

666
1712

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 666.613+666.616 [1043.3)

Павлюкевич Юрий Геннадьевич

**РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКИХ
ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ**

Специальность 05.17.11 - Технология силикатных и
тугоплавких неметаллических материалов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 2001

Работа выполнена в Белорусском государственном технологическом университете на кафедре технологии стекла и керамики.

Научный руководитель доктор технических наук,
доцент Левицкий И. А.

Официальные оппоненты: доктор химических наук,
профессор Яглов В.Н.;
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник Губская А.Г.

Оппонирующая организация - Научно-исследовательское и экспериментально-
проектное государственное предприятие
«Институт БелНИИС»

Защита состоится 23 марта 2001 г. в 14.00 часов в аудитории 240, корпус 4 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.03 при Белорусском государственном технологическом университете (220050, г. Минск, ул. Свердлова, 13а).

Телефон ученого секретаря совета: 227-43-08.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан « » февраля 2001 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент



Гайлевич С.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Необходимость расширения сырьевой базы промышленности строительных материалов Республики Беларусь, отсутствие в ее пределах высококачественных сырьевых материалов - в настоящее время предметом импорта являются тугоплавкие глины, каолины, флюсующие компоненты, керамические пигменты - их высокая стоимость и дефицитность обусловили поиск альтернативных источников сырья для материалоемкой керамической промышленности. В этой связи возможность получения облицовочных керамических изделий, обладающих повышенными эксплуатационными свойствами (пониженным водопоглощением, повышенной износостойкостью и механической прочностью), на основе местного алюмосиликатного сырья является актуальной ресурсосберегающей задачей. По данным института геологических наук НАН Беларуси и ПО «Беларусгеология» в республике имеются месторождения минерального как нетрадиционного, так и глинистого сырья, представляющего интерес для керамической промышленности. В первую очередь это магматические породы основного состава: метадиабазы, трахиандезитобазальты, метагаббро; а также осадочные породы: каолины и глаукониты. Указанные виды сырья изучены крайне недостаточно и представляют интерес для керамического производства. Анализ полученных данных по проведенным исследованиям магматических пород основного состава и глауконитов предполагает их использование в качестве флюсующих компонентов в составах керамических масс высокотемпературного синтеза, либо как огощителей - в массах с температурой обжига до 1100 °С.

В этой связи теоретический и практический интерес для керамической промышленности представляет разработка научно-обоснованных теоретических и технологических основ синтеза керамических материалов на основе магматических пород основного состава, глауконитов и каолинов Республики Беларусь с целью последующего проектирования керамических масс для получения материалов с заданными свойствами.

Связь работы с крупными программами. Тема диссертационной работы соответствует научному направлению кафедры стекла и керамики и выполнялась в рамках следующих НИР:

1. «Разработка научно-технических закономерностей получения облицовочных материалов на основе нетрадиционного сырья Республики Беларусь» (ГБ №98-007). № гос.регистрации 1998963. Сроки выполнения: 01.08.98-31.12.99. Заказ Министерства образования Республики Беларусь. Основание - письмо №05-8/268 от 21.12.98.

2. «Разработка научных основ и технологических принципов синтеза керамических масс на основе магматических пород Республики Беларусь» (ФФ №20-063). № гос.регистрации 20002931. Сроки выполнения: 01.04.2000-01.04.2002. Заказ Республиканского фонда фундаментальных исследований

232ар

Основание – решения Совета фонда от 24 марта 2000 г., протокол №2 по выделению гранта для молодых ученых .

3. «Оценить возможность использования горных пород основного состава Микашевичского карьера в качестве комплексного сырья для производства минеральных волокон, износостойких поликристаллических материалов и керамических изделий». № гос.регистрации 19992376. Сроки выполнения 1.01.99 - 31.12.2000. Утверждена Ученым советом ИГН НАН Беларуси 15.12.1998, протокол №10. Основание - заказ Совета Министров Республики Беларусь.

Цель и задачи исследования. Цель настоящей диссертационной работы заключается в проведении комплексных исследований основных магматических горных пород, глауконитов и каолинов наиболее крупных и перспективных месторождений Республики Беларусь, установлении закономерностей структуро- и фазообразования в керамических массах на их основе, а также разработке составов масс и принципов получения керамических изделий при скоростных режимах обжига.

Для достижения поставленной цели при выполнении диссертационной работы решались следующие задачи:

проведение аналитического обзора зарубежной и отечественной литературы;

выбор исходных сырьевых материалов и исследуемой системы;

исследование особенностей химического и минерального состава выбранного сырья, его структуры и свойств в том числе и при нагревании;

проведение сравнительной оценки рассматриваемых материалов и выбор наиболее приемлемых и эффективных;

проектирование и синтез составов керамических масс на основе выбранного минерального сырья;

выявление общих закономерностей и особенностей формирования структуры и фазового состава керамики в зависимости от вида используемого сырья;

определение зависимости свойств синтезируемых керамических материалов от основных технологических факторов;

разработка рекомендаций по проектированию на их основе составов керамических масс для производства соответствующих видов керамики, анализ и обобщение полученных результатов.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются магматические породы основного состава, каолины и глаукониты Республики Беларусь, служащие основой при синтезе керамических материалов. Предметом исследований является облицовочные материалы повышенной износостойкости, полученные с использованием местного алюмосиликатного сырья.

Методология и методы проведенного исследования. В работу положена методика синтеза керамических материалов, основанная на ком-

плексном исследовании алюмосиликатного сырья РБ. Детальное исследование процессов спекания керамических масс на базе указанных сырьевых материалов во взаимосвязи с их химическим и минеральным составом позволило более достоверно определить области оптимальных составов, пригодных для производства облицовочной керамики.

Исследование и анализ процессов фазообразования в керамических массах осуществлялись по методикам, предложенным О.С. Грум-Гржимайло, В.Ф. Павловым, Н.А. Ландия и др.

Изучение сырья и синтезируемых керамических материалов проводилось с помощью современных методов рентгенофазового, электронно-микроскопического, петрографического, спектроскопического, дифференциально-термического, радиометрического анализов.

В работе также использовался математический метод планирования эксперимента и обработки полученных результатов.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Впервые проведено комплексное исследование химико-технологических свойств магматических горных пород основного состава и глауконитов РБ и установлены закономерности структуро- и фазообразования керамических масс с использованием данного сырья, что позволило обеспечить высокий уровень физико-механических и эксплуатационных свойств получаемых изделий. Повышение износостойкости и механической прочности данных керамических материалов обусловлено интенсификацией процессов спекания керамических масс за счет образования агрессивной жидкой фазы, содержащей оксиды железа, ускорения процессов кристаллизации муллита и минералов групп пироксена и плагиоклаза, армирующих черепок. Показана взаимосвязь структуры, фазового состава и свойств синтезированных керамических материалов с исходным химическим и минеральным составом сырья, определены количества и соотношения оксидов (RO , R_2O , R_2O_3), наиболее существенно влияющие на процесс спекания.

Предложена диаграмма для проектирования составов керамических масс в системе, включающей природный каолин, огнеупорную глину, метадиабаз; выделены области на основе которых могут быть получены керамические изделия многофункционального назначения с широким диапазоном заданных свойств.

Практическая значимость полученных результатов. Разработаны составы керамических масс на основе магматических горных пород, глауконитов и каолинов РБ для производства облицовочных материалов различного назначения, характеризующихся улучшенными показателями физико-механических и эксплуатационных свойств.

Результаты работы являются основой при выборе рациональных видов минерального сырья по его химико-минералогическому составу при проектировании керамических масс для производства изделий различного назначения.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы как разработчиками керамических материалов, так и предприятиями - изготовителями, производящими тонкую и строительную керамику.

Теоретические и практические положения настоящей работы могут служить основой для решения задач по повышению эффективности производства за счет снижения материальных затрат и повышения качества продукции.

Экономическая значимость полученных результатов. Внедрение разработанных составов керамических масс обеспечит получение экономического эффекта за счет более низкой стоимости предлагаемого алюмосиликатного сырья. Ожидаемый экономический эффект составит 292 тыс. у. е. на 1 млн. м² плиток в год.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Результаты исследования влияния химического и минерального состава магматических пород основного состава, каолинов и глауконитов на спекание, фазовый состав и свойства продуктов термической обработки.

2. Особенности и механизм процессов фазообразования в железосодержащих керамических массах.

3. Результаты исследований влияния технологических факторов на процессы структурообразования при синтезе керамики на основе местного алюмосиликатного сырья.

4. Разработанные составы и технология керамических материалов с улучшенными физико-техническими характеристиками.

Личный вклад соискателя. Автором проведены экспериментальные работы по комплексному исследованию магматических пород основного состава, глауконитов и каолинов РБ, синтезу керамических материалов и изучению их свойств и структуры, обработке экспериментальных данных и анализу результатов исследований. Вклад соавторов совместных публикаций состоял в обобщенном научном руководстве и обсуждении результатов исследования.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований, включенные в диссертационную работу, докладывались на:

научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского государственного технологического университета, 1997-2000 гг.;

научно-технической конференции «Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии», г.Гродно, 1997 г.;

научно-технической конференции «Высокие технологии и научно-технический прогресс в строительном комплексе Республики Беларусь», г.Минск, 1999 г.;

научно-техническом семинаре «О роли научно-технических достижений в снижении себестоимости производства строительных материалов РБ», г.Минск, 1997 г.;

научно-техническом семинаре «Пути энергосбережения при производстве строительных материалов и конструкций», г. Минск, 1998 г.;

международной научно-технической конференции «Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе» г. Минск, 1997 г.;

международных научно-технических конференциях «Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химической промышленности» г. Минск, 1999, 2000 г.г.;

XVI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии, г. Санкт-Петербург, 1998 г.;

международной научно-технической конференции «Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов», г. Гродно, 2000 г.;

выставке в рамках международного конгресса «Наука и образование на пороге III тысячелетия», г. Минск, 2000 г.

Опубликованность результатов. По основным положениям диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ: в соавторстве 4 статьи в научных журналах, 7 тезисов в материалах научно-технических конференций. Подана заявка на получение патента «Керамическая масса» (приоритет № а19990456 от 4.08.99). В том числе без соавторов опубликована 1 работа. Общий объем опубликованных материалов составляет 40 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, обзора литературы, главы, посвященной методикам исследования, четырех глав экспериментальной работы, заключения, списка литературных источников и приложений. Объем диссертации 167 листов машинописного текста. Работа содержит 41 рисунок, 9 таблиц и 6 приложений. Список литературных источников включает 153 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертационной работы дан критический анализ состояния вопроса в области разработки керамических масс высокотемпературного синтеза. Рассмотрены пути использования нетрадиционного сырья, регулирования процессов спекания и фазообразования керамических масс.

Обзор литературных данных в области получения плотносспекшихся керамических облицовочных материалов показал, что для их производства используются в основном системы, содержащие каолинито-гидрослюдистые и малозапесоченные каолинито-монтмориллонитовые глины с содержанием оксидов железа менее 2 %, полевые шпаты, тальк, пегматиты. В последние годы для производства плотноспеченных окрашенных изделий используются также

отходы химических и металлургических производств, содержащие значительное количество окрашивающих оксидов: высокожелезистые, хромистые, марганцевые шлаки, нетрадиционные материалы - базальт, андезит, гранит и другие.

Анализ литературных данных позволяет отметить, что одним из путей развития керамической промышленности при производстве изделий различного назначения является переход на нетрадиционные сырьевые материалы. В Беларуси магматические (гранодиориты, габбро, диабазы и т.п.) и осадочные породы (глаукониты, каолины) являются наиболее доступными и перспективными материалами для синтеза керамических изделий. Однако использование их в составе керамических масс требует детального исследования химико-минералогического состава, структуры и свойств как исходных материалов, так и продуктов их термообработки. Такие исследования ранее не проводились.

Во второй главе описаны методики, использованные при выполнении настоящих исследований. Изучение алюмосиликатного сырья и синтезируемой на его основе облицовочной керамики проведено с помощью методов петрографического, рентгенофазового, электронно-микроскопического, спектроскопического, дифференциально-термического, радиометрического анализов, стандартных методик физико-химических исследований свойств.

Третья глава посвящена изучению местного алюмосиликатного сырья. В результате комплексного исследования магматических пород основного состава, каолинов и глауконитов Республики Беларусь определены особенности структуры и фазового состава как исходных материалов, так и продуктов их термообработки.

В работе при выборе наиболее перспективных видов сырья исследованы три разновидности основных магматических пород Микашевичского месторождения, значительно отличающихся друг от друга по минеральному и химическому составу: безмагнетитовые метадиабазы, тонко- и мелкозернистые метадиабазы и метагаббро.

РФА и петрографическими исследованиями установлено, что главными породообразующими минералами магматических пород являются плагиоклаз, роговая обманка и биотит. В подчиненном количестве присутствуют кварц, эпидот и микроклин. Структура изучаемых пород офитовая, текстура массивная.

Проведенный химический и спектральный анализ показал, что они характеризуются повышенным содержанием оксида алюминия, а также оксидов щелочных и щелочноземельных металлов, суммарное количество которых может составлять 22-25 % (здесь и далее по тексту массовое содержание, %). Породам свойственно довольно высокое содержание оксидов железа, достигающее 13,5 - 15 %. Непостоянство химического состава пород выражается,

главным образом, в переменном содержании оксидов кремния, магния и кальция.

Установлена следующая последовательность процессов структурообразования при термообработке метадиабазов: окисление структурного железа, принадлежащего роговой обманке и биотиту (до 1000 °C); разрушение эпидота (950-1050 °C), амфиболов (1050-1150°C) и биотита (1100-1180 °C) с образованием минералов группы пироксена $(Mg,Fe)SiO_3$, $Ca(Mg,Fe)(SiO_3)_2$ и шпинели $(Mg,Fe)(Al,Fe)_2O_4$.

Установлено, что исследуемое минеральное сырье оказывают флюсующее действие при режимах высокотемпературного обжига (1150-1200 °C) и является, как правило, отоштителем в керамических массах, обжигаемых при температурах 1000-1100 °C.

Установлено, что в ряду апробированных материалов тонко- и мелкозернистые метадиабазы обладают наиболее выраженными свойствами плавней, поскольку, в отличие от метагаббро и безмагнетитовых метадиабазов, характеризуются значительно большим содержанием одновременно оксидов железа (13,54 % против 8,99 и 9,86 % соответственно) и оксидов щелочных и щелочноземельных металлов, а также наличием в исходном сырье, так и продуктах его термообработки более легкоплавких кристаллических фаз - олигоклаза и гиперстена (против тугоплавких кристаллических фаз - лабрадора и форстерита).

Проведенные исследования глауконитов показали, что в керамических массах природные глаукониты способны оказывать как флюсующее (глауконитовая составляющая), так и отошающее (кварцевая составляющая) действие, а также обеспечить окраску масс.

Химическим анализом глауконитов установлено, что по составу это сложные водные силикаты железа, магния и калия, характеризующиеся содержанием в породе значительного количества оксидов кремния (до 74 %), алюминия (до 10 %) и железа (до 9 %), а также оксидов щелочных и щелочноземельных металлов (до 8,5 %); при обогащении - более высоким содержанием оксидов железа - 20-21 % и пониженным содержанием оксидов кремния - 47-48 %.

Согласно рентгенофазовому анализу в исследуемом сырье кварц и глауконит являются основными породообразующими минералами. При обжиге в температурном интервале 360-1000 °C образуется гематит, при температурах 1000-1100 °C - магнетит. Исследованием ИК- спектроскопии и РФА зафиксировано образование твердого раствора магниоферрита при температурах обжига образцов 1150-1200 °C. Усиление в спектрах поглощения полос при 589-584 и 518-512 cm^{-1} по мере изменения соотношения Fe^{2+}/Fe^{3+} и смещение частот на 5-8 cm^{-1} , следует полагать, связано с образованием ферритов и взаимным замещением Fe^{2+} на Mg^{2+} в их структуре.

Установлено, что спекается обогащенный глауконит при температурах 1100-1130 °С, плавится - при 1150-1200 °С. Вспучивание происходит при температуре выше 1200 °С. Температура спекания природного глауконита на 60-70 °С выше, чем обогащенного.

Первичные каолины месторождений «Скрипица» (Житковичский р-н, Гомельской обл.) и «Глушковичи» (Лельчицкий р-н, Гомельской обл.) характеризуются значительным содержанием кварца и железосодержащих примесей, неоднородностью химического и зернового состава, классифицируются как полукислое, дисперсное и грубодисперсное сырье. При обогащении ситовым методом выход каолинов составляет в среднем 28,5-55 %.

На основе данных рентгенофазового анализа и ИК- спектроскопии с помощью метода Д.Хинкли установлено, что глинистая часть каолинов представлена главным образом каолинитом несовершенной структуры. Сравнительно низкое значение энергии активации процесса дегидратации каолинита свидетельствует о высокой химической активности белорусских каолинов.

ДТА природных и обогащенных каолинов установлена близость состава и свойств обоих месторождений и возможная взаимозамена данного сырья при синтезе керамики.

Радиометрические исследования сырьевых материалов по изотопам ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th показали, что эффективная удельная активность не превышает действующих в Республике Беларусь норм (370 Бк/кг) и находится в пределах 66,3-156,2 Бк/кг.

Принимая во внимание результаты изучения химического и минерального состава исследованного сырья, фазового состава продуктов их термической обработки, особенностей синтеза и характеристик керамики, и, исходя из задач данного исследования, для дальнейшей разработки керамических облицовочных материалов были выбраны первичные каолины месторождения «Глушковичи», обладающие лучшими физико-технологическими характеристиками, тонко- и мелкозернистые метадиабазы и природные глаукониты.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты по исследованию и синтезу керамических материалов с использованием магматических пород основного состава, глауконитов и каолинов РБ. Приведены результаты исследования замены такого традиционного сырья как пегматит на местное алюмосиликатное сырье - метадиабазы.

Керамические массы готовили в шаровой мельнице методом мокрого помола. Образцы формовали полусухим прессованием при влажности 7-8 % и удельном давлении 35 МПа. Обжигали в электрических печах с выдержкой при максимальной температуре в течение 15 мин.

В результате эксперимента установлена возможность и эффективность использования тонко- и мелкозернистых метадиабазов в составах керамических масс для производства износостойких облицовочных керамических изделий. Введение метадиабазов в сравнении с традиционными плавнями

(пегматитами) обуславливает следующие особенности процессов фазообразования керамических масс при обжиге: интенсифицируются процессы муллитобразования и растворения кварца, формируются новые кристаллические фазы в виде минералов группы пироксена, шпинели и плагиоклаза, положительно влияющие на физико-механические и эксплуатационные свойства изделий. Образцы приобретают окраску пепельного цвета.

Исследование и синтез керамических масс на основе метадиабаз проводили в системе природный каолин месторождения «Глушковичи»-огнеупорная глина «Гранитик-Веско»- метадиабаз Микашевичского месторождения.

Экспериментально установлено, что для опытных керамических масс, синтезированных в указанной системе, максимальное спекание достигается при температурах обжига 1150-1180 °С. Водопоглощение при этом составляет 0,1-1,5 %, пористость - 0,2-3,6 %, плотность - 2414-2466 кг/м³, механическая прочность при изгибе - 44-75 МПа, температурный коэффициент линейного расширения - $(5,4-5,7) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, кислотостойкость по отношению к концентрированной H₂SO₄ - 99,6-99,7 %, износостойкость - 0,012-0,015 г/см².

Установлено, а с помощью термодинамического расчета показано, что введение метадиабазов в составы керамических масс, обжигаемых при температурах 1100-1150 °С, обеспечивает формирование плотноспекшегося черепка, армированного кристаллическими фазами, обладающими высокой твердостью и абразивной стойкостью: минералами диопсидового и клиноэнстатитового составов, плагиоклозами, муллитом и кварцем, оптимальное сочетание которых придает керамике высокие физико-технические характеристики.

При температурах 1180-1200 °С основными кристаллическими образованиями в керамическом черепке являются кварц и муллит, что в условиях скоростного обжига возможно только за счет ускорения процессов синтеза муллита и спекания масс с участием агрессивной жидкой фазы, содержащей оксиды железа.

Установлено, что при обжиге керамики, содержащей метадиабазы, ионы железа оказывают минерализующее действие на процесс кристаллизации муллита, повышая выход последнего и снижая температуру образования кристаллов более совершенного габитуса. По-видимому, ионы Fe²⁺ способны встраиваться в структуру муллита, образуя вакансии, тем самым увеличивая число дефектов решетки. Повышение температуры обжига и длительности изотермической выдержки, очевидно, приводит к окислению Fe²⁺ до Fe³⁺ и уменьшению концентрации неравновесных вакансий в решетке муллита, т.е. к аннигиляции дефектов и совершенствованию его структуры. Уменьшение концентрации неравновесных дефектов возможно также в результате выхода ионов железа из кристаллической решетки муллита.

Образование муллита более совершенного строения при температурах обжига 1180-1200 °С подтверждает сравнительный анализ рентгенограмм и структуры образцов различного состава. По мере увеличения содержания ме-

тадиабазы в составах керамических масс в структуре образцов преобладают игольчатые и призматические разности муллита, размеры кристаллов увеличиваются. Например, при увеличении содержания метадиабазы от 10 до 30 %, отвечающего росту количества оксидов железа от 2,2 до 4,7 %, размер кристаллов увеличивается от 0,5 до 4 мкм. О совершенствовании структуры муллита, приближении его состава к стехиометрическому свидетельствует разрешение дифракционных максимумов, отвечающих муллиту (рис.1.).

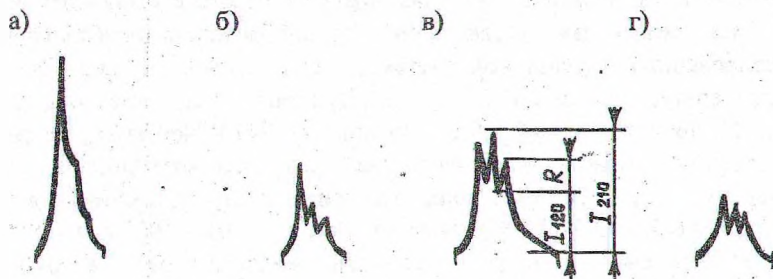


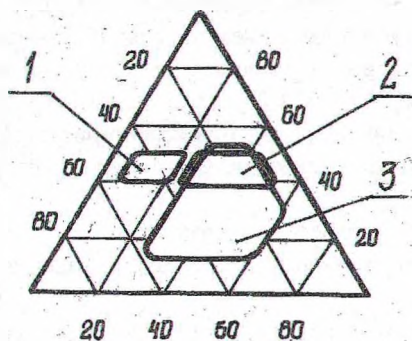
Рис.1. Степень разрешения отражений (210) и (120) образцов исследуемых масс, обожженных при 1200°C и содержащих различное количество метадиабазов: а) 10 %; б) 20 %; в) 30 %; г) 40 %

Также установлено, что стекловидная фаза образцов, содержащих более 4 % оксида железа, характеризуется наличием участков ликвационного разделения в виде мельчайших капель, на которых происходит рост кристаллов муллита. Минерализирующее действие, которое оказывают в данном случае ионы железа, по-видимому, сказывается на появлении в жидкой фазе сиботаксических групп $[\text{SiO}_4]$, $[\text{AlO}_4]$, $[\text{AlO}_6]$.

Таким образом установлено, что при введении в состав керамических масс метадиабазов, характер их влияния на процесс фазообразования определяется наряду с изменением минералогического состава продуктов термообработки, главным образом на промежуточных стадиях высокотемпературного синтеза (до 1150 °C), минерализующим действием оксидов FeO и Fe₂O₃, наличие которых способствует образованию кристаллов муллита более совершенного габитуса.

Обобщение результатов экспериментальных работ позволило выработать рекомендации по проектированию составов керамических масс в системе каолин природный - глина огнеупорная - метадиабаз. На основе установленных зависимостей свойств керамических масс от содержания исследуемых материалов, с помощью метода математического планирования, определены области оптимальных составов. На их основе получены керамические изделия с соответствующими характеристиками свойств (рис.2).

Огнеупорная глина «Гранитик-Веско»



Каолин природный «Глушковичи»

Метадиабаз Микашевичский

Рис. 2. Области составов керамических масс в системе каолин-глина огнеупорная - метадиабаз: 1- плотноспекшиеся каменно-керамические изделия с водопоглощением до 0,5 %, $T_{\text{обж}} = 1150-1200$ °С; 2- каменно-керамические изделия с водопоглощением до 3,5 %, $T_{\text{обж}} = 1100-1150$ °С ; 3 - изделия облицовочной керамики с водопоглощением 2,04-11 %, $T_{\text{обж}} = 1000-1150$ °С.

На основе составов области 1, содержащих, %: 40-50 глина огнеупорная, 30-50 каолин природный «Глушковичи», 10-20 метадиабаз, при температуре обжига 1150-1200 °С, получены износостойкие керамические материалы с водопоглощением до 0,5 %. Фазовый состав керамики представлен преимущественно кварцем и муллитом. Данные составы рекомендуются для производства крупноразмерных плиток для полов. В составах керамических масс области 1 обеспечиваются следующие количества и соотношения оксидов, наиболее существенно влияющие на процесс спекания : $RO+R_2O+Fe_2O_3(FeO)=5,2-10,1$ %, $RO/R_2O=0,6-1,25$ при содержании Al_2O_3 25,0-28,3 %. Здесь $RO=CaO+MgO$, $R_2O=Na_2O+K_2O$.

Область 2 включает составы, содержащие, %:40-50 глина огнеупорная, 10-40 каолин «Глушковичи», метадиабаз 20-50. При температуре обжига 1100-1150 °С на основе данных составов получены керамические материалы с водопоглощением до 3,5 %. Керамический черепок этой области составов полиминерален. Кристаллические фазы представлены в основном муллитом, кварцем, минералами групп пироксена, шпинели и плагиоклаза. Эти составы рекомендуются для синтеза фасадной керамики и плиток для полов. Составы области 2 отвечают следующим количествам определяющих оксидов и их соотношениям: $RO+R_2O+Fe_2O_3(FeO) = 12,9-15,9$ %, $RO/R_2O=1,45-1,65$ при содержании Al_2O_3 не менее 22,7-23,7 %.

Наиболее обширная область 3 отвечает составам, включающим, %: гли-на огнеупорная 10-50, каолин «Глушковичи» 10-60, метадиабаз 30-60. Они отве-чают керамическим массам, предназначенным для изготовления плиток с температурой обжига 1000-1100 °С. Устойчивость к деформации данных кера-мических масс достигается введением небольших добавок доломита (до 5 %). Сумма основных оксидов и их соотношение в составах этой области составля-ет: $RO+R_2O+Fe_2O_3(FeO)=16,8-24,2$ %, $RO/R_2O=2,7-3,1$ при содержании Al_2O_3 не менее 19,4 %. Керамический черепок характеризуется наличием кристалли-ческих образований кварца, гематита, минераллов группы плагиоклаза, пирок-сена и шпинели.

Предложенная диаграмма позволяет осуществлять структурно-управляемый синтез керамических материалов с заданными характеристиками свойств.

Исследовалась также возможность получения керамических материалов на основе глауконитов.

В отличие от магматических пород основного состава исследуемые оса-дочные породы - глаукониты, относятся по минеральному типу к группе желе-зистых гидрослюд, в продуктах высокотемпературной термообработки кото-рых преобладает стекловидная фаза.

Исследования керамических масс в системе огнеупорная глина – при-родный глауконит показали, что спекание до водопоглощения менее 4 % дос-тигается только при температурах обжига 1150 °С. Введение глауконита при-водит к заметному увеличению кажущейся пористости и водопоглощения, од-новременному уменьшению усадки, плотности и механической прочности. Характер изменения изучаемых физико-механических показателей образцов незначительно меняется во всем интервале температур обжига и объясняется высокой запесоченностью глауконитов.

Установлено, что получение плотносспекшихся качественных каменно-керамических изделий с водопоглощением до 3,5 % возможно только на осно-ве природного глауконита с использованием в качестве добавки комплексного плавня: нефелин-сиенита и доломита. Оптимальное соотношение природного глауконита с нефелин-сиенитом и доломитом, составляющее соответственно 9:2:1, позволяет значительно интенсифицировать спекание и снизить водопо-глощение масс, повысить механическую прочность, что, по-видимому, объяс-няется интенсификацией процессов жидкофазного спекания. Высокую изно-состойкость этим изделиям придают нерасплавившиеся зерна кварца и ново-образования плагиоклаза и пироксена, образующие с керамической основой прочный монолит. Так, состав массы, содержащий 45 % природного глаукони-та и 15 % плавней, позволяют получать изделия при температуре обжига 1100 °С с водопоглощением 2,8 %, истираемостью 0,06-0,07 г/см².

В пятой главе представлены исследования влияния технологических факторов на спекаемость, структуру и свойства керамического черепка на основе системы каолин природный-огнеупорная глина-метадиабаз.

В ходе проведенных исследований установлены оптимальные температурно-временные параметры обжига керамических изделий, при которых достигается структура черепка, обеспечивающая требуемые физико-химические свойства изделий. Так, оптимальная температура обжига керамических масс для производства износостойкой облицовочной керамики составляет 1150 °С с изотермической выдержкой при максимальной температуре 15-17 мин.

Исследованием влияния тонины помола на спекаемость плиточных масс установлено, что оптимальная тонина помола характеризуется остатком сырья на сетке 0063К не более 1,5 %.

Установлено, что повышение механической прочности и химической стойкости спеченного черепка обусловлено также ростом давления прессования. Это связано с активизацией спекания при повышении исходной плотности упаковки частиц, интенсификацией процессов кристаллизации муллита, а также минералов групп пироксена, плагиоклаза и шпинели, которые и обеспечивают во многом высокие прочностные характеристики материала. Так, с ростом удельного давления прессования от 25 до 40 МПа, механическая прочность при изгибе возрастает линейно с 53 до 80 МПа.

При исследовании влияния технологических факторов на спекаемость керамических масс на основе метадиабазы наряду с определением оптимальных технологических параметров изучались также пути устранения так называемой черной сердцевины керамических плиток.

Установлено, что газопроницаемость черепка и перевод двухвалентного железа в трехвалентное с образованием гематита в массах высокотемпературного синтеза не приводит к полному устранению черноты, хотя, как показали исследования, снижает ее ширину. Повышение влажности пресс-порошка и давления прессования, использование ангоба и глазури приводит к увеличению значений ширины черной сердцевины на 1-3 мм за счет повышения плотности упаковки частиц и уменьшения газопроницаемости черепка в начальный период обжига.

Изучение фазового состава черной сердцевины, а также поверхности спеченных образцов плиток из исследуемых керамических масс позволило установить, что во внутренних и наружных слоях изделий образуются различные железосодержащие кристаллические фазы. Так в наружных слоях преобладает гиперстен $(Mg, Fe)SiO_3$ и гематит Fe_2O_3 , во внутренних - клиноферросилит состава $FeSiO_3$, магнетит $FeFe_2O_4$, магнезиоферрит $(Mg, Fe)Fe_2O_4$. Выделение железосодержащих кристаллических фаз, имеющее место при формировании керамического черепка и незавершенность процессов фазо- и структурообразования являются причинами возникновения черной сердцевины. Внутреннему

слою черепка черную окраску придают, по-видимому, также ионы двухвалентного железа входящие в состав стеклофазы.

Установлено, что изотермическая выдержка при максимальной температуре обжига в течение 15-17 мин позволяет синтезировать изделия без черноты за счет более полной кристаллизации твердых растворов орто- и диортосиликатов железа $(Mg,Fe)SiO_3$, $Ca(Mg,Fe)(SiO_3)_2$, аломоферритов магния и железа.

К технологическим факторам, оказывающим влияние на снижение интенсивности черной сердцевины, относятся также влажность пресс-порошка и давление прессования, оптимальные значения которых, как показали исследования, лежат пределах 5-6 % и 30-35 МПа соответственно.

В шестой главе представлена технология получения облицовочных керамических материалов и результаты проведенных промышленных испытаний. Приведены рекомендуемые параметры производства применительно к действующему на предприятиях технологическому процессу, позволяющие получать качественные изделия.

Разработанные составы масс прошли промышленные испытания на ОАО «Керамин» и содержат до 60 % местного аломосиликатного сырья. Внедрение цветных масс в производство позволит заменить импортируемые пегматиты и каолины отечественным минеральным сырьем. Экономический эффект от внедрения разработанных составов масс и технологии составит 292 у.е. на 1 млн. м².

В таблице приведены основные физико-химические свойства разработанных керамических масс в сравнении с промышленными образцами.

Свойства керамических материалов оптимальных составов масс и промышленных аналогов

Наименование свойств	Индексы масс и показатели свойств				
	ГОСТ 6887-90	GRD 13	Плитка ГРЕС «Керамин»	Г5	Плитка для пола «Керамин»
Температура обжига, °С	-	1150	1190	1100	1150
Водопоглощение, %	3,5-4,5	0,33	0,16	2,7	3,4
Механическая прочность при изгибе, МПа	25	73,6	50,6	28,9	38,5
Морозостойкость, цикл	25	>120	>120	>120	>120
Истираемость, г/см ²	0,18	0,012	0,013	0,06	-
Цвет черепка	-	пепельный	определяется красителем	зеленоватого - коричневатый	бежевый

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые проведены комплексные исследования магматических пород основного состава Республики Беларусь. Установлено, что их флюсующее действие проявляется при температурах обжига 1100-1200 °С. В ряду апробированных материалов тонко- и мелкозернистые метадиабазы обладают наиболее выраженными свойствами плавней, поскольку, в отличие от метагаббро и безмагнетитовых метадиабазов, характеризуются значительно большим содержанием одновременно оксидов железа (13,53 % и 9,76 % соответственно) и оксидов щелочных металлов, а также наличием в минеральном составе пород, как в исходном виде, так и после термической обработки, более легкоплавких кристаллических фаз - олигоклаза и гиперстена (в сравнении с тугоплавкими кристаллическими фазами - лабрадора и форстерита). Установлено, что магматические породы основного состава являются отощителями в керамических массах, обжигаемых при температурах 1000-1100 °С /2,5,11/.

2. Структурно-управляемый синтез керамических материалов при введении метадиабазов в количестве 10-40 % обеспечивает активизацию процессов формирования структуры за счет обогащения расплава железистыми составляющими с последующим формированием плотноспеченного черепка, армированного муллитом, плагиоклазами, минералами диопсидового, клиноэнстатитового составов и остаточным кварцем, сочетание которых придаст керамике высокие физико-технические характеристики.

Установлено, что при обжиге керамики, содержащей ожелезненные магматические породы основного состава, ионы железа оказывают минерализирующее действие на процесс кристаллизации муллита, повышая выход последнего и снижая температуру образования кристаллов более совершенного габитуса. Минерализирующее действие ионов железа сказывается также и на появлении в жидкой фазе групп $[\text{SiO}_4]$, $[\text{AlO}_4]$, $[\text{AlO}_6]$ /3,6/.

3. В результате обобщения исследований предложена диаграмма "состав-свойство" в системе каолин природный - глина огнеупорная - метадиабаз, позволяющая проектировать составы керамических масс с желаемым типом структуры и фазовым составом, на основе которой получены керамические облицовочные изделия различного назначения.

Для плотноспеченных керамических материалов высокотемпературного синтеза с высокой износостойкостью установлены количества и соотношение оксидов, наиболее существенно влияющие на процесс спекания: $\text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{FeO}) = 5,2-10,1$ %, $\text{RO}/\text{R}_2\text{O} = 0,6-1,25$ при содержании Al_2O_3 25,0-28,3 % (где $\text{RO} - \text{CaO} + \text{MgO}$, $\text{R}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$). Для керамических изделий с водопоглощением до 3,5 % эти показатели составляют соответственно $\text{RO} + \text{R}_2\text{O} + \text{Fe}_2\text{O}_3(\text{FeO}) = 12,9-15,9$ %, $\text{RO}/\text{R}_2\text{O} = 1,45-1,65$ при содержании Al_2O_3 не менее 22,7-23,7 % /1,4,7,8/.

4. Установлено, что наиболее существенным фактором, обуславливающим устранение черной сердцевины при высокотемпературном синтезе керамических масс, содержащих метадиабазы, является изотермическая выдержка при максимальной температуре обжига в течении 15-17 мин., что, в отличие от известных способов, основанных на окислении оксидов железа, обеспечивает связывание вюститита в орто- и диортосиликаты железа, а также переход его в аллюмосиликатный расплав /12/.

5. Впервые проведенным комплексным исследованием глауконитов Республики Беларусь, установлено, что в продуктах высокотемпературной термообработки (1150-1200 °С) пород наряду с кварцевой составляющей присутствует стекловидная фаза, содержащая ферросоединения: Повышенное содержание в глауконитах Fe_2O_3 (до 9,5 %) при одновременно незначительном содержании оксидов щелочных металлов (до 4 %) позволяет регулировать количество и реакционную способность расплава и, как следствие, спекание керамических масс при введении небольших добавок плавней. Высокие показатели износостойкости каменно-керамических изделий (с водопоглощением не более 3,5 %) обеспечиваются при 1100-1150 °С кристаллическими новообразованиями минералов группы плагиоклаза, шпинели и пироксенов, а также остаточным кварцем /9-11/.

6. Разработана промышленная технология облицовочных керамических материалов повышенной износостойкости. Разработанные составы керамических масс для каменно-керамических плиток прошли промышленную апробацию в условиях ОАО «Керамин» /г.Минск/. Выпущенные опытные изделия из массы оптимального состава, характеризуются показателями физико-химических свойств, соответствующими требованиям ГОСТ 6787-90. Ожидаемый экономический эффект от внедрения составит 292 тыс. у.е. на 1 млн. м² плиток в год /13/.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Исследование каолинов Беларуси с целью оценки возможности их использования в производстве керамических изделий / И.А. Левицкий, В.А. Бирюк, А.П. Черняк, Ю.Г. Павлюкевич // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. - 1998. - № 2. - С. 98-102.
2. Комплексное исследование горных пород основного состава в качестве сырья керамической промышленности / Ю.Г.Павлюкевич, И.А.Левицкий, Н.В.Аксаментова, Ю.С.Радченко // Стекло и керамика. - 1998. - № 11. - С. 6-10.
3. Павлюкевич Ю.Г., Левицкий И.А. Фазообразование в керамических массах, содержащих метадиабазы // Стекло и керамика. - 1999. - № 8. - С. 19-23.
4. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г., Аксаментова Н.В. Получение керамических облицовочных материалов повышенной износостойкости с использова-

нием белорусского минерального сырья // Природные ресурсы.- 2000. - №2.- С. 137-140.

5. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г. Диабазы - перспективное сырье для производства керамических изделий // Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе : Тр. межд. научно – технич. конф., Минск, 27-28 окт. 1997 г. / Бел. гос. технол. ун-тет.- Минск, 1997. – С. 138-141.

6. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г., Радченко Ю.С. Особенности формирования железосодержащих фаз в керамических массах и глазурных стеклах на основе диабазов. XVI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: Рефераты докладов и сообщений, - М., 1998 .- Т.№2.- С.107-108.

7. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г., Аксаментова Н.В. Получение керамических облицовочных материалов повышенной износостойкости на основе местного минерального сырья // Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии : Тез. III-ой межд. научн.–технич. конф., Гродно, 25-26 июня / Академия наук РБ, Министерство образ. и науки РБ. – Гродно, 1997. – С. 294-295.

8. Использование диабазов в силикатной промышленности / И.А. Левицкий, Л.Ф. Папко, С.Е. Баранцева, Ю.Г. Павлюкевич, Ю.С. Радченко // Высокие технологии и научно-технический прогресс в строительном комплексе Республики Беларусь : Тез. докл. Межд. конф., Минск, 28 сен. 1999 г. / НИИСМ.- Минск, 1999.- С.92-94.

9. Павлюкевич Ю.Г. Использование глауконитов в керамической промышленности / Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химической промышленности : Тр. Междунар. научно – технич. конференции, Минск, 20-22 окт. 1999 г. - Белорус. госуд. технологич. ун-тет. - Минск, 1999. – С. 12-15.

10. Левицкий И.А., Павлюкевич Ю.Г., Мурашко Л.И. Цветные керамические массы с использованием глауконитов // Ресурсосберегающие экотехнологии: возобновление и экономия энергии, сырья и материалов: Тез. межд. научн.–технич. конф., Гродно, 10-13 октября / Академия наук РБ, Министерство образ. и науки РБ. – Гродно, 2000. – С.70.

11. Левицкий И.А., Бирюк В.А., Павлюкевич Ю.Г. Использование минерального сырья Республики Беларусь в производстве керамических материалов / Труды БГТУ. Серия химия и технология неорганических веществ. - Минск. - 1998. - Вып.8. - С. 382-394.

12. Павлюкевич Ю.Г., Левицкий И.А. Пути повышения качества плиток для полов на основе местного полиминерального сырья // Ресурсо- и энергосберегающие технологии: Тр. Междунар. научно – технич. конференции, Минск, 9-10 нояб. 2000 г. / Белорус. госуд. технологич. ун-тет. - Минск, 2000. – С.162-165.

13. Заявка № а19990456 от 4.08.99. Керамическая масса /И.А.Левицкий, Ю.Г.Павлюкевич; Заявлено 05.05.1999.

РЭЗІЮМЭ

Паўлюкевіч Юрый Генадзьевіч

Распрацоўка саставаў і тэхналогіі керамічных абліцовачных матэрыялаў павышанай зносастойкасці

МАГМАТЫЧНАЯ ПАРОДА АСНОЎНАГА САСТАВУ, ГЛАЎКАНІТЫ, ПРЫРОДНЫ КААЛІН, ФАЗАЎТВАРЭННЕ, КРЫШТАЛІЗАЦЫЯ, МУЛІТ, ПЛАГЛЯКЛАЗ, ПРАКСЭН, ІЗАТЭРМІЧНАЯ ВЫТРЫМКА, СПЯКАННЕ, ВОДАПАГЛЫНАННЕ, ЗНОСАСТОЙКАСЦЬ, МАРОЗАСТОЙКАСЦЬ, ХІМІЧНАЯ СТОЙКАСЦЬ, СЦПРАННЕ

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца магматычныя пароды асноўнага саставу, глаўканіты і кааліны Рэспублікі Беларусь, а таксама керамічныя абліцовачныя матэрыялы на іх аснове.

Мэта дысертацыйнай работы - распрацоўка саставаў і тэхналогіі атрымання абліцовачных матэрыялаў павышанай зносастойкасці з палепшанымі фізіка-механічнымі і эксплуатацыйнымі ўласцівасцямі.

У работе выкарыстаны сучасныя метады даследавання (петраграфічны, спектральны, дыферэнцыяльна-тэрмічны, рэнтгенафазавы, электронна-мікраскапічны і радыёметрычны), метады матэматычнага планавання эксперыменту і наступнае абсталяванне: дэрываатограф (ОД-108, Q-1500D), электронныя растравы і аптычныя мікраскопы (ЭМ-14, РЭМ-100У і ПОЛІАМ-111), ІК-спектрометр «Specord IR-75», дыфрактометр ДРОН-3, радыёметр РУГ-91Г.

Выяўлены асаблівасці структуры, фазавога саставу і ўласцівасцяў мінеральнай сыравіны Рэспублікі Беларусь і прадуктаў яе тэрмаапрацоўкі. Вызначаны асаблівасці фарміравання структуры керамічнага чарапка пры абпальванні мас ў залежнасці ад віду ўжываемай мінеральнай сыравіны і агульных заканамернасці мінералізуючага уздзеяння аксідаў жалеза, якія утрымліваюцца у сыравінных матэрыялах. Даследаваны ўплыў тэхналагічных фактараў на фазавы састаў, паказчыкі спякання і фізіка-механічныя ўласцівасці керамічнага чарапка. У выніку абагульнення эксперыментальных даных устаноўлены навукова-тэхналагічныя заканамернасці сінтэзу керамічных абліцовачных матэрыялаў на аснове нетрадыцыйнай сыравіны, распрацаваны рэкамендацыі па праектаванню саставаў мас для вытворчасці вырабаў рознага прызначэння, здзейснена распрацоўка саставаў і праведзена іх апрацацыя ва ўмовах вытворчасці.

РЕЗЮМЕ

Павлюкевич Юрий Геннадьевич

Разработка составов и технологии керамических облицовочных материалов повышенной износостойкости

МАГМАТИЧЕСКАЯ ПОРОДА, ГЛАУКОНИТ, ПРИРОДНЫЙ КАОЛИН, ФАЗООБРАЗОВАНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ, МУЛЛИТ, ПЛАГИОКЛАЗ, ПИРАКСЕН, ШПИНЕЛЬ, ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ВЫДЕРЖКА, СПЕКАНИЕ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ, ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ, ИСТИРАЕМОСТЬ

Объектом исследования являются магматические породы основного состава, глаукониты и каолины Республики Беларусь, а также керамические материалы на их основе.

Цель диссертационной работы – разработка составов и технологии получения облицовочных материалов повышенной износостойкости с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

В работе использованы современные методы исследования (петрографический, дифференциально-термический, рентгенофазовый, спектральный, электронно-микроскопический, радиометрический и др.), метод математического планирования эксперимента и следующая аппаратура: дериватограф ОД-108 и Q-1500D, электронный, растровый и оптический микроскопы (ЭМ-14, РЭМ-100У и ПОЛАМ-111), ИК-спектрометр “Specord IR-75”, дифрактометр ДРОН-3, радиометр РУГ -91Г.

Выявлены особенности состава и свойств минерального сырья Республики Беларусь и продуктов их термообработки. Установлены особенности формирования структуры керамического черепка при обжиге масс в зависимости от вида используемого минерального сырья и общие закономерности минерализующего действия оксидов железа, содержащихся в сырьевых материалах. Исследовано влияние технологических факторов на фазовый состав, показатели спекаемости и физико-механические свойства керамического черепка. В результате обобщения экспериментальных данных выявлены научно-технологические закономерности синтеза керамических облицовочных материалов на основе нетрадиционного сырья, разработаны рекомендации по проектированию составов масс для производства изделий различного назначения, осуществлена разработка составов и проведена их апробация в условиях производства.

SUMMARY

Pavlyukevich Yura. G.

Development of structures and technology of facing ceramic materials with raised wear resistance

MAGMATIC ROCKS, GLAUCONITE, KAOLIN, CHEMICAL AND MINERALOGICAL COMPOSITION, PHASE FORMATION, ISOTHERMAL ENDURANCE, SINTERING, WATERABSORPTION, WEAR RESISTANCE, PHASE STRUCTURE, MULLIT, COLD RESISTANCE

The object of research is basic magmatic rocks, kaolins and glauconites of the Republic of Belarus, and facing ceramics of materials on their basis.

The subject matter of the dissertation is development of structures and technology of reception of facing ceramic materials with raised wear resistance and improved physical and mechanical characteristics and operational properties. In work the modern methods of research (petrography, differential-thermal methods, X-ray, spectroscopical, electronic-microscopical and radiometric analyses), the method of planning of experiment and the following equipment have been used: derivatograph OD-108 and Q-1500D, electronic, raster and optical electronic microscopes (EM-14, REM-100U and POLAM - 111), IR-spectrometer "Specord-IR-75", diffractometer DRON-3 (radiation FeK_{α} , CuK_{α}), radiometer RUG - 91G.

The features of structure and properties of mineral raw material of the Republic of Belarus and products of their heat treatment have been revealed as a result of the executed work. The features of ceramic body formation have been established at firing of ceramic masses depending on a kind of used mineral raw material and general laws of mineralize action of iron-containing raw materials. The influence of technology factors on phase structure, parameters sintering ability and physical and mechanical properties of the ceramic body has been researched. As a result of generalization of experimental data the scientific - technological laws of synthesis of facing ceramic materials have been revealed on the basis of nonconventional raw material and the recommendations for designing structures for manufacture of products of various purpose have been developed.



Павлюкевич Юрий Геннадьевич

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКИХ
ОБЛИЦОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОВЫШЕННОЙ
ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Подписано в печать 12.02.2001. Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отг. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.
Тираж 75 экз. Заказ № 51.

Белорусский государственный технологический университет.
Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.98. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринте Белорусского государственного
технологического университета. 220050, Минск, Свердлова, 13.