

проектировании сложных прессформ. Разработанные материалы внедрены в качестве высокотемпературных термо- и электроизоляторов в индукционных печах и печах сопотривления, а также огнеприпаса, подложек и других изделий на различных предприятиях республики (Минский тракторный завод, Борисовский завод «Гидроусилитель», НПО «Белтехнология» и др.) и за рубежом. По своим термомеханическим характеристикам и сроку службы они не уступают импортным аналогам.

#### Список литературы

1. Стрелов К.К. Структура и свойства огнеупоров. М.: Металлургия, 1982.
2. Бобкова Н.М., Дятлова Е.М., Каврус И.В. Термостойкая и высокопрочная керамика на основе системы  $Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2$  // Стекло и керамика. – 1996. – № 1-2. – С. 24-26.
3. Конструкционная термостойкая керамика на основе алюмотитансиликатной системы / Е.М.Дятлова, Е.М.Бобкова, В.Н. Самуйлова, Т.Н. Юркевич // Стекло и керамика. – 1988. – № 8. – С. 18-20
4. Дятлова Е.М., Миненкова Г.Я., Колонтаева Т.В. О некоторых технологических аспектах активизации процесса спекания огнеупорной алюмосиликатной керамики // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хім. навук. – № 1. – С. 108-113

УДК 666.762

Е.М. Дятлова, С.А. Гайлевич, Г.Я. Миненкова, О.С. Волчкова

Белорусский государственный технологический университет, г.Минск

### ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ГАЗООБРАЗОВАНИЯ

Теплоизоляционные материалы относятся к числу эффективных строительных материалов, позволяющих существенно снизить материалоемкость конструкций и сооружений. Керамические теплоизоляционные изделия применяются главным образом для устройства тепловой изоляции различного рода промышленных высокотемпературных агрегатов, а также другой технологической аппаратуры. Они используются в рабочей футеровке печей, не подвергающейся действию расплавов, истирающих усилий и механических ударов или в промежуточной изоляции [1]. Температура применения керамических теплоизоляционных материалов может колебаться в широких пределах и определяется в основном физико-химическими характеристиками применяемого сырья и конечными свойствами изделий. В РБ отсутствует производство тугоплавких теплоизоляционных материалов, но наличие соответствующей сырьевой базы (тугоплавкие глины месторождений «Городное» и «Городок», каолины месторождений «Ситница» и «Глушковичи», карбонатные породы, недорогие отходы различных производств) определяет принципиальную возможность их получения и освоения на промышленном уровне.

Как известно, теплоизоляционные материалы и изделия характеризуются малой теплопроводностью, которая обусловлена их высокопористым стро-

ением. Вид пор и характер их распределения имеют большое значение. Наиболее благоприятны с точки зрения теплоизоляции равномерно распределенные изолированные поры. С изменением структуры пор и превращением сферических замкнутых пор в каналообразующие теплозащитные свойства материалы ухудшаются за счет возникновения конвекционных потоков [2].

Проведенное исследование посвящено получению тугоплавких теплоизоляционных керамических материалов алумосиликатного типа с использованием тугоплавкого глинистого сырья РБ, пористая структура которых обеспечивалась методами химического газообразования и пенообразования (воздухововлечения). Методы приняты для получения более высокопористых изделий с меньшей теплопроводностью, чем при использовании метода выгорающих добавок. Закрепление полученной высокопористой структуры и придание прочности изделиям осуществлялось в процессе обжига.

Сущность метода газообразования состоит в выделении газообразных продуктов во всем объеме поризуемого материала, пластично-вязком состоянии, сопровождающихся методом газообразования на основе реакций взаимодействия доломитсодержащих сырьевых шихт с серной кислотой  $H_2SO_4$  выделением углекислого газа  $CO_2$ , получен ряд пористых теплоизоляционных материалов. Подобраны технологические параметры получения материалов с заданной плотностью (влажность шликера, концентрация кислоты, вид и количество связки, время смешения, параметры сушки и обжига), обеспечивающие более стабильное порообразование.

Методом пенообразования, заключающемся в смешении поризуемого материала в виде суспензии с предварительно полученной пеной, пузырьки которой и представляют собой поры будущего изделия, синтезированы теплоизоляционные материалы широкого диапазона пористости.

Пену получали с использованием различных пенообразователей, активатора пенообразования и стабилизатора пены. Пена является дисперсной двухфазной системой, состоящей из жидкой фазы и газообразной – в виде пузырьков воздуха, разделенных между собой тонкими пленками жидкости. Пена характеризуется такими показателями, как плотность, дисперсность (средний размер пузырьков пены, рН [3]). Основными показателями качества пены являются пенистость и пеноустойчивость, что в решающей мере определяется пенообразователем. Апробированные в работе пенообразователи отличались не только различным выходом объемов пены при прочих равных условиях, но и структурой пены, что сказывалось на структуре полученных образцов. При меньшей пенообразующей способности опытных пен наблюдалось снижение порога синерезиса (т.е. определение из пены жидкой фазы).

Так как применяемые сырьевые материалы не обладают вяжущими свойствами, в качестве закрепителя пено- и газомасс использовались гипсовые вяжущие.

После завершения процессов поризации исходных сырьевых смесей подсушивание образцов производилось в формах из-за крайне низкой прочности сырца. Температура обжига опытных образцов – 1150-1200°C.

Следует отметить, что для образцов всех составов (параллельных опытов) наблюдался значительный разброс величин пористости и плотности. Порообразование газометодом показало менее стабильные результаты, в срав-

лении с пенометодом, что обусловлено его зависимостью от множества факторов, действующих одновременно, – наложением их друг на друга – (влажность шликера, температура воды и др.).

Для образцов обеих серий наблюдалось некоторое распределение пор по высоте образцов. Наибольшее их количество и наиболее крупные, неправильной и округлой формы размером до 2 – 3 мм располагались в верхних слоях образцов, а в нижних – наиболее мелкие. Это вызвано сдавливанием пор, вплоть до разрушения под действием массы вышележащих слоев. Эта дифференциация пор в большей степени наблюдалась у газолегковесов.

Установлено, что для всех опытных составов выбранная температура обжига обеспечила достаточную степень спекания образцов. Более низкая температура не обеспечивает требуемой прочности, а более высокая ведет к увеличению количества стеклофазы, что увеличивает усадку изделий.

Подтверждена прямая зависимость механической прочности от пористости и степени спекания, что можно также регулировать рецептурой сырьевых смесей. Так, при снижении в составах инертного к спеканию шамота улучшается спекание масс, повышается их механическая прочность, однако ухудшаются теплоизоляционные свойства, т.к. снижается пористость.

Выбор оптимальных составов обусловлен рациональным сочетанием конечных свойств теплоизоляционных материалов, а также технологических условий их получения.

Экспериментально установлено, что плотность материалов, полученных разными методами, отличается между собой и составляет 500-700 кг/м<sup>3</sup> у пеноматериалов и 600-800°С у газоматериалов. Более низкая плотность пеноматериалов и соответственно более высокая пористость обусловили более низкие значения теплопроводности – 0,25 – 0,32 Вт/мК против 0,34 – 0,4 Вт/мК у газолегковесов. Установлено, что лучшую теплоизолирующую способность имеют образцы с замкнутыми сферическими порами. В связи с тем, что теплоизоляционные материалы имеют пористое строение, они обладают невысокой механической прочностью: в среднем 2,5-3,5 МПа у пенолегковесов и 2,6-2,9 МПа у газолегковесов. Максимальная величина предела прочности при сжатии достигается у наиболее плотных образцов. Показатели прочности полученных образцов находятся в пределах значений, характерной для этой группы материалов. В целом разработанные керамические тугоплавкие теплоизоляционные материалы по показателям свойств удовлетворяют требованиям действующего стандарта ГОСТ 5040-78 на данный вид продукции (для шамотных легковесных изделий) соответствуют маркам ШТЛ – 06 (пенолегковес) и ШЛ – 09 (газолегковес).

Свойства разработанных теплоизоляционных материалов оптимальных составов, полученных различными способами порообразования приведены в таблице 1. Свойства составов, полученных методом выгорающих добавок, разработанных авторами ранее, взяты для сравнения [4].

## Свойства теплоизоляционных материалов полученных различными методами

Свойство	Значения свойств		
	с выгорающими добавками	пенолегковес	газолегковес
Кажущаяся плотность, $\text{кг/м}^3$	985-1064	500-700	600-800
Теплопроводность, Вт/(м К)	0,45-0,65	0,25-0,32	0,34-0,4
$\sigma$ сжатия, МПа	4,2-7,5	2,5-3,5	2,6-2,9
Дополнительная линейная усадка, %			
	при 1270°C	1-1,6	-
при 1150°C	<1	0,6-0,7	1-1,6
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^{-7}, \text{K}^{-1}$	50-53,2	55,4	54,3

Разработанные материалы рекомендованы для теплоизоляции теплотехнических установок при температуре эксплуатации не выше 1200°C.

## Список литературы

1. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий: -М., Высшая школа, 1989.
2. Майзель И.А., Сандлер В.Г. Технология теплоизоляционных материалов: - М., Высшая школа, 1998.
3. Пивинский Ю.Е., Макаренко Р.Г. Основные характеристики и исследование процессов получения цирконовой керамики // Огнеупоры. -1980. -№2. -С 53 - 57.
4. Тугоплавкие и огнеупорные теплоизоляционные керамические материалы на основе сырья Республики Беларусь / Е.М. Дятлова, Г.Я. Миненкова, С.А. Гайлевич и др. // Разработка импортозаменяющих технологий и материалов в химической промышленности, Мн., 1999. - С.6-8.