

рентгенофазовому анализу в основном анортитовой фазы. Структура сформировавшейся во время обжига самоглазурующей поверхности образца более однородная и ровная, хотя имеются небольшое количество пор и включения зерен.

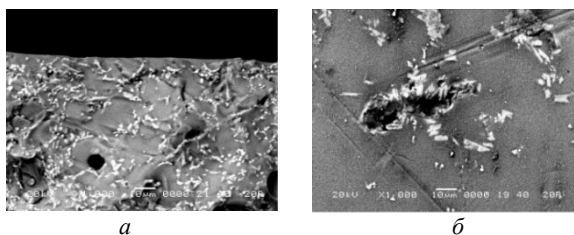


Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение: внутреннего скола (а) и самоглазурующей поверхности керамического образца (б), обожженных при температуре 1170 °С

Структура неглазурованного образца имеет шероховатости, которые усиливают трение. Установлено, что щелочная добавка в керамическую массу снижает температуру спекания образца, образует стекловидный слой, выравнивает и «залечивает» поверхности открытых пор, образуя в поровом пространстве скопление мелких кристаллов предположительно анортитовой природы. Использование эффекта самоглазурования позволило получить керамические материалы с шероховатостью поверхности (средним отклонением профиля R_a) 3,2 нм, коэффициентом трения 0,24 и микротвердостью 10800 МПа, которые можно рекомендовать для эксплуатации в условиях истирающих нагрузок.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для получения износостойких керамических изделий с пониженным коэффициентом трения, способных работать длительное время в условиях истирающих нагрузок в химиче-

ской и машиностроительной отраслях, а также на предприятиях легкой промышленности.

Литература

1. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев [Текст] / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. – М. : Машиностроение, 1991. – 208 с.
2. Современная оксидная керамика и области ее применения [Текст] / Е.С. Лукин, Н.А. Попова, Н.А. Макаров [и др.] // Конструкции из композиционных материалов. – 2007. – № 1. – С. 3–13.
3. Алисин, В.В. Влияние химического состава и условий синтеза наноструктурированных кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония на трибологические характеристики [Текст] / В.В. Алисин, М.А. Борик, А.В. Кулебякин, Е.Е. Ломонова // Керамика и композиционные материалы: доклады VI Всероссийской научной конференции, Сыктывкар, 25–28 июня 2007 г. – Сыктывкар, 2007. – С. 349–350.
4. Меркин, А.П. Производство самоглазурующихся керамических плиток [Текст] / А.П. Меркин, Н.А. Николаенко, М.А. Шенкао // Стекло и керамика. – 1991. – № 3. – С. 11–12.
5. Меркин, А.П. Самоглазурующиеся керамические плитки на основе кислых вулканических стекол / А.П. Меркин, В.И. Наназ-швили // Стекло и керамика. – 1987. – № 12. – С. 18–19.
6. Износостойкие керамические материалы с самоглазурующей поверхностью / О.А. Сергеевич, И.А. Алексеенко, Е.М. Дятлова // Международная науч.-техн. конф. молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», Могилев, 26–27 октября 2017 г. – С. 104.

УДК 666.766:[666.321+614.842.615]

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Дятлова Е.М., Колонтаева Т.В., Попов Р.Ю., Богдан Е.О., Белугин Д.С, Ильина Л.С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь
Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

Современные теплоизоляционные материалы широко используются для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, технологического оборудования и различных теплотехнических агрегатов. Теплоизолирующие материалы, применяющиеся в промышленности строительных материалов, позволяют экономить от 20 до 70 % топлива, при этом осуществляется снижение перепада температур в тепловых агрегатах, уменьшение толщины ограждающих конструкций, существенно ускоряется процесс обжига, а также качество обжигаемых изделий.

В керамической технологии применяют несколько методов получения пористой структуры: введение выгорающих добавок, в качестве которых выступают органические компоненты – опилки, торф, уголь, сгорающие при синтезе, образуя поры; использование пенообразования (с применением различных пен) или химического газообразования (металлический алюминий с кислотами или щелочами). Анализ литературных данных показывает, что применение шликерной технологии с использованием пенообразователей позволяет получать изделия, характеризующиеся

высокой пористостью (до 85 %) и равномерной ячеистой структурой, что обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства конструкций.

В настоящее время в Республике Беларусь теплоизоляционные керамические изделия не выпускаются и являются предметом импорта из стран СНГ и ближнего зарубежья. В связи с этим, весьма актуальными являются исследования, направленные на установление возможности и целесообразности применения местного огнеупорного и тугоплавкого глинистого сырья для получения указанных материалов.

На территории нашей республики отсутствуют месторождения огнеупорных глинистых материалов, разрабатываемые в промышленных масштабах. Однако в настоящее время большой интерес ученых вызывают перспективные месторождения и проявления каолинов на территории Республики Беларусь, в частности месторождение «Дедовка» Житковичского района Гомельской области с общими запасами первичных каолинов 7,02 млн. т и вторичных каолинов 1,23 млн. т. Проведенные нами исследования позволили установить возможность и целесообразность применения природных и обогащенных местных каолинов в керамической промышленности.

Основными недостатками каолина указанного месторождения являются сильная запесоченность, наличие железистых и титансодержащих примесей. Установлено, что мокрое обогащение каолина методом отмучивания до прохождения частиц через сито № 0063 позволяет снизить содержание кварца приблизительно на 20 %, что значительно улучшает пластические и огнеупорные характеристики сырья.

Также для получения теплоизоляционных материалов использовались тугоплавкие глины «Городок» (Гомельская область, РБ) и «Городное» (Брестская область, РБ).

В качестве отощающих добавок при синтезе использовались кварцевый песок Гомельского ГОКа, дегидратированная глина «Городное», гранитоидные отсеvy, шамот алюмосиликатный.

В качестве пенообразователей традиционно применяют поверхностно-активные продукты нефтепереработки и нефтехимического синтеза, а также природные органические вещества (например, канифольное мыло, сапонин), способные образовывать устойчивые во времени пены. В данной работе использовались пенообразователи для пожаротушения с истекшим сроком годности, подлежащие утилизации.

Исследования свойств пенообразователя «Барьер-пленкообразующий» и пены, полученной на его основе, позволили установить возможности применения для получения тепло- и шумоизоляционных керамических материалов.

Первая серия составов разрабатывалась на основе следующих компонентов: глина «Керамик-Веско» в количестве 10 мас.%, шамот алюмосиликатный 60–80 мас.% и обогащенный каолин «Дедовка» 10–30 мас.%. Составы второй серии получали на основе местного тугоплавкого глинистого сырья месторождений «Городок» или «Городное» с введением отощающих добавок. Содержание глины варьировалось в пределах 30–60 мас.%. Количество вводимого отощителя (кварцевый песок, дегидратированная глина «Городное», гранитоидные отсеvy и алюмосиликатный шамот) составляло 40–70 мас.%.

Опытные образцы теплоизоляционных материалов получали по шликерной технологии. Предварительно подготовленные глинистые компоненты и алюмосиликатный шамот смешивались в необходимых соотношениях, затем добавлялась вода до влажности шликера 40–50 мас.%. Суспензия тщательно перемешивалась до однородности с помощью миксера. Отдельно готовилась пена методом диспергирования пенообразователя «Барьер-пленкообразующий» в лабораторной мешалке, а затем вводилась в шликер. Для стабилизации пеномассы использовали мездровый клей в количестве 20 мас.% (сверх 100 %).

Дополнительно в полученную суспензию вводили гипсовое вяжущее марки Г-5 в количестве 15 мас.%, а также портландцемент М400 – 15 мас.% (сверх 100 %), добавление которых способствовало упрочнению отлитого полуфабриката и ускорению процессов сушки за счет активного поглощения влаги при гидратации.

Формование полуфабриката осуществлялось методом литья приготовленного шликера в специальные формы, с последующей сушкой и обжигом изделий в интервале температур 1100–1300°C в зависимости от химико-минералогического состава массы.

Рентгенофазовый анализ, проведенный с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker (Германия), позволил установить, что фазовый состав синтезированных материалов представлен преимущественно муллитом ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), кварцем ($\alpha\text{-SiO}_2$) и кристобалитом (SiO_2).

Результаты исследования микроструктуры синтезированных материалов, выполненного на сканирующем электронном микроскопе «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия), представлены на рисунке 1.

Анализ полученных микрофотографий позволил установить, что материал обладает значительной пористостью. Равномерно распределенные по объему материала поры имеют изометричную форму и характеризуются размером от 5 до 1000 мкм. На поверхности изломов фиксируются кристаллические образования в виде призм продолго-

ватой формы, которые, согласно габитусу кристалла, можно идентифицировать как муллит.

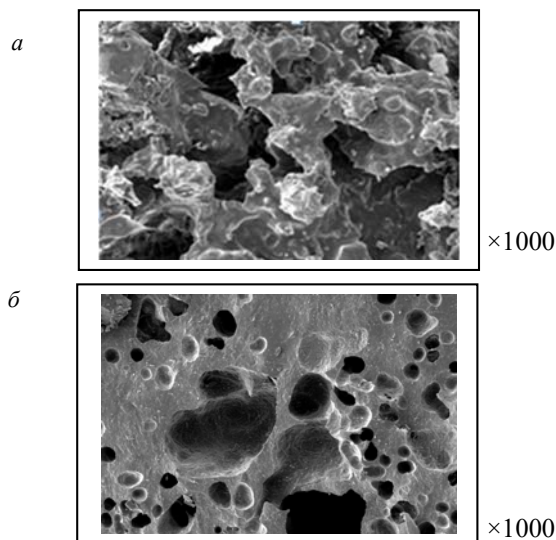


Рисунок 1 – ЭМ-изображение поверхности синтезированных материалов, полученных на основе составов первой серии (а) и второй серии (б)

Скопления кристаллов различной формы и размеров располагаются как на поверхности, так и во внутренних полостях пор и аналогичны для образцов всех исследуемых составов. На некоторых участках четко выделяются зерна шамота с прослойками аморфизированного вещества.

По результатам проведенных комплексных исследований разработаны теплоизоляционные

керамические материалы на основе огнеупорного и тугоплавкого глинистого сырья Беларуси. Сравнительная характеристика физико-химических свойств полученных материалов оптимальных составов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства разработанных теплоизоляционных материалов

Наименование свойства	Теплоизоляционные материалы, полученные на основе составов	
	первой серии	второй серии
Пористость общая, %	68	73
Плотность кажущаяся, кг/м ³	860	722
Водопоглощение, %	69	76
Прочность при сжатии, МПа	2,79	2,54
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0,25	0,18
Температура эксплуатации, не более, °С	1300	1200

Проведенные исследования показали целесообразность применения глинистоогнеупорного и тугоплавкого глинистого сырья Беларуси и утилизируемого пенообразователя «Барьер-пленкообразующий» для получения ячеистых теплоизоляционных керамических материалов, что позволит расширить сырьевую базу керамической отрасли, ассортимент выпускаемой продукции, решить проблемы импортозамещения, ресурсо- и энергосбережения, а также утилизации пенообразователей для пожаротушения с истекшим сроком годности.

УДК 621.382

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОДВИЖНОСТИ В КОРОТКОКАНАЛЬНЫХ МОП-ТРАНЗИСТОРАХ

Жевняк О.Г.

Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Уменьшение размеров элементов современных интегральных микросхем, в частности, проводящих каналов МОП-транзисторов, приводит к тому, что перенос электронов в них приобретает сильно неоднородный и сильно нелокальный характер (см., например, [1; 2]). Электрические характеристики и связанные с ними электрофизические параметры – дрейфовую скорость и подвижность, – нельзя описать аналитическими или модельными приближениями. Зависимости величин этих параметров становятся существенно двумерными – они изменяются как вдоль проводящих каналов МОП-транзисторов, так и по их глубине.

Целью настоящего доклада явилось рассмотрение распределений подвижности электронов как вдоль проводящего канала в короткоканаль-

ном МОП-транзисторе, так и в глубь его (в подложку) и оценка влияния на эти распределения напряжения на стоке V_D и глубины залегания истока и стока d_j . Данные распределения были получены на основании численного моделирования движения электронов в проводящем канале транзистора методом Монте-Карло в соответствии с алгоритмами и процедурами, описанными в наших работах [3; 4].

Моделировался МОП-транзистор со следующими конструктивно-технологическими параметрами: длина канала $L_{ch} = 0,2$ мкм, толщина подзатворного окисла $d_{ox} = 6$ нм, концентрация донорной примеси в областях истока и стока $N_D = 10^{26}$ м⁻³, концентрация акцепторной примеси в подложке $N_A = 10^{24}$ м⁻³, напряжение на затворе $V_G = 2$ В. Напряжение на стоке V_D изменялось от 1