

ный шамот смешивались в необходимых соотношениях, затем добавлялась вода до влажности шликера 40–50%. 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% (сверх 100%). Дополнительно в полученную суспензию вводили гипсовое вяжущее марки Г-5 в количестве 10–20%, а также портландцемент М400 – 15 (сверх 100%), добавление которых способствовали 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 1200–1300°С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч.

Синтезированные материалы, полученные на основе разработанных составов масс 1-ой и 2-ой серии, характеризовались следующими физико-техническими свойствами: водопоглощение 61,1–72,6%, кажущаяся плотность 640–880 кг/м³, пористость 41,4–79,12%, прочность при сжатии 1,35–2,74 МПа, коэффициент теплопроводности 0,2–0,36 Вт/(м·К).

Рентгенофазовый анализ, проведенный с помощью рентгеновского дифрактометра D8 Advance фирмы Bruker (Германия), позволил установить, что фазовый состав синтезированных материалов представлен преимущественно муллитом (3Al₂O₃ · 2SiO₂), кварцем (α-SiO₂) и кристобалитом (SiO₂).

Результаты исследования микроструктуры синтезированных материалов, выполненного на сканирующем электронном микроскопе «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия), представлены на рисунке 2.

Анализ полученных микрофотографий

позволил установить, что материал обладает значительной пористостью. Равномерно распределенные по объему материала поры имеют изометричную форму и характеризуются средним размером 750 мкм. На поверхности изломов фиксируются кристаллические образования в виде призм продолговатой формы, которые, согласно габитусу кристалла, можно идентифицировать как муллит. Скопления кристаллов различной формы и размеров располагаются как на поверхности, так и во внутренних полостях пор и аналогичны для образцов всех исследуемых составов. Повышение температуры обжига от 1200 до 1300°С приводит к уменьшению размера пор, их внутренняя поверхность остекловывается с образованием раковистого излома. Образцы, обожженные при температуре 1300°С, характеризуются повышенным содержанием стекловидной фазы, наличием пор округлой замкнутой формы средним размером 6 мкм.

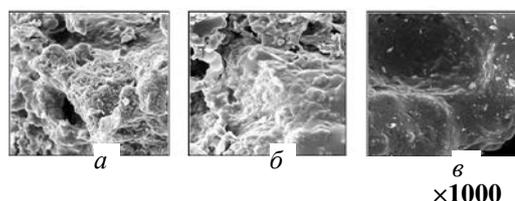


Рисунок 2 – ЭМ-изображение поверхности синтезированных материалов при температурах: а–1200°С; б–1250°С; в–1300°С

Проведенные исследования показали целесообразность применения 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 536.46

ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Дятлова Е.М.¹, Попов Р.Ю.¹, Мухлядо В.И.¹, Варфоломеев В.С.¹, Шамкалович В.И.²

¹Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

С развитием техники и технологии неуклонно возрастает потребность в материалах, способных демонстрировать высокие эксплуатационные характеристики в экстремальных условиях. Такие материалы, в зависимости от предъявляемых к ним требованиям, должны быть жаропрочными, износостойкими, химически инертными при

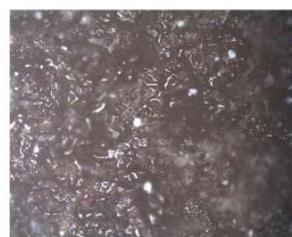
контакте с агрессивными средами и отвечать другим не менее важным свойствам. Однако получение тугоплавких и огнеупорных соединений и изделий из них по традиционной технологии сопряжено со значительными материальными затратами. Такие технологии основаны на медленном протекании химических процессов при высоких температурах.

Отличительной особенностью существующих способов является высокая энергоёмкость производства, большая длительность, многооперационность и трудоёмкость получения продукции. С разработкой в 1967 году процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) неорганических веществ и материалов технологического назначения получение данных соединений доступнее и легче. Сложилась новая теория этих процессов, названная структурной макрокинетикой. Открылись и новые практические применения горения для синтеза новых материалов. В машиностроении это абразивы, твердые сплавы и инструментальные материалы; в металлургии – огнеупорные составы и ферросплавы; в электротехнике – высокотемпературные керамические материалы; в медицине – новый класс имплантатов на основе сплавов, проявляющих так называемый эффект памяти формы. Сущность процессов СВС заключается в самопроизвольном распространении зоны химической реакции в средах, способных к выделению химической энергии с образованием ценных конденсированных продуктов. Процесс возникает при локальном воздействии на систему коротким тепловым импульсом и в дальнейшем протекает в виде волны горения без подвода энергии извне за счет собственного тепловыделения. В отличие от традиционных процессов спекания тугоплавких материалов в печах различных конструкций процессы СВС происходят за пренебрежимо малое время, требуют существенно меньших затрат энергии, отличаются практически безотходностью производства, высокими экологическими характеристиками. Это следует из факта почти полного протекания реакций, начиная от исходных компонентов и до конечных продуктов синтеза в конденсированной фазе без выделения вредных, химических токсичных газообразных продуктов реакции [1–4].

Также одним из важнейших преимуществ метода СВС являются то, что получение ценных продуктов в процессе горения способно дать материалы высокой чистоты, т.к. высокие температуры очищают порошки от любых энергозависимых адсорбированных или присутствующих в реагентах примесей. Аналогично положительным фактором является то, что высокие температурные градиенты, объединенные с быстрыми скоростями охлаждения в волне горения, могут формировать уникальные микроструктуры, которые невозможно достигнуть традиционными методами порошковой металлургии. В качестве горючего в СВ-системах используются металлы (Ti, Ta, Al, Mg и др.), в качестве окислителя неметаллы (B, C, Si и др.).

В настоящей работе для приготовления масс использовались следующие сырьевые материалы: алюминиевая пудра марки ПАП-1 или ПАП-2 (ГОСТ 5494 – 95), оксид кремния в виде кварцевого песка Гомельского ГОКа марки С-070-2 (ГОСТ 22551 – 77), оксид железа (III), каолин месторождения «Дедовка» природный, глина «Лукомль» и натрий кремнефтористый (ГОСТ 87 – 77), электрокорунд (ГОСТ 28818 – 90), воластонит, отход глазурей ОАО «Керамин», жидкое стекло.

При нанесении состава в производственных условиях на рабочие поверхности футеровочной кладки любого действующего теплоагрегата создание защитно-упрочняющего слоя осуществляется с помощью пневмоинструментов или пульверизаторов. Необходимая консистенция (вязкость) состава в этих условиях создается разбавлением жидкого стекла (связки) водой.



× 100



× 1000

Рисунок 1 – Электронная микроскопия образца оптимального состава (вверху: 900 °С; внизу: 1000 °С)

Нанесенный таким образом защитный слой футеровки теплоагрегата сначала подвергается естественной сушке в течение суток до полного его отверждения, а затем в процессе обычного рабочего режима тепловой установки (в процессе нагрева) осуществляется запуск СВС-процесса в защитном слое с образованием в нем структур муллитового типа. Как уже указывалось выше, после прохождения СВС в защитном слое происходит спекание покрытия с основой за счет капиллярного проникновения жидкой фазы шихты в открытые поры и дефекты поверхности материала кладки. Все это надежно обеспечивает целостность покрытия без его отслоения от основы и растрескивания в течение многократных циклов высокотемпературного нагрева и охлаждения теплового агрегата. Благодаря нанесению защитных покрытий на рабочие поверхности футеровочной кладки из алюмосиликатных материалов ресурс работы теплоагрегата

увеличивается в несколько раз. В процессе исследований отмечалось, что наибольшая механическая прочность достигается в составах, в которых содержится отход глазури ОАО «Керамин», это объясняется тем, что в процессе синтеза, наряду с активным формированием стекловидной фазы (основу которой составляют оксиды SiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O), присутствуют огнеупорные компоненты, такие как: Al₂O₃, ZrO₂, способствующие повышению указанной характеристики за счет особенностей своего строения, а также специфических свойств.

При рассмотрении фотографии поверхности образца, обожженного при 900°C, отчетливо видно, что большая часть оксида железа (III) перешла в расплав, который отчетливо выделяется на поверхности керамического покрытия. Можно наблюдать незначительное количество кварцевой составляющей – скопления кристаллов, наличие которых подтверждается данными РФА.

Исследование поверхности образца, обожженного при 1000°C свидетельствует, о том, что количество расплава в материале несколько увеличивается при повышении температуры, также отмечается, что содержание зерен кварца снижается, а его форма становится более округлой. Материал характеризуется однородной текстурой.

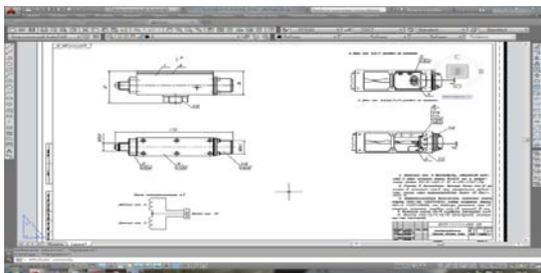


Рисунок 2 – Фазовый состав покрытий

Фазовый состав покрытий характеризуется наличием корунда, α-кварца, кремния, периклаза. Кроме того, в некоторых составах образцов покрытий фиксировался муллит.

Образцы оптимального состава обладали следующими характеристиками: твердость по шкале Мооса – 8,5; прочность при сжатии – 71,09 МПа; водопоглощение – 24,49 %; открытая пористость – 34,66 %; ТКЛР – $6,14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

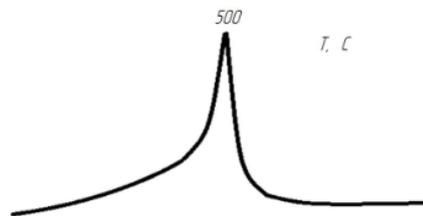


Рисунок 3 – Температура начала воспламенения защитного покрытия

Отмечается, что температура инициализации процесса самовоспламенения в оптимальном составе, согласно данным дифференциально-термического анализа, составляет 500 – 510 °C.

1. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / А.Г. Мержанов. – Москва: Химия, 1983. – 144 с.
2. Петюшик, Е.Е. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / Е.Е. Петюшик, В.Е. Романенков, С.М. Ушеренко. – Минск: МИПК при БГПА, 2000. – 66 с.
3. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез туго-плавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская. – М.: Химия, 1984. – 402 с.
4. Мержанов, А.Г. Концепция развития самораспространяющегося высокотемпературного синтеза как области научно-технического прогресса / А.Г. Мержанов, А.М. Столин. – Москва: ИСМАН, 2003. – 367 с.

УДК 621.382

ЭВОЛЮЦИЯ СПЕКТРОВ ТЕПЛОвого СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ МОП ТРАНЗИСТОРОВ КП723 И КП7209 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ТЕРМОУДАРОВ

Бумай Ю.А.¹, Васьков О.С.¹, Нисс В.С.¹, Солодуха В.А.², Петлицкий А.Н.², Соловьев Я.А.², Керенцев А.Ф.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «Интеграл»

Минск, Республика Беларусь

С использованием релаксационного импеданс-спектрометра [1] тепловых процессов проведены тепловые измерения двух партий экспериментальных мощных полевых транзисторов и КП723 (n-МОП) и КП7209 (p-МОП) в пластмассовом ТО220 и металлокерамическом ТО254 корпусах, соответственно. Транзисторы изготовлены с

использованием различных методов посадки кристаллов (на эвтектику AuSi и на припой ПОС-10 при разных температурах), а также с использованием термокомпенсаторов МД-40 и МД-50 для снижения термических напряжений в кристаллах транзисторов. Дegrадация теплового сопротивления транзисторов и его структуры исследовалась