

Д. т. н. **Е. И. Евтушенко**, к. т. н. **В. А. Дороганов** (✉),
к. т. н. **Н. А. Перетоккина**, **Т. И. Зайцева**

ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет
им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия

УДК 666.762.16-436.1

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОДИСПЕРСНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ

Показана возможность получения огнеупорных теплоизоляционных материалов на основе шамотно-го заполнителя и каолиновой ваты с применением в качестве связующего нанодисперсного кремнезема. Установлено, что при изменении параметров формовочной массы можно получать эффективные и высокоэффективные материалы плотностью от 1,0 до 1,63 г/см³. При этом предел прочности при сжатии изделий составляет 20–35 МПа.

Ключевые слова: шамот, каолиновая вата, огнеупорные теплоизоляционные материалы, нанокремнезем.

В последнее время в условиях интенсификации тепловых процессов и повышения их энергоэффективности все большее значение приобретают разработки в области новых теплоизоляционных материалов для различных отраслей промышленности. К теплоизоляционным материалам предъявляют разнообразные и довольно противоречивые требования: с одной стороны, они должны снижать теплопроводность ограждающих конструкций, с другой — обладать конструкционными свойствами, обеспечивающими длительную службу теплового агрегата [1–4].

В производстве теплоизоляционных материалов в качестве сырья используют различные материалы природного и техногенного происхождения [5]. Одним из перспективных видов связующего может быть нанодисперсный кремнезем. Этот материал нашел свое применение в огнеупорной промышленности в качестве модифицирующей добавки для низкоцементных бетонов [6], а также при получении композитов на основе стекловидного вяжущего [7]. В связи с вышеизложенным целью данной работы является разработка теплоизоляционных материалов, в качестве связующего в которых используется нанодисперсный кремнезем Ludox (зарегистрированная торговая марка «GRACE Davison») марок SM, HS-40, AS-40 и TMA. Это водная коллоидная дисперсия нано-

частиц диоксида кремния, имеющая опалесцирующий внешний вид с голубоватым отливом (от легкого до умеренного). Основные свойства используемых марок Ludox представлены в таблице.

Характеристики нанодисперсного кремнезема Ludox

Параметры	Марка*			
	SM	HS-40	AS-40	TMA
Противоположный ион	Na	Na	NH ₃	–
Содержание, %:				
SiO ₂	30,0	40,0	40,0	34,0
Na ₂ O	0,56	0,41	0,05	–
NH ₃	–	–	0,2	–
Максимальный размер частиц, нм	7	12	22	22
Удельная поверхность, м ² /г	360	240	140	140
pH	10,0	9,7	9,1	7,0
Относительная влажность, %	66,4	59,0	58,0	64,0

* Заряд поверхности нанодисперсного кремнезема Ludox всех марок минус.

В качестве заполнителя в научно-исследовательской работе использовали каолиновую вату, характеристика которой приведена ниже:

Содержание, %:

Al₂O₃.....51–55

SiO₂.....42–46

Температура применения, °С.....1100–1200

Кажущаяся плотность, кг/м³, не более 130

Теплопроводность при 600 °С, Вт/(м·К) 0,16

Теплоемкость при 1000 °С, Дж.....1,047

Δ_{т.прк}, %.....0,6



В. А. Дороганов
E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru

Также в качестве заполнителя применяли вибромолотый шамот, содержащий, %: SiO_2 48,5, Al_2O_3 37,0, Fe_2O_3 1,2, TiO_2 1,6, MgO 1,5, K_2O 1,5. Порообразующим компонентом для теплоизоляционных материалов служил пенообразователь, характеристика которого приведена ниже:

Внешний вид при 20–25 °С..... Однородная прозрачная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета

Плотность при 20 °С, кг/м³..... 1000–2000

Водородный показатель (рН) пенообразователя..... 7,0–10,0

Кратность пены рабочего раствора с объемом долей пенообразователя 4 %, не менее.... 7,0

Устойчивость пены, с, не менее 360

Токсичность..... Малоопасное вещество

Теплоизоляционные материалы изготавливали пенометодом по традиционной технологии [5], т. е. смешиванием пены, предварительно полученной на основе пенообразователя, с добавкой нанокремнезема и минеральной составляющей (вибромолотым шамотом). Каолиновую вату предварительно измельчали в дезинтеграторе, а затем вводили вместе с вибромолотым шамотом. Образцы — кубики с ребром 50 мм — формовали в металлических разборные формы методом литья. В формах образцы выдерживали в течение 1 сут, затем производили распалубку форм и выдерживали образцы также в течение 1 сут при комнатной температуре. После этого образцы сушили при 50 °С в течение 5–6 ч и при 100 °С в течение 24 ч. Термообработку проводили при 1350 °С с выдержкой 1 ч.

На первом этапе работы было изучено влияние различных марок Ludox на свойства образцов теплоизоляционных материалов на основе вибромолотого шамота. Для этого были изготовлены образцы, содержащие, мас. %: шамота 97, нанодисперсного кремнезема Ludox 3. Водотвердое отношение составило 0,33. Поверхностно-активным веществом (ПАВ), которое вводили сверх 100 %, служил 3 %-ный водный раствор пенообразователя. Были изучены основные физико-механические характеристики полученных образцов теплоизоляционных материалов после термообработки (рис. 1).

Из анализа представленных диаграмм следует, что минимальными значениями кажущейся плотности 1,0 г/см³ и предела прочности при сжатии 8,5 МПа характеризуется состав с добавкой ТМА, максимальной прочностью 20,5 МПа и высокой плотностью 1,28 г/см³ — состав на основе AS-40.

Для более точной оценки свойств теплоизоляционных материалов и сравнения их между собой в работе применяли коэффициент кон-

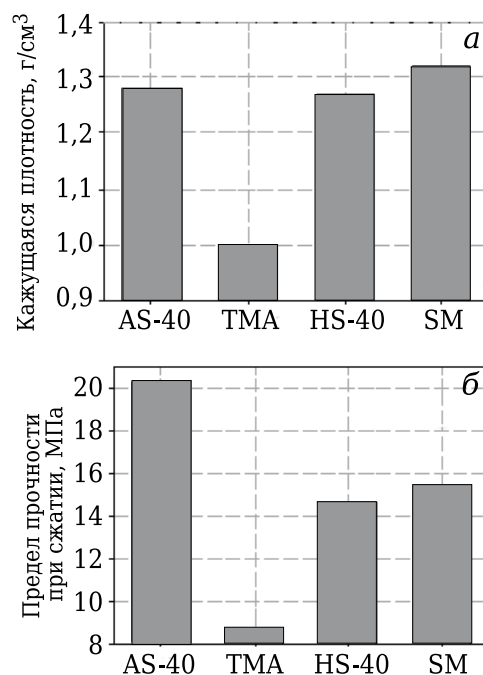


Рис. 1. Зависимость кажущейся плотности (а) и предела прочности при сжатии (б) образцов теплоизоляционного материала, термообработанных при 1300 °С, от добавки Ludox различных марок

структивного качества A , который равен отношению прочности к квадрату плотности материала. Все теплоизоляционные материалы подразделяются в зависимости от значения коэффициента конструктивного качества A на 4 группы [8]: малоэффективные <50, эффективные 50–125, высокоэффективные 125–200, суперматериалы >200.

Исходя из данных, представленных на рис. 2, наибольшим значением A (124) характеризуется состав, в котором в качестве связующего использовали нанокремнезем марки AS-40, образцы остальных составов имеют коэффициент A 87–91, что ниже на 26–29 %. Все образцы исследуемых составов относятся к эффективному типу теплоизоляционных материалов.

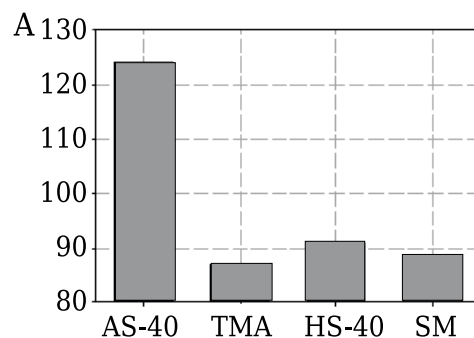


Рис. 2. Зависимость коэффициента конструктивного качества A образцов теплоизоляционного материала без каолиновой ваты, термообработанных при 1300 °С, от добавки Ludox различных марок

На втором этапе работы рассмотрена возможность получения шамотного теплоизоляционного материала на основе нанодисперсного кремнезема Ludox различных марок при использовании добавки керамических волокон в виде каолиновой ваты. Керамические волокна предварительно смешивали с пеной, модифицированной нанокремнеземом, а затем в смесь добавляли необходимое количество вибромолотого шамота. В каждый состав входило 96,85 % шамота, 3 % добавки Ludox и 0,15 % каолиновой ваты, водотвердое отношение составляло 0,33. ПАВ так же, как на первом этапе работы, 3 %-ный водный раствор пенообразователя. Формовочную пеномассу перемешивали с помощью лабораторной пропеллерной мешалки до получения однородной консистенции и разливали в металлические формы. Высушенные образцы обжигали при 1300 °С, после чего определяли их основные физико-механические показатели. Результаты показаны на рис. 3.

Из анализа представленных данных следует, что максимальной прочностью 35 МПа отличается состав на основе нанокремнезема марки AS-40, что на 20–25 % выше, чем этот показатель образцов остальных составов. Минимальной прочностью 26 МПа характеризуются образцы на основе нанокремнезема марки ТМА и HS-40, причем состав с ТМА имеет максимальное значение плотности. Эффективность образцов теплоизоляционных материалов исследованных составов характеризуется значениями коэффициента А, которые представлены на рис. 4. Образцы на основе нанокремнезема марки AS-40 относятся к высокоэффективным теплоизоляционным материалам ($A = 139$), а составы на основе ТМА, HS-40 и SM — к группе эффективных ($A = 97$ – 123).

Таким образом, в результате проведенной работы было установлено, что при использовании в качестве связующего нанодисперсного кремнезема Ludox различных марок можно получить эффективные и высокоэффективные теплоизоляционные материалы. Наиболее оптимальна марка AS-40. Образцы с добавкой AS-40 характеризуются наибольшими значениями предела прочности при сжатии и коэффициента конструктивного качества. Показано, что за счет изменения марки нанокремнезема и дополнительного введения каолиновой ваты в

Библиографический список

1. **Дороганов, Е. А.** Наноструктурное модифицирование композиционных материалов / Е. А. Дороганов, Н. С. Бельмаз, В. А. Дороганов [и др.] // Новые огнеупоры. — 2009. — № 4. — С. 37–38.
2. **Дороганов, В. А.** Разработка и исследование композиционных огнеупорных материалов на основе модифицированных дисперсных систем / В. А. Дороганов, Е. А. Дороганов, Н. С. Бельмаз [и др.] // Новые огнеупоры. — 2009. — № 11. — С. 35–41.

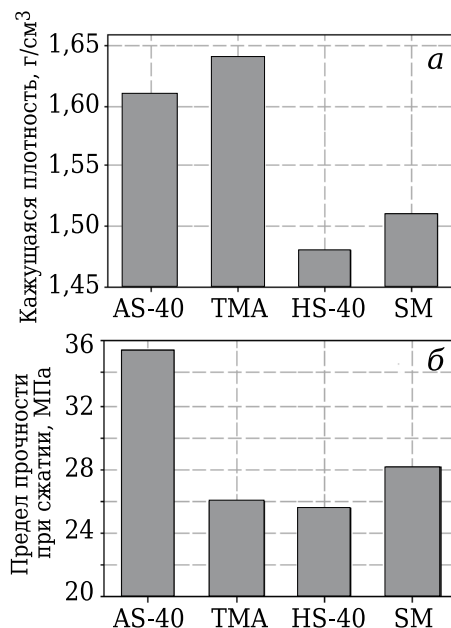


Рис. 3. Зависимость кажущейся плотности (а) и предела прочности при сжатии (б) образцов теплоизоляционного материала с добавкой каолиновой ваты, термообработанных при 1300 °С, от добавки Ludox различных марок

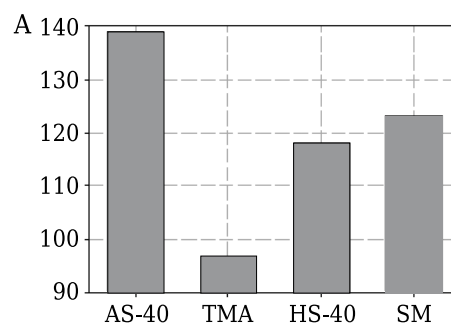


Рис. 4. Коэффициент А образцов теплоизоляционного материала с добавкой каолиновой ваты, термообработанных при 1300 °С, в зависимости от добавки Ludox различных марок

формовочную массу можно получить теплоизоляционные материалы различной плотности — от 1,0 до 1,63 г/см³.

* * *

Исследования проводились в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова.

Doroganov, V. A. Development and study of composite refractory materials based on modified dispersed systems / V. A. Doroganov, E. A. Doroganov, N. S. Bel'maz [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 6. — P. 431–437.

3. **Перетоккина, Н. А.** Разработка и исследование составов масс и технологии изготовления шамотных теплоизоляционных огнеупоров / Н. А. Перетоккина, В. А. Дороганов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 2. — С. 27–29.

Peretokina, N. A. Development and study of the compositions of unshaped fireclay-based heat-insulating refractories and a technology for making them / *N. A. Peretokina, V. A. Doroganov* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2011. — Vol. 52, № 1. — P. 52–54.

4. **Перетокина, Н. А.** Пенолегковесные изделия на основе диатомита / *Н. А. Перетокина, В. А. Дороганов* // *Новые огнеупоры*. — 2011. — № 5. — С. 30–33.

Peretokina, N. A. Lightweight foam products based on diatomite / *N. A. Peretokina, V. A. Doroganov* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2011. — Vol. 52, № 3. — P. 191–194.

5. **Евтушенко, Е. И.** Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава / *Е. И. Евтушенко, Н. А. Перетокина, В. А. Дороганов* [и др.] // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. — 2013. — № 6. — С. 149–151.

6. **Дороганов, В. А.** Особенности модифицирования огнеупорных бетонов нанокремнеземом / *В. А.*

Дороганов // *Новые огнеупоры*. — 2011. — № 11. — С. 45–49.

Doroganov, V. A. Aspects of the modification of refractory concrete with nanosilica / *V. A. Doroganov* // *Refractories and Industrial Ceramics*. — 2011. — Vol. 52, № 6. — P. 409–413.

7. **Онищук, В. И.** Механизм формирования микро-структуры и твердения стекловидного искусственно-го вяжущего вещества / *В. И. Онищук, М. В. Месяц, В. А. Дороганов* [и др.] // *Фундаментальные исследования*. — 2013. — № 1. — С. 413–418.

8. **Евтушенко, Е. И.** Эффективные конструкции и материалы зданий и сооружений / *Е. И. Евтушенко, И. В. Старостина* // *Межвузовский сборник трудов*. — Белгород : БелГТАСМ, 1999. — С. 24–28. ■

Получено 06.05.14

© *Е. И. Евтушенко, В. А. Дороганов, Н. А. Перетокина, Т. И. Зайцева*, 2014 г.

К. Т. Н. **М. А. Волосова**, Д. Т. Н. **С. Н. Григорьев**, Д. Т. Н. **В. В. Кузин** (✉)

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет
«Станкин», Москва, Россия

УДК 621.778.1.073:666.3]:669.018.25

ВЛИЯНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ НИТРИДА ТИТАНА НА СТРУКТУРНУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКСИДНО-КАРБИДНОЙ КЕРАМИКЕ. Часть 1. Методика исследования

Исследовано влияние покрытия на структурную неоднородность напряжений в керамике. Методика исследования создана на базе автоматизированной системы термopочностных расчетов керамических пластин.

Ключевые слова: керамика, покрытие, структурная неоднородность напряжений, напряженно-деформированное состояние, поверхность структурного элемента, моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Нестабильность эксплуатационных характеристик изделий из керамических материалов в условиях экстремальных внешних воздействий предполагает разработку специальных методов повышения их надежности [1, 2]. Одно из наиболее перспективных направлений решения этой практической задачи — нанесение функциональных покрытий на керамические

изделия [3]. При этом достигается совокупность положительных эффектов, подробно рассмотренная в работе [4]. Однако усложнение структуры поверхностного слоя гетерофазной системы приводит к существенному изменению его напряженно-деформированного состояния [5]. В отдельных случаях это приводит к формированию дефектов на границах фаз, которые оказывают весьма негативное влияние на работоспособность керамических деталей [6]. Поэтому факт появления дефектов требует особого внимания при выборе покрытия или специального подхода к эффективному проектированию керамических изделий с функциональными покрытиями [7].



В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru