

Д. т. н. **У. Ш. Шаяхметов**, к. т. н. **А. Р. Мурзакова** (✉)

ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», г. Уфа, Россия

УДК 666.77.017:620.173.25

ЭФФЕКТИВНАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННАЯ КОМПОЗИЦИОННАЯ КЕРАМИКА

Рассмотрены материалы и изделия огнеупорного и конструкционно-технического назначения, полученные по безобжиговой технологии на основе многофункциональной наноструктурированной композиционной керамики.

Ключевые слова: многофункциональная наноструктурированная керамика, электроизоляционные изделия, огнеупорные трубки, теплоизоляционные изделия, огнеупорные плиты.

Технология эффективной многофункциональной керамики позволяет получать широкий ассортимент различающихся по форме, размерам и свойствам изделий, которые удовлетворяют различные требования потребителей. Важнейшая особенность технологии производства эффективной композиционной наноструктурированной керамики — возможность значительного улучшения технических характеристик материала путем регулирования его структуры качественным и количественным соотношением и размерами нанокomпонентов. На этапе сушки наночастицы связки обеспечивают упрочнение керамической массы, последующая термообработка приводит к объединению наночастиц в агрегаты и приобретению изделием заданных эксплуатационных характеристик [1].

Были проанализированы физико-химические процессы, протекающие в гетерогенных системах с участием фосфатных композиций; разработаны способы управления технологическими процессами, наблюдаемыми при нагреве фосфатных огнеупорных связующих; оценено влияние заполнителя на свойства огнеупоров; предложены методы прогнозирования адгезионных характеристик связующих и заполнителей; изучено явление пластической деформации металлофосфатов и материалов на их основе в процессе горячего прессования с последующим отверждением в технологии керамических материалов; созданы энергоэффективные способы получения огнеупорных материалов на фосфатных связующих с низким температурным коэффициентом линейного расширения [2, 3].

Некоторые минеральные порошки (оксиды алюминия, циркония, другие тугоплавкие соеди-

нения) после растворения их в ортофосфорной кислоте дают «тестообразные массы», способные отвердевать с образованием прочного наноматериала. Такие нанокomпозиции представляют большой интерес для использования в различных областях техники. Например, это жаростойкие и огнеупорные бетоны, клеи и покрытия, футеровочные и керамоподобные наноматериалы, электроизоляционные цементы и материалы, а также вяжущие и укрепляющие грунты. Проявление вяжущих свойств связано как с условиями протекания процессов, так и с химическим взаимодействием исходных компонентов и спецификой исходных веществ. Установлено, что максимальная прочность нанокерамики достигается при относительно медленном взаимодействии основных или амфотерных оксидов (катионов с небольшими ионными радиусами) с ортофосфорной кислотой, отмечено также влияние экзотермичности реакции на кристаллизацию новообразований, определена роль кислых фосфатов в процессе связывания частиц заполнителя [4]. В зависимости от состава, размеров и назначения изделий разработаны различные режимы термообработки их наноструктурированных композиций при комнатной температуре и при нагревании. Прочность наноматериала достаточно велика уже после термообработки при 120–150 °С. Для проведения этого процесса часто используют существующие в керамической промышленности сушилки. Единственным ограничивающим условием для нанокomпозиционных изделий является минимальный срок их хранения после термообработки (сушки), поэтому необходимо безотлагательное направление изделий в эксплуатацию, в условиях которой они обжигаются и приобретают необходимую водостойкость. Таким образом, технология производства и использования наноструктурированной керамики основана на управлении физико-химическими процессами формирования огнеупорных материалов.

Научно-исследовательские и прикладные работы по созданию эффективной композиционной



А. Р. Мурзакова
E-mail: mursalina@bk.ru

керамики позволили разработать и внедрить энергосберегающие технологии получения керамических композиционных материалов с заданными техническими свойствами на основе химических связующих и заполнителей в виде силикатов, алюмосиликатов, корунда, циркона, карбида кремния и других тугоплавких соединений. Преимущество данных технологий — низкая температура синтеза материалов по сравнению с высокотемпературным спеканием. Разработанные технологии отличаются простотой, не требуют больших энергетических и капитальных затрат, так как термообработка осуществляется в основном при комнатной температуре или нагреве до температуры не выше 700 °С. К настоящему времени созданы безобжиговая технология керамических композиционных материалов на основе оксидных и бескислородных соединений и химических связующих; технология получения композиционных полимерных материалов с заполнителями из карбида кремния и неорганических связующих (алюмохромфосфатное, алюмоборфосфатное высококонцентрированная керамическая вяжущая суспензия, высокоглиноземистый цемент); нанотехнология производства высокопористой, конструктивно-строительной, теплоизоляционной пенокерамики, позволяющая из минерального глиняного сырья получать высокопористые изделия, характеризующиеся легкостью, малой теплопроводностью, высокой конструктивной прочностью. В настоящее время по эффективной безобжиговой технологии композиционной керамики осуществляется выпуск широкого ассортимента изделий огнеупорного и конструктивно-технического назначения.

ФАСОННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Фасонные мелкоштучные электроизоляционные изделия для комплектации электрических печей, термоагрегатов и печей обжига представляют собой изоляторы с отверстиями, без отверстий, фасонные в виде втулок, спираледержатели, шайбы, стойки, полочки, клицы, капители, наконечники, колодки и др. (рис. 1). Физико-технические характеристики изделий представлены ниже:

- Кажущаяся плотность, кг/м³..... ≥3100
- Открытая пористость, %..... ≤20
- Предел прочности при статическом изгибе до термообработки, МПа:
 - после пластического формования..... ≥20
 - после прессования..... ≥14
- Температурный коэффициент линейного расширения, 10⁻⁴ К⁻¹ (20–800 °С)..... 4–6
- Удельное объемное сопротивление при 800 °С, Ом·см..... ≥10
- Электрическая прочность в течение 1 мин, кВ/мм... ≥2⁹
- Сопротивление изоляции при 800 °С, Ом..... ≥10⁶
- Разрушающая нагрузка на изгиб для стержневого изолятора после термообработки до 800 °С, Н... ≥50



Рис. 1. Фасонные мелкоштучные электроизоляционные изделия

Особосложные и большемерные фасонные огнеупорные изделия предназначены для футеровки высокотемпературных печей и применения в виде горелочных блоков печей обжига (рис. 2). Технические характеристики, форма и размеры (длина и диаметры) изделий согласуются с заказчиком.

ШАМОТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ, БЛОКИ, ПЛИТЫ

Предназначены для кладки, футеровки печей и тепловых агрегатов с температурой службы не ниже 1650 °С (рис. 3).

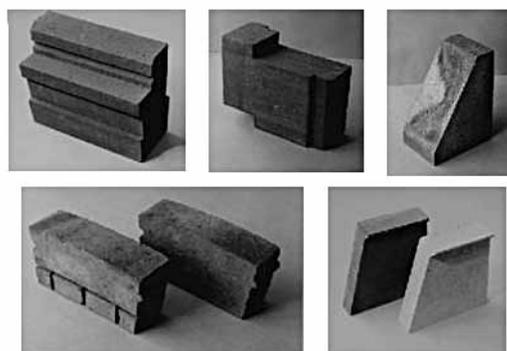


Рис. 2. Фасонные особосложные огнеупорные изделия

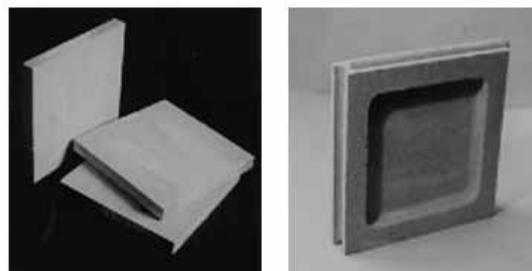


Рис. 3. Огнеупорные плиты

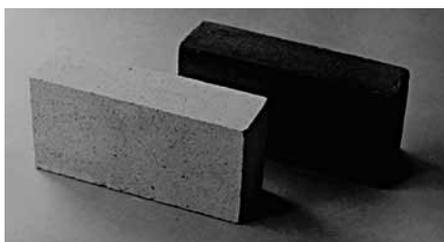


Рис. 4. Шамотные изделия

Изделия прямые и клиновые (рис. 4). Размеры изделий выполняются в соответствии со стандартом и по чертежам заказчика. Технические характеристики соответствуют ГОСТ 390: массовая доля Al_2O_3 не менее 28–30 %, огнеупорность не ниже 1650–1690 °С, открытая пористость не более 24 %, предел прочности при сжатии не менее 20 МПа, температура начала размягчения не ниже 1300 °С.

ОГНЕУПОРНЫЕ ТРУБКИ, ТРУБКИ-ВТУЛКИ, ЧЕХЛЫ, БУСЫ, ВТУЛКИ, ТИГЛИ

Предназначены для защиты термодар до 1700 °С (рис. 5). Технические характеристики изделий, их форма и размеры (длина и диаметры) согласовываются с заказчиком. Керамические трубы и трубки различных диаметров, в том числе длинномерные керамические трубы для нагревательных устройств (диаметр 60–80 мм, длина до 2000 мм) получают методом пластического формования [5]. Процесс приготовления пластичных формовочных масс идентичен для различных видов изделий и заключается в перемешивании с вводимым связующим и вакуумировании. При необходимости в формовочные массы вводят керамическое сырье в виде зернистых наполнителей различной дисперсности. Варьирование технологических параметров позволяет получать трубчатые изделия с соответствующими для огнеупорных изделий конструкционного назначения физико-техническими характеристиками. Готовые изделия имеют следующие показатели свойств: предел прочности при сжатии не менее 50 МПа, дополнительная линейная усадка при 1200 °С не более 0,5 %, термостойкость (800 °С–вода) не менее 50 циклов, температура применения 1300 °С.

Библиографический список

1. **Беляков, А. В.** Проблемы технологии нанокерамики / А. В. Беляков // Техника и технология силикатов. — 2003. — № 3/4. — С. 39–50.
2. **Шаяхметов, У. Ш.** Фосфатные композиционные материалы и опыт их применения / У. Ш. Шаяхметов. — Уфа : РИЦ «Старая Уфа», 2001. — 176 с.
3. **Шаяхметов, У. Ш.** Особенности высокотемпературной ползучести безобжиговых керамических материалов / У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Мустафин. — М. : Химия, 2005. — 224 с.



Рис. 5. Огнеупорные трубки, трубки-втулки, чехлы, бусы, втулки, тигли



Рис. 6. Керамовермикулитовые плиты

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

Керамовермикулитовые плиты предназначены для теплоизоляции футеровок промышленных печей и тепловых агрегатов, промышленного оборудования (рис. 6). Плиты обладают следующими техническими характеристиками: плотность 500 кг/м³, предел прочности при сжатии 0,8 МПа, теплопроводность при 500 °С 0,165 Вт/(м·К), предельная температура применения 1100 °С, линейная усадка при допустимой температуре применения 0,2–0,8 %.

Разработанная технология изготовления многофункциональной композиционной керамики позволяет получать широкий ассортимент керамической продукции огнеупорного, конструкционного, строительного назначения высокого качества и с длительным сроком эксплуатации. Все разработанные изделия по техническим характеристикам не уступают импортным аналогам.

4. **Халиков, Р. М.** Химия и структура композиций на основе фосфатов / Р. М. Халиков, У. Ш. Шаяхметов, А. Г. Галяутдинов. — Уфа : РИЦ БашГУ, 2012. — 162 с.
5. **Мурзакова, А. Р.** Керамические трубчатые изделия из композиционной керамики / А. Р. Мурзакова, К. А. Васин, У. Ш. Шаяхметов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 2. — С. 40–43. ■

Получено 19.06.13

© У. Ш. Шаяхметов, А. Р. Мурзакова, 2014 г.