. Необходимо определить ее массу после увлажнения до 24%.

$$X_{\text{вл}} = \frac{300 \cdot (100 - 15)}{100 - 24} = 335,5 \text{ кг.}$$

Пример. Суспензию фарфоровой массы (4500 кг) с влажностью 55% пропустили через фильтр-пресс. Влажность коржей после обезвоживания составила 22%. Определить массу коржей.

$$X_{\text{корж}} = \frac{4500 \cdot (100 - 55)}{100 - 22} = 2596,15 \text{ кг.}$$

Пример. Дан состав фарфоровой массы, мас. %: глина часов-ярская – 16; каолин просяновский – 35; кварцевый песок – 25; полевого шпат – 24. Исходные материалы имеют влажность, %: глина – 20; каолин – 18; кварцевый песок – 0,5; полевого шпат – 1. Требуется рассчитать необходимое количество материалов и воды для получения 100 кг массы с влажностью 22%.

Необходимое количество сухих материалов (глины) составляет:

$$\frac{100 \cdot 0,16 \cdot (100 - 22)}{100} = 12,5 \text{ кг.}$$

Аналогично определяется количество других материалов, кг: каолина – 27,3; полевого шпата – 18,7; кварцевого песка – 19,5.

Количество воды в массе составит:

$$100 - 12,5 - 27,3 - 18,7 - 19,5 = 22 \text{ кг (либо } 100 \cdot 0,22 = 22 \text{ кг).}$$

С учетом влажности количество материалов составит:

- глины – $(12,5 \cdot 100) / (100 - 20) = 15,6$ кг (вода в глине составит: $15,6 - 12,5 = 3,1$ кг);

- каолина – 33,3 кг (вода в каолине – 6,0 кг);

- полевого шпата – 18,9 (вода в полевоом шпате – 0,2 кг);

- кварцевого песка – 19,6 (вода в кварцевом песке – 0,1 кг).

При этом в массу потребуется добавить воду в количестве:

$$22 - 3,1 - 6,0 - 0,2 - 0,1 = 12,6 \text{ кг.}$$

Эти же значения количества материалов можно получить из формулы пересчета материала с одной влажности на другую. Например, для глины:

$$X_{\text{гл}} = \frac{100 \cdot 0,16 \cdot (100 - 22)}{100 - 20} = 15,6 \text{ кг.}$$

Расчет необходимого количества суспензии и порошка для приготовления керамической массы заданной влажности производится следующим образом:

$$X_{\text{пор}} = \frac{W_{\text{сусп}} - W_{\text{м}}}{W_{\text{сусп}} - W_{\text{пор}}} \cdot 100\%;$$

$$X_{\text{сусп}} = \frac{W_{\text{м}} - W_{\text{пор}}}{W_{\text{сусп}} - W_{\text{пор}}} \cdot 100\%,$$

где $X_{\text{пор}}$ – количество порошка для керамической массы, %; $X_{\text{сусп}}$ – количество керамической суспензии, %; $W_{\text{сусп}}$, $W_{\text{пор}}$, $W_{\text{м}}$ – соответственно влажности суспензии, порошка и массы, %.

Пример. Определить необходимое количество фаянсового шликера (суспензии) и порошка для приготовления из них керамической массы с влажностью 24%. Влажность порошка 8%. Влажность шликера 58%.

$$X_{\text{шл}} = \frac{24 - 8}{58 - 8} \cdot 100\% = 32\%;$$

$$X_{\text{пор}} = \frac{58 - 24}{58 - 8} \cdot 100\% = 68\%.$$

Проверяем правильность расчета: $W_{\text{м}} = 58 \cdot 0,32 + 8 \cdot 0,68 = 24\%$, что соответствует заданию.

3.2. Расчет химического и шихтового составов масс и глазурей

3.2.1. Расчет химического состава массы

Для выполнения требуемого расчета необходимо знать шихтовой состав массы, а также химический состав применяемых сырьевых материалов.

Пример. Рассчитать химический состав массы в производстве изразцов, содержащей, мас. %: глина никифоровская – 42,5; глина ДНПК – 22,5; нефелин-сиенит – 20; кварцевый песок – 10; бой изделий – 5.

Прежде чем приступить к расчету, нужно из шихтового рецепта массы исключить бой (так как обычно используются отходы производства этого же вида изделий, которые не влияют на химический состав массы) и привести рецептуру к 100%. В результате к расчету принимается следующий шихтовой состав массы, мас. %: глина никифоровская – 44,74; глина ДНПК – 23,68; нефелин-сиенит – 21,05; кварцевый песок – 10,53.

Применяемые сырьевые материалы имеют химический состав, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Шихтовые компоненты	Оксиды и их содержание, %								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п
Глина никифоровская	56,02	0,96	23,46	9,17	0,75	0,74	–	–	8,90
Глина ДНПК	60,97	0,71	22,26	1,76	2,79	2,04	2,34	–	7,13
Нефелин-сиенит	44,37	–	28,97	3,30	2,20	0,43	11,94	7,67	1,12
Кварцевый песок	96,38	–	1,47	0,05	0,50	–	0,13	0,15	1,32

Если химический состав сырьевых материалов не равен 100%, то его следует пересчитать.

Далее рассчитывается содержание оксидов, вводимых в массу каждым компонентом шихты в соответствии с рецептом, а затем вычисляется суммарное количество каждого оксида в массе. Например, при введении в массу 44,74% никифоровской глины будет введено:

$$\text{SiO}_2: 56,02 \cdot 0,4474 = 25,06 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{TiO}_2: 0,96 \cdot 0,4474 = 0,43 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3: 23,46 \cdot 0,4474 = 10,50 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3: 9,17 \cdot 0,4474 = 4,10 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{CaO}: 0,75 \cdot 0,4474 = 0,34 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{MgO}: 0,74 \cdot 0,4474 = 0,33 \text{ мас. ч.};$$

$$\text{п.п.п.}: 8,90 \cdot 0,4474 = 3,98 \text{ мас. ч.}$$

Аналогично рассчитывается количество оксидов, вносимых глиной ДНПК, нефелин-сиенитом и кварцевым песком.

Данные расчетов сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные данные определения химического состава массы

Шихтовые компоненты	Шихтовой состав, мас. %	Содержание оксидов, введенных каждым компонентом массы, мас. ч.								
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Глина никифоровская	44,74	25,06	0,43	10,50	4,10	0,34	0,33	–	–	3,98
Глина ДНПК	23,68	14,44	0,17	5,27	0,42	0,66	0,48	0,55	–	1,69
Нефелин-сиенит	21,05	9,34	–	6,10	0,69	0,46	0,10	2,51	1,61	0,24
Кварцевый песок	10,53	10,15	–	0,15	0,01	0,05	–	0,01	0,02	0,14
Σ на непрокаленное вещество	100,00	58,99	0,60	22,02	5,22	1,51	0,91	3,07	1,63	6,05

Шихтовые компоненты	Шихтовой состав, мас. %	Содержание оксидов, введенных каждым компонентом массы, мас. ч.								
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Σ на прокаленное вещество	100,00	62,79	0,64	23,44	5,55	1,61	0,97	3,27	1,73	–

Таким образом, химический состав керамической массы будет следующим, мас. %: SiO₂ – 62,79; TiO₂ – 0,64; Al₂O₃ – 23,44; Fe₂O₃ – 5,55; CaO – 1,61; MgO – 0,97; Na₂O – 3,27; K₂O – 1,73.

При проведении расчета допустимы следующие упрощения. Если компонент вводят в незначительном количестве, то можно включить в расчет лишь те оксиды, которые являются в нем преобладающими. Содержание Fe₂O₃ и TiO₂ обычно приплюсовывают к Al₂O₃. Содержание щелочных оксидов определяют как сумму K₂O + Na₂O.

Пересчет состава на прокаленное вещество производят путем деления содержания в массе каждого оксида на величину (100 – п.п.п.), т. е. приведением состава к 100% без п.п.п. Результат определяется в процентах. Например, для SiO₂:

$$\frac{58,99 \cdot 100}{100 - 6,05} = 62,79\%.$$

3.2.2. Расчет потерь при прокаливании шихты (п.п.п.)

Расчет п.п.п. шихты производят исходя из величины п.п.п. каждого сырьевого материала и его количественного содержания в шихте.

Пример. Рассчитать потери при прокаливании шихты, содержащей, мас. %: глина «Городок» (нижний слой) – 50; глина ДНПК – 15; нефелин-сиенит – 13; кварцевый песок – 15; шамот – 7. Химический состав сырьевых материалов приведен в приложении.

П.п.п., %, будут равны:

$$7,69 \cdot 0,50 + 8,91 \cdot 0,15 + 0,36 \cdot 0,13 + 1,32 \cdot 0,15 + 0 \cdot 0,07 = 5,43.$$

Примечание. Шамот не имеет потерь при прокаливании, так как прошел обжиг при высокой температуре.

3.2.3. Расчет коэффициента кислотности керамических масс

Одним из показателей поведения керамических изделий во время обжига и эксплуатации является коэффициент кислотности (КК) кера-

мических материалов, т. е. отношение эквивалентов кислот к эквивалентам оснований. Коэффициент кислотности определяют по формуле

$$KK = \frac{RO_2}{R_2O + RO + 3R_2O_3},$$

где RO_2 – содержание SiO_2 , TiO_2 и SnO_2 , молей; R_2O – содержание Na_2O и K_2O , молей; RO – содержание CaO и MgO , молей; R_2O_3 – содержание Al_2O_3 и Fe_2O_3 , молей.

Пример. Дан молекулярный состав фарфора, молей: SiO_2 – 16,3864; Al_2O_3 – 3,3455; Fe_2O_3 – 0,0493; TiO_2 – 0,0634; CaO – 0,1101; MgO – 0,1861; K_2O – 0,4852; Na_2O – 0,2186. Найти коэффициент кислотности.

$$KK = \frac{16,3864 + 0,0634}{0,1101 + 0,1861 + 0,4852 + 0,2186 + 3 \cdot (3,3455 + 0,0493)} =$$

$$= \frac{16,4498}{11,1844} = 1,47.$$

Коэффициент кислотности твердого фарфора равен 1,1–1,3; мягкого фарфора – 1,68–1,75; хозяйственного – 1,26–1,65; фаянса – 1,4–1,5; майолики – 1,40–1,45; для керамических изделий других видов достигает 2, но не более.

С повышением кислотности массы увеличивается хрупкость керамики и возрастает ее способность к деформации при обжиге, улучшается просвечиваемость, но снижается термостойкость изделий.

Отношение $R_2O_3 / (R_2O + RO)$ также характеризует устойчивость керамических масс к обжигу. Для фарфора оно находится в пределах 2–5. Чем больше это отношение, тем устойчивее массы к обжигу.

3.2.4. Расчет химических составов глазурей

Как правило, в производстве керамических изделий глазури задаются химическим составом, который может быть выражен в молярных или массовых процентах, либо молекулярной формулой Зегера. В ряде случаев требуются пересчеты с одного вида химического состава в другой.

Пример. Дан химический состав глазури, мас. %: SiO_2 – 61,31; Al_2O_3 – 7,4; B_2O_3 – 15,5; CaO – 5,54; MgO – 2,05; K_2O – 4,68; Na_2O – 3,52. Требуется представить химический состав данной глазури в молярных процентах.

В данном случае следует определить относительное число молей каждого из оксидов, входящих в состав глазури, путем деления содержания каждого оксида в процентах на его относительную молекулярную массу (M). Затем полученные результаты приводят к 100% путем деления содержания каждого оксида в молях на суммарное содержание молей оксидов:

	мас. %	M	моли	мол. %
SiO ₂	– 61,31	: 60,10	→ 1,0201	→ 64,91
Al ₂ O ₃	– 7,40	: 101,96	→ 0,0726	→ 4,62
B ₂ O ₃	– 15,50	: 69,62	→ 0,2226	→ 14,17
CaO	– 5,54	: 56,10	→ 0,0988	→ 6,29
MgO	– 2,05	: 40,31	→ 0,0509	→ 3,24
K ₂ O	– 4,68	: 94,20	→ 0,0497	→ 3,16
Na ₂ O	– 3,52	: 61,98	→ 0,0568	→ 3,61
			<u>Σ1,5715</u>	<u>Σ100</u>

При переводе молярных процентов в массовые следует содержание каждого оксида в молярных процентах перевести в массовые доли и умножить на его молекулярную массу (M). Полученную сумму привести к 100%.

Пример. Дан химический состав глазури, мол. %: SiO₂ – 56,71; Al₂O₃ – 3,8; B₂O₃ – 17,9; CaO – 6,85; MgO – 3,98; K₂O – 3,64; Na₂O – 7,12. Требуется выразить состав глазури в массовых процентах.

	мол. %	M	мас. доли	мас. ч.	мас. %
SiO ₂	– 56,71	→ 60,10	· 0,5671	→ 34,08	→ 53,51
Al ₂ O ₃	– 3,80	→ 101,96	· 0,0380	→ 3,87	→ 6,08
B ₂ O ₃	– 17,90	→ 69,62	· 0,1790	→ 12,46	→ 19,56
CaO	– 6,85	→ 56,10	· 0,0685	→ 3,84	→ 6,03
MgO	– 3,98	→ 40,31	· 0,0398	→ 1,60	→ 2,51
K ₂ O	– 3,64	→ 94,20	· 0,0364	→ 3,43	→ 5,39
Na ₂ O	– 7,12	→ 61,98	· 0,0712	→ 4,41	→ 6,92
				<u>Σ63,69</u>	<u>Σ100</u>

Пример. Дан химический состав глазури, мас. %: SiO₂ – 47,7; Al₂O₃ – 7,48; B₂O₃ – 15,6; PbO – 12,42; CaO – 6,86; MgO – 2,22; K₂O – 4,48; Na₂O – 3,24. Требуется рассчитать молекулярную формулу глазури (формулу Зегера).

При определении молекулярной формулы сначала следует массовые проценты содержания каждого из оксидов, входящих в состав глазури, перевести в относительное число молей. При составлении молекулярной формулы сумму молей веществ R_2O и RO , содержащихся в глазури, приравнивают к единице и вычисляют приходящиеся на 1 моль $R_2O + RO$ число молей оксидов типа R_2O_3 (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 и др.) и кислотных оксидов RO_2 (SiO_2 , B_2O_3). Конечная формула имеет вид:

$$1(R_2O + RO) \cdot mR_2O_3 \cdot nRO_2.$$

а) расчет содержания относительного числа молей оксидов, входящих в состав глазури:

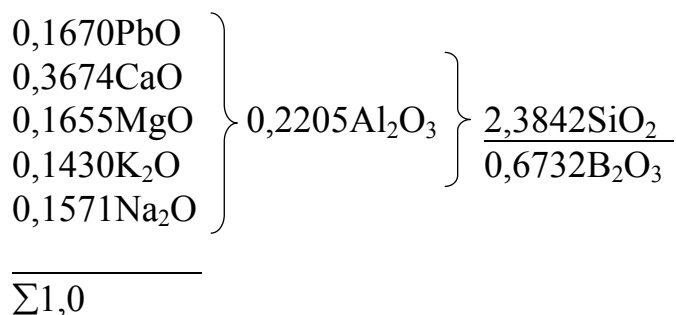
	мас. %	M	моли
SiO_2	– 47,70	: 60,10	→ 0,7937
Al_2O_3	– 7,48	: 101,96	→ 0,0734
B_2O_3	– 15,60	: 69,62	→ 0,2241
PbO	– 12,42	: 223,19	→ 0,0556
CaO	– 6,86	: 56,08	→ 0,1223
MgO	– 2,22	: 40,31	→ 0,0551
K_2O	– 4,48	: 94,20	→ 0,0476
Na_2O	– 3,24	: 61,98	→ 0,0523
			<u>Σ1,4241</u>

Далее формула глазури может быть представлена в следующем виде:

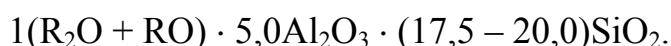
$$\begin{array}{l}
 0,0523Na_2O \\
 0,0476K_2O \\
 0,0551MgO \\
 0,1223CaO \\
 0,0556PbO
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0,0523Na_2O \\ 0,0476K_2O \\ 0,0551MgO \\ 0,1223CaO \\ 0,0556PbO \end{array}} \right\} 0,0734Al_2O_3 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 0,0734Al_2O_3 \\ 0,7937SiO_2 \\ 0,2241B_2O_3 \end{array}} \right\} \begin{array}{l} 0,7937SiO_2 \\ 0,2241B_2O_3 \end{array}$$

$$\Sigma 0,3329$$

б) вычисление молекулярной формулы: сумма оксидов R_2O и RO ($0,0523 + 0,0476 + 0,0551 + 0,1223 + 0,0556 = 0,3329$) приравнивается к единице. Для пересчета остальных оксидов следует разделить число молей каждого на $0,3329$. Тогда молекулярный состав глазури будет следующим:

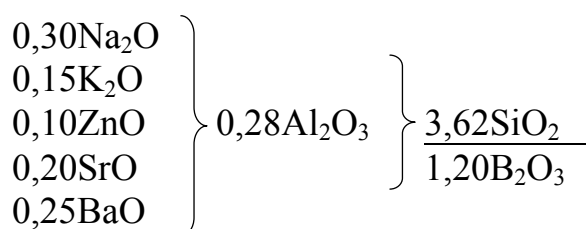


Аналогичным образом вычисляется молекулярная формула для керамических масс. Например, молекулярная формула твердого фарфора будет иметь вид:



Для вычисления содержания оксидов по молекулярному составу или молярным процентам необходимо содержание каждого оксида в молях или молярных процентах умножить на соответствующую относительную молекулярную массу (M), а получившуюся сумму принять за 100%.

Пример. Рассчитать химический состав глазури по ее молекулярной формуле:



Расчет ведется следующим образом:

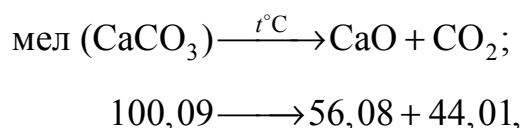
	моли	M		мас. ч.	мас. %
SiO_2	– 3,62	· 60,10	→	217,56	→ 50,65
B_2O_3	– 1,20	· 69,62	→	83,54	→ 19,45
Al_2O_3	– 0,28	· 101,96	→	28,55	→ 6,65
BaO	– 0,25	· 153,34	→	38,34	→ 8,92
SrO	– 0,20	· 103,62	→	20,72	→ 4,82
ZnO	– 0,10	· 81,37	→	8,14	→ 1,89
K_2O	– 0,15	· 94,20	→	14,13	→ 3,29
Na_2O	– 0,30	· 61,98	→	18,59	→ 4,33
				$\Sigma 429,57$	$\Sigma 100$

Таким образом, химический состав глазури будет следующим, мас. %: $\text{SiO}_2 - 50,65$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,65$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 19,45$; $\text{BaO} - 8,92$; $\text{SrO} - 4,82$; $\text{ZnO} - 1,89$; $\text{K}_2\text{O} - 3,29$; $\text{Na}_2\text{O} - 4,33$.

3.2.5. Расчет шихтового состава глазурей

Расчет шихтового состава глазурей производится на основе заданного химического состава в соответствии с используемыми сырьевыми компонентами и их химическим составом. В качестве сырьевых компонентов используются природные (кварцевый песок, мел, доломит, пегматит), в том числе и обогащенные (каолин, полевошпатовое сырье), а также продукты химических производств (глинозем, оксид магния, кальцинированная сода, поташ, борная кислота и др.).

Расчет шихтового состава глазурей начинают с компонентов, имеющих сложный состав и обеспечивающих ввод нескольких оксидов. В этом случае расчет производится исходя из химического состава компонента. Оксиды, дополнительно вводимые с основным оксидом, вычитаются при дальнейших расчетах. Если используемые материалы являются химически чистыми, то в таком случае переход от оксидного состава к шихтовому можно осуществлять через переводные коэффициенты, которые рассчитываются исходя из химических реакций, протекающих при высоких температурах в процессе варки фритты (для фриттованных глазурей) либо при наплавлении глазурей (для нефриттованных), например:



откуда следует, что для ввода в состав глазури 56,08 мас. ч. CaO необходимо ввести 100,09 мас. ч. мела, т. е.

$$K = \frac{100,09}{56,08} = 1,78.$$

Переводной коэффициент может быть рассчитан исходя из количественного содержания оксида в применяемом компоненте, например при содержании 99% SiO_2 в кварцевом песке $K = 100 / 99 = 1,01$.

Если в процессе варки компонент улетучивается, то это учитывается при расчете, например для борной кислоты с учетом 12% на улетучивание переводной коэффициент будет равен 1,77 плюс 12%, что в итоге составит около 2.

Пример. Рассчитать шихтовой состав фритты, имеющей следующий химический состав, мас. %: SiO_2 – 60,02; Al_2O_3 – 11,49; B_2O_3 – 10,92; CaO – 2,53; MgO – 1,5; K_2O – 6,67; Na_2O – 3,79; ZrO_2 – 3,08.

В данном примере требуется ввести: SiO_2 – кварцевым песком, Al_2O_3 – пегматитом, B_2O_3 – борной кислотой, CaO – мелом, MgO – магниезией, K_2O – поташом, Na_2O – кальцинированной содой, ZrO_2 – цирконом.

Расчет шихтового состава глазури начинают с пегматита, с которым вводятся разные оксиды.

Химический состав пегматита, мас. %: SiO_2 – 70,39; TiO_2 – 0,13; Al_2O_3 – 16,94; Fe_2O_3 – 0,25; CaO – 1,02; MgO – 0,48; Na_2O – 2,9; K_2O – 7,46; п.п.п. – 0,43.

Из приведенного химического состава пегматита видно, что при вводе 100 мас. ч. в состав глазури войдет 16,94 мас. ч. Al_2O_3 . По условию задачи в глазури необходимо иметь 11,49 мас. ч. Al_2O_3 ; количество пегматита, обеспечивающее это количество, рассчитывается исходя из соотношения:

$$\begin{aligned} 100 \text{ мас. ч. пегматита} &- 16,94 \text{ мас. ч. } \text{Al}_2\text{O}_3 \\ X_{\text{пегм}} &- 11,49 \text{ мас. ч. } \text{Al}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$

$$X_{\text{пегм}} = \frac{100 \cdot 11,49}{16,94} = 67,83 \text{ мас. ч.}$$

Дополнительно с пегматитом в состав глазури войдут следующие оксиды: SiO_2 , Na_2O , K_2O . Содержание остальных оксидов незначительно и в расчете не учитывается. Количество оксидов рассчитывается исходя из соотношения:

$$\begin{aligned} 100 \text{ мас. ч. пегматита} &- A_{\text{окс}} \text{ мас. ч.} \\ 67,83 \text{ мас. ч. пегматита} &- X_{\text{окс}} \end{aligned}$$

$$X_{\text{SiO}_2} = \frac{67,83 \cdot 70,39}{100} = 47,75 \text{ мас. ч.};$$

$$X_{\text{Na}_2\text{O}} = \frac{67,83 \cdot 2,9}{100} = 1,97 \text{ мас. ч.};$$

$$X_{\text{K}_2\text{O}} = \frac{67,83 \cdot 7,46}{100} = 5,06 \text{ мас. ч.}$$

Аналогичным образом рассчитывается содержание вводимого цирконового концентрата (при условии, что в нем содержится 65% ZrO_2 и 33% SiO_2).

$$X_{\text{цирк.конц}} = \frac{100 \cdot 3,08}{65} = 4,74 \text{ мас. ч.};$$

$$X_{SiO_2} = \frac{4,74 \cdot 33}{100} = 1,56 \text{ мас. ч.}$$

Далее, учитывая количество оксидов, введенных с пегматитом и цирконовым концентратом, и используя переводные коэффициенты, можно продолжить расчет следующим образом:

Оксид	Содержание, мас. %	Материал (переводной коэффициент)	Шихта на 100 кг фритты	Шихтовой состав фритты, мас. %
SiO_2	60,02 – 47,75 – 1,56	Кварцевый песок (1,01)	10,82	9,27
Al_2O_3	11,49	Пегматит	67,83	58,11
B_2O_3	10,92	Борная кислота (2)	21,84	18,71
CaO	2,53	Мел (1,78)	4,50	3,86
MgO	1,48	Магнезия (1,01)	1,52	1,30
K_2O	6,67 – 5,06	Поташ (1,48)	2,38	2,04
Na_2O	3,79 – 1,97	Сода кальцинированная (1,7)	3,09	2,65
ZrO_2	3,08	Цирконовый концентрат	4,74	4,06
			$\Sigma 116,69$	$\Sigma 100$

Таким образом, шихтовой состав фритты будет следующий, мас. %: кварцевый песок – 9,27; пегматит – 58,11; борная кислота – 18,71; мел – 3,86; магнезия – 1,30; поташ – 2,04; сода кальцинированная – 2,65; цирконовый концентрат – 4,06.

Расчет химического состава глазури по ее шихтовому составу ведется аналогично расчету химического состава массы по ее шихтовому составу (см. подразд. 3.2.1).

3.3. Расчет свойств глазурей

3.3.1. Расчет температурного коэффициента линейного расширения глазурей (ТКЛР)

Расчет ТКЛР осуществляется по методу Аппена по общей формуле

$$\alpha \cdot 10^7 = \frac{A_1 \bar{\alpha}_1 + A_2 \bar{\alpha}_2 + \dots + A_n \bar{\alpha}_n}{100} = \frac{\sum A_i \bar{\alpha}_i}{100},$$

или

$$\alpha \cdot 10^7 = \frac{a_1 \bar{\alpha}_1 + a_2 \bar{\alpha}_2 + \dots + a_n \bar{\alpha}_n}{\sum a_i} = \frac{\sum a_i \bar{\alpha}_i}{\sum a_i}.$$

Приведенные формулы отличаются только способом выражения составов:

A_i – содержание оксидов, мол. %;

$\bar{\alpha}_i$ – усредненные парциальные коэффициенты расширения оксидов;

a_i – содержание оксидов, молей (применяется при использовании молекулярной формулы глазури).

Усредненные парциальные коэффициенты расширения оксидов являются известными данными и берутся из таблиц (табл. 3), а для SiO_2 , B_2O_3 , TiO_2 и PbO их вычисляют по приближенным эмпирическим формулам, так как их величина зависит от химического состава глазури.

Для расчета $\bar{\alpha}$ оксидов пользуются формулой

$$\bar{\alpha}_{\text{SiO}_2} \cdot 10^7 = 38 - 1(A_{\text{SiO}_2} - 67),$$

где A_{SiO_2} – молярный процент кремнезема в глазури.

Если SiO_2 содержится в глазури в количестве, равном или меньшем 67 мол. %, то величина $\bar{\alpha}_{\text{SiO}_2}$ условно принимается постоянной и равной 38.

$$\bar{\alpha}_{\text{TiO}_2} \cdot 10^7 = 30 - 1,5(A_{\text{SiO}_2} - 50),$$

т. е. расчетный коэффициент для оксида титана зависит от содержания SiO_2 в глазури.

$$\bar{\alpha}_{\text{B}_2\text{O}_3} \cdot 10^7 = 12,5(4 - \psi) - 50,$$

где ψ – отношение суммарного числа молей оксидов Li_2O , Na_2O , K_2O , CaO , BaO к числу молей оксида B_2O_3 :

$$\psi = \frac{A_{\text{Li}_2\text{O}} + A_{\text{Na}_2\text{O}} + A_{\text{K}_2\text{O}} + A_{\text{CaO}} + A_{\text{BaO}}}{A_{\text{B}_2\text{O}_3}}$$

Если $\psi > 4$, то $\bar{\alpha}_{\text{B}_2\text{O}_3} \cdot 10^7$ условно принимается постоянным и равным 50. При вычислении ψ наличие в стекле оксидов MgO, ZnO и PbO во внимание не принимается. В случае одновременного присутствия в стекле борного ангидрида и Al_2O_3 коэффициент ψ определяется по формуле

$$\psi = \frac{A_{\text{R}_2\text{O}} + A_{\text{RO}} - A_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{A_{\text{B}_2\text{O}_3}},$$

где $A_{\text{R}_2\text{O}}$ и A_{RO} – суммарные молярные проценты содержания оксидов металлов со степенью окисления 1 и 2.

Таблица 3

**Усредненные парциальные расчетные коэффициенты
линейного расширения оксидов и фторидов в силикатных стеклах**

Компонент	$\bar{\alpha}_i \cdot 10^7$ в интервале 20–400°C	Молекулярный вес	Компонент	$\bar{\alpha}_i \cdot 10^7$ в интервале 20–400°C	Молекулярный вес
SiO ₂	5–38	60,09	CoO	50	74,9
Li ₂ O	270	29,9	NiO	50	74,7
Na ₂ O	395	62,0	CuO	30	79,6
K ₂ O	465	94,2	Al ₂ O ₃	–30	101,9
BeO	45	25,0	B ₂ O ₃	0–50	69,6
MgO	60	40,3	Sb ₂ O ₃	75	291,5
CaO	130	56,1	TiO ₂	От +30 до –15	79,9
SrO	160	103,6	ZrO ₂	–60	123,2
BaO	200	153,4	SnO ₂	–45	150,7
ZnO	50	81,4	P ₂ O ₅	140	142,0
CdO	115	128,4	CaF ₂	180	78,1
PbO	130–190	223,2	Na ₂ SiF ₆	340	188,1
MnO	105	70,9	Na ₃ AlF ₆	480	210,1
FeO	55	71,8	FeO	55	79,8

Примечание. Для SiO₂ минимальное значение коэффициента дано для чистого кварцевого стекла, а максимальное – для стекла или глазури при содержании SiO₂ 67% или меньше.

Для PbO минимальное значение коэффициента дано для глазури с содержанием щелочей 3% или меньше, а максимальное – для глазури, содержащей 21% щелочей.

Для B₂O₃ минимальное значение коэффициента соответствует глазури с отношением суммы молей оксидов Li₂O, K₂O, Na₂O, CaO и BaO к числу молей оксида B₂O₃, близким к нулю, а при максимальном значении $\bar{\alpha}_i$ это отношение должно быть равным 4 или больше.

Для TiO₂ максимальное значение коэффициента дано для глазури, содержащей 50% и меньше SiO₂, а минимальное – для глазури, содержащей 65% и более SiO₂.

Расчетный коэффициент расширения оксида свинца сильно меняется в зависимости от содержания в глазури щелочных оксидов. Так, при содержании в стекле меньше 3% щелочей для оксида свинца $\bar{\alpha}_{\text{PbO}} = 30$. При содержании же щелочей выше 3% на каждый молярный процент щелочных оксидов к расчетному коэффициенту прибавляется пять единиц. Расчетная формула для этого случая может быть представлена в следующем виде:

$$\bar{\alpha}_{\text{PbO}} \cdot 10^7 = 130 + 5(A_{\text{R}_2\text{O}} - 3).$$

На практике химический состав глазури чаще задается в массовых процентах, поэтому для расчета ТКЛР глазури необходимо рецепт глазури пересчитать в молярные проценты.

Пример. Рассчитать ТКЛР глазури следующего химического состава, мас. %: $\text{SiO}_2 - 49,2$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 10,2$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 15,15$; $\text{CaO} - 6,3$; $\text{MgO} - 1,8$; $\text{ZnO} - 4,15$; $\text{BaO} - 2,85$; $\text{K}_2\text{O} - 4,85$; $\text{Na}_2\text{O} - 5,5$.

Относительное число молей каждого оксида, входящего в состав глазури, получается путем деления массовых процентов на соответствующие молекулярные массы. Для пересчета в молярные проценты пользуются формулой

$$A_i = \frac{\alpha_i \cdot 100}{\sum \alpha_i},$$

где A_i – искомый молярный процент оксида; α_i – количество молей данного оксида.

	мас. %	число молей (α_i)	мол. % (A_i)
SiO_2	49,20	→ 0,8188	→ 54,46
Al_2O_3	10,20	→ 0,1001	→ 6,66
B_2O_3	15,15	→ 0,2177	→ 14,48
CaO	6,30	→ 0,1123	→ 7,47
MgO	1,80	→ 0,0447	→ 2,97
ZnO	4,15	→ 0,0510	→ 3,39
BaO	2,85	→ 0,0186	→ 1,24
K_2O	4,85	→ 0,0515	→ 3,43
Na_2O	5,50	→ 0,0887	→ 5,90
	<u>Σ100</u>	<u>Σ1,5034</u>	<u>Σ100</u>

Константы (усредненные парциальные коэффициенты расширения) для SiO_2 (количество SiO_2 меньше 67%), Al_2O_3 , CaO , MgO , ZnO , BaO , K_2O и Na_2O берут из табл. 3, коэффициент расширения для B_2O_3 определяется по формуле

$$\bar{\alpha}_{\text{B}_2\text{O}_3} \cdot 10^7 = 12,5(4 - \psi) - 50;$$

$$\psi = \frac{A_{\text{R}_2\text{O}} + A_{\text{RO}} - A_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{A_{\text{B}_2\text{O}_3}} = \frac{5,90 + 3,43 + 7,47 + 1,24 - 6,66}{14,48} = 0,79;$$

$$\bar{\alpha}_{\text{B}_2\text{O}_3} \cdot 10^7 = 12,5(4 - 0,79) - 50 = -9,9.$$

Отрицательные значения $\bar{\alpha}_i$ нельзя понимать в том смысле, что соответствующие оксиды, находясь в глазури, подвергаются сжатию при нагревании. Оксиды, имеющие отрицательные парциальные коэффициенты, способны особенно сильно снижать расширение глазури, в составе которой они содержатся.

Подставляя в общую формулу справочные и расчетные парциальные коэффициенты для каждого оксида, получают конечное значение ТКЛР:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot 10^7 &= \frac{54,46 \cdot 38 + 6,66 \cdot (-30) + 14,48 \cdot (-9,9) + 7,47 \cdot 130 + 2,97 \cdot 60}{100} + \\ &+ \frac{3,39 \cdot 50 + 1,24 \cdot 200 + 3,43 \cdot 465 + 5,90 \cdot 395}{100} = \frac{2070 - 200 - 143 + 971}{100} + \\ &+ \frac{178 + 170 + 248 + 1595 + 2331}{100} = \frac{7220}{100} = 72,20. \end{aligned}$$

Конечный температурный коэффициент линейного расширения равен $72,20 \cdot 10^{-7}$ град⁻¹. Если в расчете использовать мольные доли оксидов, то ТКЛР можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot 10^7 &= \frac{0,8188 \cdot 38 + 0,1001 \cdot (-30) + 0,2177 \cdot (-9,9) + 0,1123 \cdot 130}{1,5031} + \\ &+ \frac{0,0447 \cdot 60 + 0,0510 \cdot 50 + 0,0186 \cdot 200 + 0,0515 \cdot 465 + 0,0887 \cdot 395}{1,5031} = \\ &= \frac{108,50}{1,5031} = 72,20. \end{aligned}$$

3.3.2. Расчет коэффициента кислотности

Коэффициентом кислотности КК глазури называется кислородное отношение эквивалентов кислоты к эквивалентам оснований. Основные и кислотные оксиды приведены в табл. 4.

Коэффициент кислотности КК рассчитывают по формуле

$$KK = \frac{a_3SiO_2 + 3a_4B_2O_3 + \dots}{aR_2O + a_1RO + 3a_2R_2O_3 + \dots},$$

где a, a_1, a_2, a_3, a_4 – содержание оксидов в глазури, молей.

Таблица 4

**Основные и кислотные оксиды
для расчета коэффициента кислотности глазури**

Кислотный оксид	Основные оксиды		
	R ₂ O	RO	R ₂ O ₃
SiO ₂	Li ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃
TiO ₂	Na ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃
B ₂ O ₃	K ₂ O	PbO	Mn ₂ O ₃
Al ₂ O ₃	Cu ₂ O	ZnO	Cr ₂ O ₃
P ₂ O ₅	–	BaO	Bi ₂ O ₃
Sb ₂ O ₃	–	MnO	–
Sb ₂ O ₅	–	FeO	–
–	–	CdO	–
–	–	NiO	–

Пример. Дан состав глазури, мас. %: SiO₂ – 47,7; Al₂O₃ – 7,48; B₂O₃ – 15,6; PbO – 12,42; CaO – 6,86; MgO – 2,22; K₂O – 4,48; Na₂O – 3,24, что соответствует следующей молекулярной формуле, молярных долей: SiO₂ – 2,3845; Al₂O₃ – 0,2205; B₂O₃ – 0,6732; PbO – 0,1670; CaO – 0,3674; MgO – 0,1655; K₂O – 0,1430; Na₂O – 0,1571.

Коэффициент кислотности будет равен:

$$KK = \frac{2,3845 + 3 \cdot 0,6732}{0,1571 + 0,1430 + 0,1655 + 0,3674 + 3 \cdot 0,2205} = \frac{4,4041}{1,4945} = 2,95.$$

3.4. Расчет количественных показателей пористости и зернового состава керамических масс и материалов

3.4.1. Расчет истинной, открытой и закрытой пористости

Пористость является одним из главных показателей керамики, от которого зависят такие эксплуатационные характеристики, как меха-

ническая прочность, химическая стойкость, водопоглощение, морозостойкость, проницаемость и др.

Важное значение имеет вид и конфигурация пор. Поры бывают закрытыми и открытыми, последние представлены тупиковыми и каналобразующими. Экспериментальные методы определения пористости керамики чрезвычайно сложны, однако дают наиболее полную характеристику по видам и распределению пор по размерам.

Расчетным путем можно оценить различные виды пористости (истинную, открытую и закрытую), исходя из показателей свойств, легко определяемых в лабораторных условиях (кажущейся и истинной плотности, водопоглощения).

Пример. Известны значения плотности и водопоглощения фасадной керамики. Истинная плотность $\rho_{\text{ист}}$ (без учета пор) – 2520 кг/м³, кажущаяся плотность $\rho_{\text{каж}}$ (с учетом пор) – 1920 кг/м³, водопоглощение при кипячении в воде (В) – 8,5%. Следует определить относительную плотность, истинную, открытую и закрытую пористость.

Требуемые показатели находим из следующих выражений:

– относительная плотность

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{\rho_{\text{каж}}}{\rho_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{1920}{2520} \cdot 100\% = 76,2\%;$$

– истинная (общая) пористость

$$\Pi_{\text{и}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{каж}}}{\rho_{\text{ист}}} \right) \cdot 100\% = 23,8\%;$$

– открытая (кажущаяся) пористость

$$\Pi_{\text{о}} = \frac{В \cdot \rho_{\text{каж}}}{\rho_{\text{ж}}} = 8,5 \cdot \frac{1920}{1000} = 16,3\%,$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (воды);

– закрытая пористость

$$\Pi_{\text{з}} = \Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{о}} = 23,8 - 16,3 = 7,5\%.$$

3.4.2. Расчет среднего размера частиц и удельной поверхности керамических масс

Гранулометрический (зерновой) состав исходных материалов и керамических масс имеет большое значение в производстве керамических материалов и изделий, так как оказывает значительное влияние на тех-

нологические процессы (измельчение, смешивание, формование, сушку и спекание полуфабрикатов), а также на свойства готовых изделий.

Основными характеристиками зернового состава являются:

1) фракция – совокупность частиц, размеры которых находятся в строго заданных пределах: $x_1 \leq x_i \leq x_2$ (фракция $x_1 - x_2$);

2) средний размер частиц $d_{\text{ср}}$;

3) максимальный размер частиц d_{max} (размер частиц измеряется в миллиметрах, микрометрах);

4) удельная поверхность S , $\text{см}^2/\text{г}$, $\text{м}^2/\text{г}$, – суммарная поверхность всех частиц, приходящаяся на единицу массы;

5) содержание частиц заданного размера, а также больше или меньше заданного размера (измеряется в процентах).

Зерновой состав определяется с помощью ситового анализа (для порошков с размером частиц более 0,1 мм) и методом седиментации по скорости осаждения частиц в жидкой среде (для дисперсных систем с размером частиц менее 0,063 мм).

Зная фракционный состав материала (массы), определенный экспериментально или полученный из справочной литературы, можно рассчитать средний размер частиц и среднюю удельную поверхность дисперсной системы.

Пример. Зерновой состав шамота для массы полусухого прессования огнеупорных изделий характеризуется содержанием следующих фракций: 0–1 мм – 15%; 1–2 мм – 35%; 2–3 мм – 40%; 3–4 мм – 10%. Рассчитать средний размер зерен и удельную поверхность порошка шамота.

Сначала следует определить средний размер частиц для каждой фракции. Он находится как среднее арифметическое минимального и максимального размеров частиц данной фракции:

$$d_1 = \frac{0+1}{2} = 0,5 \text{ мм}; \quad d_2 = \frac{1+2}{2} = 1,5 \text{ мм};$$
$$d_3 = \frac{2+3}{2} = 2,5 \text{ мм}; \quad d_4 = \frac{3+4}{2} = 3,5 \text{ мм}.$$

Средний размер частиц находится по формуле

$$d_{\text{ср}} = \frac{\sum d_i \cdot a_i}{100},$$

где d_i – средний размер частиц отдельной фракции, мм; a_i – содержание данной фракции, %.

$$d_{\text{cp}} = \frac{0,5 \cdot 15 + 1,5 \cdot 35 + 2,5 \cdot 40 + 3,5 \cdot 10}{100} = 1,95 \text{ мм.}$$

Средняя удельная поверхность порошка рассчитывается по формуле

$$S = \frac{6}{\rho \cdot d_{\text{cp}}},$$

где S – удельная поверхность порошка, $\text{см}^2/\text{г}$ ($\text{м}^2/\text{кг}$); ρ – плотность минеральных частиц, $\text{г}/\text{см}^3$ (для данного примера $\rho = 2,56 \text{ г}/\text{см}^3$); d_{cp} – средний размер частиц, см .

$$S = \frac{6}{2,56 \cdot 1,95 \cdot 10^{-1}} = 12,02 \text{ см}^2/\text{г}.$$

Данный зерновой состав порошка может быть представлен графически в виде дифференциальной (рис. 1) и интегральной (рис. 2) кривых.

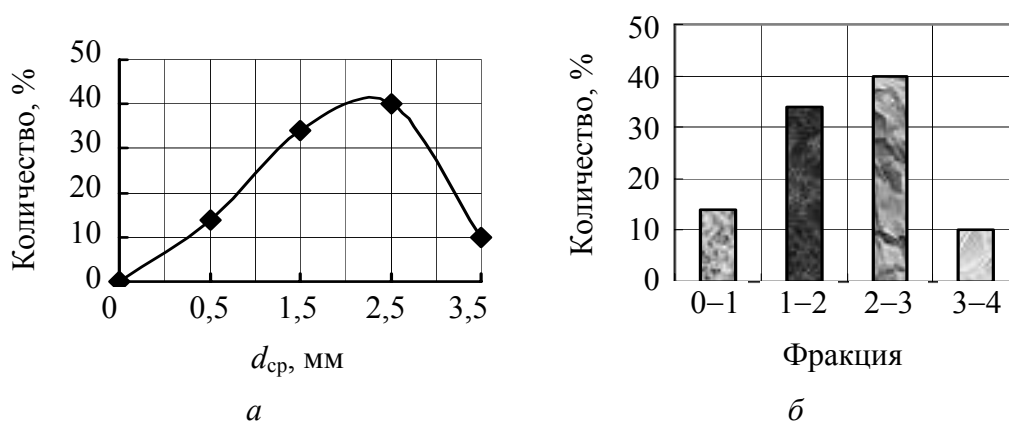


Рис. 1. Дифференциальная кривая (а) и гистограмма (б) зернового состава

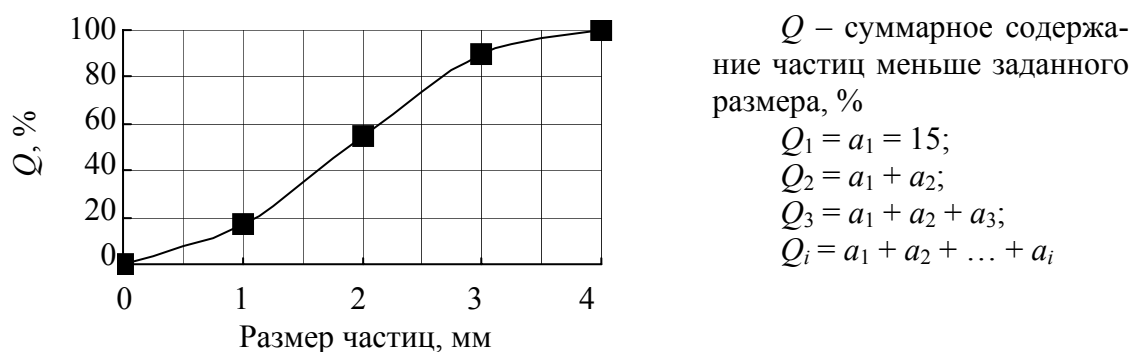


Рис. 2. Интегральная кривая зернового состава

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

В соответствии с учебным планом, в 9-м семестре студенты самостоятельно выполняют контрольную работу. Номер варианта задания студент выбирает по последней цифре шифра (номера) своей зачетной книжки. При произвольном выборе варианта работа без просмотра возвращается студенту.

Контрольная работа содержит вопросы теоретического характера, а также задания по типовым технологическим расчетам. При выполнении работы следует пользоваться учебной литературой, рекомендуемой в программе по каждому разделу курса. Данные, необходимые для проведения технологических расчетов, приведены в приложении к пособию (см. с. 43–44) или в рекомендуемой справочной литературе.

Контрольная работа должна быть аккуратно оформлена в ученической тетради, текст должен быть написан четким почерком без сокращений; на каждой странице следует оставить поле для замечаний рецензента. В случае положительного отзыва преподавателя студент допускается к устному собеседованию по работе, на основании которого она может быть зачтена. При наличии значительных замечаний контрольная работа возвращается студенту для доработки и повторного представления на рецензию.

5. ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Вариант 1

1. Химическая стойкость керамики. Химическая коррозия и факторы, влияющие на скорость процесса.
2. Взаимосвязь между химическим составом, свойствами глин и областями их использования (диаграмма А. И. Августиника).
3. Основные технологические схемы подготовки грубозернистых керамических масс.
4. Литье полуфабрикатов из водных шликеров в пористые формы. Стадии набора черепка и интенсификация процесса.
5. Спекание керамики. Определение, движущая сила процесса. Классификация процессов и механизмов переноса вещества при спекании.
6. Рассчитать химический состав массы для производства фаянсовых изделий, если ее шихтовой состав включает, мас. %: глина Веско-Гранитик – 12; глина ДНПК – 8; каолин просяновский – 16; каолин глуховецкий – 12; песок кварцевый – 20; пегматит – 23; бой изделий – 9.

Вариант 2

1. Классификация керамических материалов по основным свойствам и эксплуатационному признаку, их роль и значение в народном хозяйстве.
2. Электрофизические свойства керамических материалов. Электросопротивление, электропроводимость и ее механизм, зависимость от температуры.
3. Непластичные сырьевые материалы, их виды и назначение в технологии керамики.
4. Основные технологические схемы подготовки тонкозернистых керамических масс.
5. Жидкофазное спекание керамики и его варианты. Регулирование и интенсификация процесса жидкофазного спекания.

6. Рассчитать массу испаряемой влаги и сухих изделий, если масса изделий, направляемых на сушку, была 800 кг, влажность – 15,5%, а влажность изделий после сушки стала 2,5%.

7. Рассчитать количественные показатели пористости хозяйственного фаянса, имеющего истинную плотность 2490 кг/м³, кажущуюся плотность 1795 кг/м³ и водопоглощение 10%.

Вариант 3

1. Структура керамики, характеристика и роль структурных составляющих в керамике.

2. Природные и искусственные отощители. Назначение, свойства, получение.

3. Процессы обезвоживания керамических шликеров при мокром способе подготовки массы (фильтрация, электрофорез, распылительная сушка).

4. Физико-химическая роль электролитов в разжижении шликеров.

5. Виды твердофазового спекания и их отличительные особенности.

6. Типы глазурей и их свойства. Составы и методы расчета глазурей.

7. Рассчитать молекулярную формулу фарфора, имеющего следующий химический состав, мас. %: SiO₂ – 68,16; Al₂O₃ – 27,06; TiO₂ – 0,34; Fe₂O₃ – 0,29; CaO – 0,56; MgO – 0,55; K₂O – 2,02; Na₂O – 1,02.

Вариант 4

1. Текстура, микроструктура керамики. Монофазные и полифазные керамические материалы. Дефекты кристаллической решетки.

2. Плавни (флюсующие материалы), их виды, химический и фазовый составы, свойства.

3. Горячее литье изделий из шликеров на термопластическом связующем.

4. Твердофазовое спекание керамики с диффузионным механизмом переноса вещества.

5. Сырьевые материалы и методы приготовления фриттованных и сырых глазурей.

6. Определить количество воды, необходимое для получения шликера влажностью 48% из глины с карьерной влажностью 23%. Требуемое количество шликера 3000 кг.

7. Определить количественные показатели различных видов пористости электротехнического фарфора, имеющего истинную плотность 2940 кг/м^3 , относительную плотность 2930 кг/м^3 и водопоглощение $0,37\%$.

Вариант 5

1. Глинистые материалы. Определение, классификация, происхождение. Вещественный состав глин.

2. Виды формования керамических полуфабрикатов, их отличительные особенности и применение.

3. Литье тонких керамических пленок из шликеров на полимерных связках.

4. Твердофазовое спекание керамики с переносом вещества путем испарения-конденсации и пластической деформации зерен. Пути интенсификации процесса.

5. Способы нанесения глазури на поверхность керамических полуфабрикатов. Дефекты глазурных покрытий, их причины и способы устранения.

6. Влажность каолина, хранящегося на складе, составляет 9% . Требуется определить количество воды, подлежащее заливке в бассейн для его роспуска, если масса каолина 1500 кг , а влажность получаемой при роспуске суспензии 58% .

7. Рассчитать ТКЛР глазури, имеющей следующий химический состав, мас. %: $\text{SiO}_2 - 51,69$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,54$; $\text{B}_2\text{O}_3 - 13,86$; $\text{CaO} - 8,58$; $\text{MgO} - 2,55$; $\text{SrO} - 4,28$; $\text{ZnO} - 3,12$; $\text{K}_2\text{O} - 5,12$; $\text{Na}_2\text{O} - 4,26$.

Вариант 6

1. Плотность, пористость и водопоглощение керамики. Методы их оценки.

2. Строение глинообразующих минералов, минеральный тип глин.

3. Прессование изделий из порошкообразных масс, свойства пресс-порошков, последовательность происходящих процессов.

4. Обжиг керамических изделий. Факторы, определяющие выбор режима обжига изделий.

5. Ангобирование керамических изделий. Ангобы и их назначение. Способы приготовления и нанесения ангобов на поверхность полуфабрикатов.

6. Определить количество шликера и порошка, необходимое для приготовления 2500 кг массы с влажностью 21%, если известно, что влажность порошка 10,5%, а влажность шликера 52%.

7. Рассчитать шихтовой состав глазури, если известен ее химический состав, мол. %: SiO_2 – 52,62; TiO_2 – 6,60; Al_2O_3 – 10,98; CaO – 15,72; BaO – 4,24; K_2O – 3,84; Na_2O – 4,25; Li_2O – 1,75. Шихтовые компоненты по выбору студента.

Вариант 7

1. Механические и упругие свойства керамики, их взаимосвязь со строением кристаллической решетки. Методы оценки прочности при различных видах нагрузки.

2. Химический и гранулометрический состав глин.

3. Общая последовательность технологических процессов в производстве керамики. Назначение и краткая характеристика каждого процесса.

4. Факторы, определяющие допустимую скорость удаления влаги при сушке. Способы регулирования внутренней и внешней диффузии влаги.

5. Назначение и виды декорирования керамических изделий.

6. Определить первоначальную влажность шихты, если для ее приготовления использовались такие сырьевые материалы, как глина огнеупорная с влажностью 22%, каолин просяновский с влажностью 18%, полевой шпат с влажностью 3,5%, кварцевый песок с влажностью 4,5%. Состав шихты, мас. %: глина – 48; каолин – 18; полевой шпат – 18; кварцевый песок – 16.

7. Рассчитать средний размер частиц, удельную поверхность керамической порошкообразной массы для периклазового огнеупора, имеющей следующий фракционный состав: 0–0,088 мм – 36%; 0,5–1,0 мм – 15,6%; 2–4 мм – 48,4%.

Изобразить зерновой состав массы графически.

Вариант 8

1. Деформационные свойства керамики при механических нагрузках и высоких температурах и их зависимость от строения.

2. Примеси в глинах, их влияние на технологические свойства масс и характеристики готовых изделий. Обогащение глинистого сырья.

3. Формование пластичных масс. Основные понятия теории пластичности дисперсных систем. Процесс развития и виды деформаций при пластическом формовании.

4. Методы и режимы сушки в керамической технологии для различных видов изделий.

5. Получение минеральных волокон и их применение в керамической технологии.

6. Определить необходимое количество порошка с влажностью 7,5%, а также количество воды, требуемое для получения 650 кг керамической массы с влажностью 17,5%.

7. Рассчитать химический состав массы, применяемой в производстве керамических плиток и содержащей, мас. %: глина «Гайдукровка» – 16,5; глина «Лукомль» – 48,5; глина ДНПК – 8; нефелин-сиенит – 8; доломит – 5; песок кварцевый – 7; бой изделий – 7.

Вариант 9

1. Теплофизические свойства керамических материалов (теплопроводность, термическое расширение и др.).

2. Система «глина – вода». Строение глинистой суспензии и ее характеристики.

3. Зерновой состав материалов, способы его выражения. Основные типы зерновых составов для различных типов керамической технологии.

4. Способы формования изделий из пластичных масс (выдавливание или протяжка через профильные мундштуки, раскатка в тела вращения и др.).

5. Получение минеральных волокон и типы применяемых установок.

6. Определить количество порошка, получаемого при обезвоживании в башенно-распылительной сушилке (БРС) шликера с влажностью 46%. Количество шликера 4000 кг, влажность получаемого порошка 6,6%.

7. Рассчитать средний размер частиц, удельную поверхность каолина «Журавлиный лог», имеющего следующий гранулометрический состав: 0,01–0,05 мм – 34,18%; 0,005–0,010 мм – 12,59%; 0,001–0,005 мм – 22,27%; <0,001 мм – 30,96%. Изобразить зерновой состав каолина графически.

Вариант 10

1. Термические свойства керамических материалов (огнеупорность, термостойкость), их зависимость от состава и структуры.

2. Водные свойства глин и их взаимосвязь с минеральным типом и технологическими параметрами керамических масс.

3. Получение компонентов в измельченном состоянии. Энергетика, кинетика и интенсификация тонкого измельчения.

4. Виды литья керамических полуфабрикатов из жидкотекучих масс. Классификация методов литья и их теоретические основы, общие требования к шликерам.

5. Интенсификация процесса твердофазового спекания при различных видах переноса вещества.

6. Определить количество воды, которое необходимо залить в шаровую мельницу при помоле непластичных материалов, если общее количество загружаемого сырья по сухой массе составляет 3600 кг, при этом содержание компонентов, мас. %: кварцевый песок – 40; пегматит – 35; стеклобой – 15; глина – 10. Влажность материалов составляет, %: кварцевый песок – 3,8; пегматит – 4,4; стеклобой – 1,2; глина – 24.

7. Рассчитать коэффициент кислотности керамической массы следующего состава, мас. %: SiO_2 – 72,15; Al_2O_3 – 23,18; Fe_2O_3 – 0,45; TiO_2 – 0,35; CaO – 0,61; MgO – 0,46; K_2O – 0,87; Na_2O – 1,93. Дать оценку массы по этому показателю.

Вариант 11

1. Исторические сведения о керамике и керамической технологии.

2. Изготовление гипсовых форм. Требования к ним. Последовательность изготовления форм.

3. Дан состав массы в производстве керамического кирпича, мас. %: глина легкоплавкая – 78; гранитные отсеvy – 15; бой изделий – 7. Определить количество воды, подаваемое в двухвальную смеситель для доувлажнения, если требуемая формовочная влажность массы 23%, а карьерная влажность глины 18%, гранитных отсеvov – 3%. Масса шихты 10 т.

4. Регулировка свойств водных глинистых и неглинистых шликеров.

5. Глазурование керамики. Основные критерии подбора глазурей к керамическому черепку.

6. Диэлектрические свойства керамических материалов. Кристаллохимические аспекты поляризации материалов, ее виды, взаимосвязь со структурой материала.

7. Рассчитать химический состав керамической массы для кирпича, если известен ее шихтовой состав, мас. %: глина «Осетки» – 75; гранитные отсеvy – 12; кварцевый песок – 10; бой изделий – 3.

Вариант 12

1. Основные сырьевые материалы, применяемые для производства керамики, их назначение.

2. Современные способы получения высокооднородных смесей для технической керамики (химические, криогенные и др.).

3. Определить количество воды, подлежащее удалению при обезвоживании шликера на фильтр-прессах, если влажность шликера составляет 52%, влажность получаемых коржей – 24%, а количество необходимой массы – 1200 кг.

4. Выгорающие компоненты, применяемые в производстве керамических материалов (стеновых, теплоизоляционных).

5. Процессы, происходящие при сушке керамических полуфабрикатов. Чувствительность к сушке глинистого сырья и керамических масс.

6. Керамические краски, надглазурные и подглазурные. Технология приготовления.

7. Рассчитать химический состав массы для термостойкой керамики, если ее шихтовой состав следующий, мас. %: тальк онотский – 30; технический глинозем – 25; глина веселовская – 45.

Вариант 13

1. Технологические связки, пластификаторы и их назначение.

2. Сушка керамических полуфабрикатов. Стадии процесса сушки.

3. Специальные виды прессования изделий из порошкообразных масс (изостатическое, вибропрессование, горячее прессование и др.).

4. Получение пористых керамических структур. Методы поризации структуры.

5. Основные способы обогащения керамического сырья и предварительная подготовка материалов.

6. Керамические пигменты, классификация, исходные материалы и технология получения.

7. Рассчитать шихтовой состав глазурной фритты, имеющей следующий химический состав, %: SiO_2 – 58,0; Al_2O_3 – 12,5; B_2O_3 – 12,1; CaO – 2,6; MgO – 1,8; K_2O – 7,1; Na_2O – 4,1; TiO_2 – 1,8. Использовать для введения оксидов следующие сырьевые материалы: кварцевый песок, пегматит, борную кислоту, мел, магнезию (оксид магния, поташ, соду, оксид титана).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Химический состав сырьевых материалов

Наименование сырья и месторождения	Массовое содержание, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Прочие	п.п.п.
Глины: Гайдуковка	56,70	12,28	0,55	4,13	8,59	2,78	0,46	3,05	–	11,46
Лукомль	55,21	14,10	0,99	7,50	5,60	3,10	2,27	2,23	–	9,00
Гершоны	53,73	15,69	0,59	5,60	8,20	4,00	0,56	2,10	–	9,53
Грушаны	51,14	11,44	0,60	4,92	11,89	2,48	0,59	3,04	–	13,48
Городок (верхний слой)	72,53	19,39	0,07	5,59	0,70	0,70	1,10	1,18	–	4,96
Городок (средний слой)	70,47	16,08	0,05	3,99	0,76	0,62	1,00	2,07	–	7,62
Городок (нижний слой)	67,12	16,02	0,06	5,42	1,30	0,70	0,76	0,93	–	7,69
Секеровщина	55,26	16,00	0,74	6,54	4,48	3,02	0,86	3,18	–	8,07
Городное	66,90	16,00	0,51	7,20	0,71	0,40	0,49	0,08	–	7,62
Осетки	50,24	18,02	0,21	7,60	6,16	3,00	1,20	3,72	FeO 1,68	8,17
Новорайское марки ДНПК	51,37	32,44	0,05	1,09	1,02	0,76	1,50	2,73	SO ₂ 0,12	8,91
Веселовское	52,60	32,85	1,20	0,79	1,24	0,17	0,30	0,44	–	8,89
Бентонит огланлыкский	69,90	15,60	0,24	1,14	2,50	2,90	1,88	0,55	–	5,29
Бентонит острожанский	68,80	14,92	0,61	5,21	0,98	1,12	1,36	0,16	FeO 0,30; MnO 0,06	6,24
Каолины: просяновский (мокрого обогащ.)	47,80	36,85	1,20	0,45	0,63	0,30	0,10	0,44	–	12,23
просяновский (сухого обогащ.)	47,00	38,00	–	1,00	–	0,40	1,50	1,00	–	10,20

Окончание прил.

Наименование сырья и месторождения	Массовое содержание, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Прочие	п.п.п.
Ситница (природн.)	54,12	29,70	0,89	1,24	0,42	0,47	1,43	0,80	–	10,93
Ситница (обогащ.)	48,71	36,74	0,90	0,86	0,25	0,21	0,30	1,84	SO ₂ 0,20	10,00
Нефелиновый сиенит кольский	44,37	29,66	0,07	3,30	2,20	0,43	11,94	7,67	–	0,36
Стеклобой (тарный)	71,97	2,86	0,09	0,27	6,65	3,22	14,89	–	–	0,06
Гранитные отсеvy микашевичские	65,70	15,08	0,45	5,36	4,20	1,60	3,52	2,77	–	1,32
Ваграночный шлак гранулированный	44,67	10,80	0,20	10,20	27,39	3,52	2,00	1,00	–	0,22
Доломит месторождения «Руба»	3,48	1,59	–	0,30	29,36	20,37	–	–	–	41,43
Мел волковысский	2,29	0,30	0,99	0,15	53,46	1,90	–	–	–	42,41
Тальк онотский	62,20	0,52	–	1,22	0,11	31,20	–	–	SO ₂ 0,28	4,47
Песок кварцевый Гомельского ГОКа	96,38	1,47	–	0,05	0,50	–	0,13	0,15	–	1,32
Песок кварцевый лоевский	96,88	1,47	–	0,05	0,50	0,50	0,13	0,15	–	1,32
Трепел «Стальное»	54,97	5,90	0,16	1,73	14,09	0,82	0,12	1,36	–	20,85
Перлит сырой арагацкий	73,44	14,74	–	0,16	0,10	0,38	3,63	4,79	SO ₂ 0,19	2,76
Борат кальция	0,15	–	–	–	36,30	0,20	0,10	–	B ₂ O ₃ 41,70	21,27
Материал кварц-полевошпатовый	61,50	20,00	–	0,30	–	1,30	4,00	8,10	–	1,20
Волластонитовый концентрат босагинский	52,30	0,59	–	0,87	41,35	1,03	0,13	0,13	SO ₂ 0,17	1,33
Магнезит саткинский	0,80	0,30	–	0,80	0,20	47,00	–	–	–	51,29
Полевой шпат енский	70,93	16,94	0,13	0,25	1,02	0,48	2,90	7,46	–	0,43

ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая технология керамики / под ред. И. Я. Гузмана. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2003. – 493 с.
2. Химическая технология керамики и огнеупоров / под ред. П. П. Будникова, Д. Н. Полубояринова. – М.: Стройиздат, 1972. – 551 с.
3. Августиник, А. И. Керамика / А. И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 591 с.
4. Балкевич, В. Л. Техническая керамика / В. Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
5. Стрелов, К. К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1985. – 480 с.
6. Юшкевич, М. О. Технология керамики / М. О. Юшкевич, М. И. Роговой. – М.: Стройиздат, 1969. – 350 с.
7. Канаев, В. К. Новая технология строительной керамики / В. К. Канаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 64 с.
8. Крупа, А. А. Химическая технология керамических материалов / А. А. Крупа, В. С. Городов. – Киев: Віща школа, 1990. – 398 с.
9. Бобкова, Н. М. Общая технология силикатов / Н. М. Бобкова, Е. М. Дятлова, Т. С. Куницкая. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 287 с.
10. Мороз, И. И. Технология фарфорофаянсовых изделий / И. И. Мороз. – М.: Стройиздат, 1984. – 334 с.
11. Новая керамика / под ред. П. П. Будникова. – М.: Стройиздат, 1969. – 311 с.
12. Общая технология силикатов / под ред. А. А. Пашенко. – Киев: Віща школа, 1983. – 407 с.
13. Стрелов, К. К. Технология огнеупоров / К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. – М.: Metallurgy, 1978. – 375 с.
14. Стрелов, К. К. Структура и свойства огнеупоров / К. К. Стрелов. – М.: Metallurgy, 1982. – 208 с.
15. Рохваргер, Е. Л. Строительная керамика. Справочник / Е. Л. Рохваргер. – М.: Стройиздат, 1976. – 496 с.
16. Мороз, И. И. Справочник по фарфорофаянсовой промышленности / И. И. Мороз, И. С. Комская, А. Л. Олейникова. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 350 с.

17. Книгина, Г. И. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных заполнителей / Г. И. Книгина, А. Г. Вершинина. – М.: Высшая школа, 1985. – 223 с.
18. Практикум по технологии керамики и огнеупоров / под ред. Д. Н. Полубояринова, Р. Я. Попильского. – М.: Стройиздат, 1972. – 350 с.
19. Лукин, Е. С. Технический анализ и контроль производства керамики / Е. С. Лукин, М. Т. Андрианов. – М.: Стройиздат, 1986. – 269 с.
20. Горяйнов, К. Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий / К. Э. Горяйнов, С. К. Горяйнова. – М.: Стройиздат, 1982. – 374 с.
21. Дятлова, Е. М. Технология и оборудование производства керамических изделий. Лабораторный практикум / Е. М. Дятлова, В. А. Бирюк, Ю. А. Климош. – Минск: БГТУ, 2011. – 112 с.
22. Дятлова, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров. Лабораторный практикум / Е. М. Дятлова, В. А. Бирюк. – Минск: БГТУ, 2006. – 281 с.
23. Бобкова, Н. М. Идентификация фазового состава строительных материалов: учеб. пособие / Н. М. Бобкова, И. А. Левицкий, Л. Г. Дащинский. – Минск: БГТУ, 1996. – 73 с.
24. Левицкий, И. А. ИК-спектры и кривые ДТА сырьевых и силикатных материалов: учеб. пособие / И. А. Левицкий, Н. М. Бобкова, Е. М. Дятлова. – Минск: БГТУ, 1999. – 53 с.
25. Вассерман, И. М. Химическое осаждение из растворов / И. М. Вассерман. – Л.: Химия, 1980. – 208 с.
26. Чижский, А. Ф. Сушка керамических материалов и изделий / А. Ф. Чижский. – М.: Стройиздат, 1971. – 107 с.
27. Гегузин, Л. В. Физика спекания / Л. В. Гегузин. – М.: Наука, 1984. – 311 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Общие указания	5
2. Программа курса	7
3. Технологические расчеты	13
3.1. Расчет содержания вещества, влажности материалов и керамических масс	13
3.1.1. Пересчет количества влажного материала на сухое вещество	13
3.1.2. Пересчет содержания сухого вещества на влажный материал	15
3.1.3. Пересчет материала с одной влажности на другую	15
3.2. Расчет химического и шихтового составов масс и глазурей	17
3.2.1. Расчет химического состава массы	17
3.2.2. Расчет потерь при прокаливании шихты (п.п.п.)	19
3.2.3. Расчет коэффициента кислотности керамических масс	19
3.2.4. Расчет химических составов глазурей	20
3.2.5. Расчет шихтового состава глазурей	24
3.3. Расчет свойств глазурей	27
3.3.1. Расчет температурного коэффициента линейного расширения глазурей (ТКЛР)	27
3.3.2. Расчет коэффициента кислотности	31
3.4. Расчет количественных показателей пористости и зернового состава керамических масс и материалов	31
3.4.1. Расчет истинной, открытой и закрытой пористости ...	31
3.4.2. Расчет среднего размера частиц и удельной поверхности керамических масс	32
4. Методические указания к контрольной работе	35
5. Задания к контрольной работе	36
Приложение	43
Литература	45

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМИКИ И ОГНЕУПОРОВ

Составитель **Дятлова** Евгения Михайловна

Редактор *О. А. Семенец*
Компьютерная верстка *О. А. Семенец*
Корректор *О. А. Семенец*

Издатель:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
ЛИ № 02330/0549423 от 08.04.2009.
ЛП № 02330/0150477 от 16.01.2009.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.