

*Евтушенко Е. И., д-р техн. наук, проф.,
Перетоккина Н. А., канд. техн. наук, доц.,
Дороганов В. А., канд. техн. наук, доц.,
Сулейманова Л. А., канд. техн. наук, проф.,
Сыса О. К., канд. техн. наук, доц.,
Бедина В. И., м. н. с.,
Миженнина О. В., студент*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА*

naukaei@mail.ru

Показана возможность получения теплоизоляционных материалов на основе ИКВ карбидо-кремниевых, кремнеземистого и алюмосиликатного составов с улучшенными технологическими и эксплуатационными характеристиками.

***Ключевые слова:** искусственные керамические вяжущие, теплоизоляционный материал, композиционное связующее, шлакощелочное вяжущее, пенометод, плотность, прочность, коэффициент конструктивного качества.*

В настоящее время теплоизоляционные материалы широко применяются в самых разных отраслях промышленности и потребность в них постоянно растёт. Применение теплоизоляционных материалов снижает материалоемкость, экономит топливо и способствует интенсификации тепловых процессов. В связи с этим особо актуальным является вопрос развития производства теплоизоляционной продукции различного назначения, так как современная технология не отвечает нуждам потребителей, как по качеству изделий, так и по их себестоимости.

Существует целый ряд теплоизоляционных материалов, технология и свойства которых характеризуются существенными недостатками: высокой влажностью формовочной смеси, значительными усадочными деформациями, длительным временем твердения (набора пластической прочности), продолжительными сушкой и обжигом, а также снижением физико-механических характеристик в процессе термообработки или службы. Одним из узких мест существующих технологических линий по производству легковесных теплоизоляционных изделий является процесс сушки и, соответственно, большая усадка. Это связано с достаточно высокой влажностью формовочных масс.

Использование технологий создания высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС) является в настоящее время одним из перспективных направлений развития производства керамики, которое может быть использовано для получения широкого спектра материалов. При получении ВКВС ставят задачи получения последних с такими свойствами, которые бы позволили получить на их основе по-

луфабрикат с резко улучшенными (по сравнению с известными данными) характеристиками: минимальными пористостью, усадками при сушке и спекании, с высокой механической прочностью и достаточной равномерностью [1].

Имеется некоторый опыт по использованию ВКВС для создания легковесных теплоизоляционных материалов [2-5], основным достоинством которых является низкая микропористость образующихся межпоровых перегородок и их высокая прочность, возрастающая в процессе термообработки, экологическая чистота на всех этапах производства, а также возможность использования дешевого природного и техногенного сырья. Однако в настоящее время остается ряд вопросов связанных с расширением сырьевой базы получения подобных материалов. Необходимость изготовления большого числа видов жаростойких теплоизоляционных материалов и изделий диктуется, с одной стороны, экономическими соображениями, а с другой – многообразием условий их службы и, следовательно, различием требований, предъявляемых к ним современной техникой.

В данной работе было предложено для производства теплоизоляционных материалов использовать композиционное связующее, состоящее из искусственного керамического вяжущего (ИКВ) различного состава и шлакощелочного вяжущего. В основе вяжущих характеристик этих материалов лежит способность коллоидного компонента или наночастиц к формированию прочных связей в композите при сушке и обжиге, в ИКВ наночастицы формируются в процессе помола, а в шлакощелочном вяжущем коллоидный компонент формируется по зольгель технологии. Комбинация связей позволяет

за счет быстрого твердения шлакощелочного вяжущего получить стабилизацию структуры композита сразу после формовки, а использованием ИКВ – обеспечить существенный рост прочности при повышенных температурах [6].

В качестве исходных материалов для ИКВ применялись: карбид кремния черный, производства ОАО «Волжский абразивный завод», кварцевый песок Зиборовского месторождения

(Белгородская обл.), высокоглиноземистый шамот и бой динасовых огнеупоров (ОАО «Семилукский огнеупорный завод») (табл. 1). ИКВ получали по технологии ВКВС путем мокрого помола в шаровой мельнице методом постадийной загрузки измельчаемого материала и последующей стабилизацией посредством гравитационного механического перемешивания

Таблица 1

Химический состав используемых материалов

| Наименование материала | Содержание оксидов, масс. % | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|------|------------------|-------------------|-------|------|------|------|------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | SiC | Si | C | Fe | Al |
| Карбид кремния черный | 0,82 | – | – | 0,17 | 0,09 | – | – | 97,42 | 0,71 | 0,49 | 0,11 | 0,15 |
| Кварцевый песок Зиборовского месторождения | 96,80 | 0,51 | 0,93 | 0,38 | – | 0,41 | 0,40 | – | – | – | – | – |
| Высокоглиноземистый шамот | 23,47 | 74,50 | 0,85 | 0,75 | – | 0,21 | 0,22 | – | – | – | – | – |
| Бой динасовых огнеупоров | 94-96 | 1,5 | 1,5-1,7 | 2,0-2,6 | – | 0,37 | – | – | – | – | – | – |

Отличительной особенностью ИКВ из стабильного сырья (карбид кремния, кварцевый песок, шамот) от метастабильного (динас) является в данном случае влажность получаемой ИКВ. Стабильные материалы позволяют получить ИКВ с влажностью 13,9 – 14,5 %, а метастабильные увеличивают ее до 22 %.

Для получения шлакощелочного вяжущего использовалось стекло жидкое ГОСТ 13078-81 с модулем основности 2,7 и в качестве отвердителя – электрометаллургический шлак ОАО ОЭМК воздушно-сухого охлаждения. Для того, чтобы обеспечить высокую степень оборачиваемости форм, снижение усадки и высокое качество выпускаемой теплоизоляции, необходимо использовать в составе шлакощелочных вяжущих шлаки с требуемой активностью. В данной работе для увеличения активности шлака использовалась механоактивация в шаровой планетарной мельнице марки «САНД-1» с диаметром шаров до 10 мм при частоте вращения около 200 мин⁻¹. Обработка шлака осуществлялась в условиях сухого помола в течение 10 – 120 мин. Оптимальным является время активации 30 мин. и содержание шлакощелочного вяжущего в материале до 10 %.

Среди большого разнообразия способов получения пористой структуры, можно выделить пенометод, как наиболее пригодный для производства эффективной теплоизоляции, поскольку он позволяет получить материалы с высокой степенью чистоты и оптимальной поровой структурой, обеспечивающей высокие физико-механические свойства теплоизоляционных материалов.

Изготовление материала осуществлялось смешением предварительно приготовленных на основе ПАВ пены и минеральной составляющей: ИКВ и шлакощелочного вяжущего. Для получения пены использовали пенообразователи «ПБ-2000» и ТЭАС. Влажность формовочной смеси изменялась от 23 до 33 %. Процесс структурообразования, характеризующийся набором пластической прочности, достаточной для разборки форм, составляет 6 – 8 часов. Процесс сушки, осуществлявшийся при температуре 80 – 120 °С, не сопровождался заметной усадкой материала. Термообработку высушенных образцов осуществляли в интервале температур 200 – 1350 °С.

В процессе термообработки вплоть до 1300 °С прочность изделий на ИКВ динасового состава возрастает и составляет 2,7-3,7 МПа с низкой плотностью 0,4-0,5 г/см³ и открытой пористостью до 80 %. Особенность полученного пенолегковеса является низкая усадка до 0,6 % при температуре обжига 1350 °С. Можно предположить, что температура службы данных изделий будет даже несколько выше.

Ячеистые материалы на шамотной ИКВ отличаются широким интервалом плотности (0,3 – 0,9 г/см³), температура возможного применения до 1200 °С.

Теплоизоляционные материалы на основе карбида кремния характеризовались плотностью 0,5 – 0,8 г/см³ и не высокой прочностью 0,9- 2,5 МПа. Температура эксплуатации до 1200 °С (табл. 2).

Максимальной температурой применения теплоизоляционных материалов в соответствии с ISO 2245-90 является температура, при кото-

рой линейная усадка не превышает 2 %. Было показано, что усадка полученных ячеистых материалов не превышает 1,2 % и зависит от доли шлакощелочного вяжущего в составе, а так же

от водотвердого отношения смеси. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе оптимальных параметров исходной смеси и условий службы пеноматериала.

Таблица 2

Физико-механические характеристики теплоизоляционного материала

| ИКВ | Плотность, г/см ³ | Прочность при сжатии, МПа | | Общая усадка, % | Теплопроводность, Вт/м ² ·°С (350 °С) |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|---------|-----------------|--|
| | | Сушка | Обжиг | | |
| Кварцевая | 0,55-0,62 | 0,4-0,75 | 5,5-7,6 | 0,5-1,2 | 0,35-0,37 |
| Карбидокремниевая | 0,5-0,8 | 0,1-0,2 | 0,9-2,5 | 0,8-1,1 | 0,37 |
| Высокоглиноземистая | 0,35-0,45 0,85 | 0,1 | 3,8 | 1,2 | 0,14 0,52 |
| | | 1,0 | 6,7 | | |
| Динасовая | 0,4-0,5 | 0,3 | 2,7-3,3 | 0,6 | – |

При сравнительной оценке прочности теплоизоляционных материалов следует учитывать значение их плотности. Поэтому более полной характеристикой может служить коэффициент конструктивного качества. Несмотря на использование различных сырьевых материалов, предлагаемая технология обеспечивает высокую стабильность получаемых результатов, как при получении теплоизоляционных материалов с плотностью 0,3-0,5 г/см³, так и при получении теплоизоляционно-конструкционных материалов с плотностью 0,5-0,9 г/см³. При этом наиболее вероятный коэффициент конструктивного качества теплоизоляции находится в интервале 10-15 при необходимости возможно получение теплоизоляции с коэффициентом конструктивного качества до 20. По существующей классификации, полученные ячеистые материалы можно отнести к эффективным и высокоэффективным.

Материалы, получаемые на основе предлагаемой технологии, отличаются высокой однородностью структуры межпоровых перегородок, что и определяет их высокое качество.

Таким образом, показана возможность получения теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов на основе искусственных керамических вяжущих различного состава с комплексным механизмом упрочнением, основанном на сочетании самоотверждения шлакощелочного вяжущего и росте прочности после сушки и обжига керамических вяжущих. Установлено, что в зависимости от используемых материалов коэффициент конструктивного качества может изменяться от 7 до 20, а усадка материала при максимальной температуре службы до 1350 °С составляет не более 1,2 %. По показателям прочности, плотности и максимальной температуре применения разработанный теплоизоляционный материал не уступает известным, в том числе, зарубежным материалам.

**Исследования проводились в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы и Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на 2012–2016 годы.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пивинский Ю.Е. Керамические и огнеупорные материалы. Избранные труды. Том 2. Санкт-Петербург, Стройиздат СПб, 2003. 688с.
2. Пивинский Ю.Е. Технология получения муллитовой пенокерамики / Ю.Е. Пивинский, В.А. Бевз, Р.Г. Макаренко // Огнеупоры, № 1, 1980. С. 49-52.
3. Пивинский Ю.Е., Епифанова Т.Н., Перетоккина Н.А. Материалы на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). Получение и свойства тонкозернистых пенобетонов на основе ВКВС кварцевого песка // Огнеупоры и техническая керамика. № 10. 1998. –С. 6-11.
4. Pivinskii Yu.E., Epifanova T.N., Peretokina N.A. Materials based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS). Fabrication and properties of fine-grain foam concretes based on hcbs of quartz sand // Refractories and Industrial Ceramics – Springer New York, Volume 39, Numbers 9-10 / Сентябрь 1998 г. С 356-360.
5. Doroganov V.A., Peretokina N.A. Light-weight foam products based on diatomite // Refractories and Industrial Ceramics. 2011. Volume 52, Number 3. p. 191-194.
6. Евтушенко Е.И., Гончаров Ю.И., Перетоккина Н.А. Жаростойкие бетоны на основе шлакощелочного вяжущего и ВКВС кварцевого песка // Сб. докл. II Междунар. научно-методич. конф. Белгород: изд-во БелГТАСМ, 2002. ч. 3 С. 167-171.