

К. т. н. **Н. А. Перетокина**, к. т. н. **В. А. Дороганов** (✉),  
**В. А. Грудина, А. Н. Погикян**

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

УДК 666.762.2.043.2

## ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

Показана возможность получения огнеупорных теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов на основе искусственных керамических вяжущих из термоактивированных тугоплавких глин различного состава с комплексным механизмом упрочнения шлакощелочного вяжущего. Проведен анализ зернового состава шлака при различной продолжительности помола и определены основные гранулометрические характеристики. Изучены основные свойства и микроструктура полученного теплоизоляционного материала.

**Ключевые слова:** термоактивированная глина, искусственные керамические вяжущие, пено-метод, плотность, прочность, композиционное связующее, коэффициент конструктивного качества, микроструктура.

Существует ряд теплоизоляционных жаростойких материалов, технология и свойства которых характеризуются существенными недостатками [1]. Получение огнеупорных композитов на основе искусственных керамических вяжущих (ИКВ) суспензий открыло перспективное направление, основным достоинством которого являются низкая микропористость межпоровых перегородок и их высокая прочность, возрастающая в процессе термообработки; экологическая чистота на всех этапах производства; возможность использования дешевого природного и техногенного сырья [2–5].

В данной работе была изучена возможность производства теплоизоляционных материалов на основе искусственных керамических вяжущих из термоактивированных тугоплавких глин каолинового состава месторождений Красная Яруга (глина КГ) и Большая Карповка (глины БКГ, БКП).

Из глины формовали брикеты и подвергали их термической обработке при 1000 °С с выдержкой 30 мин при максимальной температуре. При этом в материале происходили фазовые превращения (полиморфизм кварца, разложение каолинита и гидрослюд), что способствовало разрыхлению кристаллической решетки минералов и их активации. Для повышения активности систему подвергали резкому охлаждению. Далее активированный материал мололи в мельнице объемом 100 л в щелочной области рН, методом постадийной догрузки [6]. После слива

суспензию стабилизировали способом гравитационного перемешивания в течение 5–7 ч. Свойства полученных ИКВ после стабилизации приведены в табл. 1.

Теплоизоляционный материал получали смешиванием минеральной составляющей (ИКВ) и шлакощелочного вяжущего с предварительно полученной пеной, так как наиболее высокая степень пористости (85–90 %) достигается именно при пенном способе производства

Таблица 1. Характеристики ИКВ из термоактивированных глин\*

Суспензия	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Концентрация твердой фазы $C_v$ , %	Содержание частиц <0,1 мкм, %
КГ	22	2,05	0,63	0,57
БКГ	28	1,81	0,49	–
БКП	28	1,95	0,57	0,68

\* Характер реологического поведения тиксотропный.

Таблица 2. Составы пеномасс

Состав	Содержание в массе, %		Водотвердое отношение
	ИКВ	шлакощелочного вяжущего	
	КГ		
1	95	5	0,3
2	90	10	0,34
3	85	15	0,4
	БКГ		
4	95	5	0,3
5	90	10	0,26
6	85	15	0,2
	БКП		
7	95	5	0,28
8	90	10	0,23
9	85	15	0,2



В. А. Дороганов  
E-mail: dva\_vadjik1975@mail.ru

[1]. В работе использовали 3 %-ный раствор пенообразователя ТЭАС. Содержание шлакощелочного вяжущего в массе составляло от 5 до 15 % (табл. 2). Для его получения использовали жидкое стекло и шлак Северского трубного завода (СТЗ).

Существенное воздействие на свойства шлакощелочного вяжущего оказывает активность шлака, которая определяет сроки схватывания и прочность. Саморассыпающиеся шлаки обладают высокой активностью, однако при их хранении активность со временем может снижаться, поэтому возникает необходимость регулирования активности этого техногенного сырья в составе шлакощелочного вяжущего, например с использованием механоактивации. В данной работе для механоактивации шлака СТЗ, полученного по воздушно-сухой технологии, использовали шаровую мельницу планетарного типа. В табл. 3 представлена зависимость гранулометрических характеристик шлака от продолжительности помола. Сравнительная характеристика гранулометрического состава шлаков различного времени помола показана на рис. 1. Из анализа представленных данных следует, что с увеличением времени помола коэффициент полидисперсности  $K_p$  шлака уменьшается, а удельная поверхность увеличивается. Наибольшее количество частиц минимального диаметра наблюдается в шлаке после максимальной продолжительности помола (2 ч) при модальном диаметре фракций 13,81 мкм.

Образцы формовали методом литья в металлические формы размерами 50×50×50 мм. В формах образцы выдерживали в течение 1 сут, затем формы разбирали и образцы подвергали сушке при 80–90 °С в течение 2–3 ч. Термообработку образцов проводили при двух различных температурах — 1000 и 1100 °С с выдержкой 1 ч. После обжига на образцах теплоизоляционных материалов были определены основные физико-механические характеристики и коэффициент конструктивного качества [7]. Результаты представлены в табл. 4.

Анализ данных табл. 4 показал, что прочность образцов изменяется от 0,8 до 23 МПа в зависимости от их состава и температуры обжига. Максимальными значениями прочности характеризовались составы с содержанием шлакощелочного вяжущего 5 %, при этом наивысшими

показателями прочности (до 23 МПа) отличалась система на основе глины БКГ (см. табл. 1). Значения плотности экспериментальных составов варьировались от 500 до 1200 кг/м<sup>3</sup>, наименьшими показателями плотности (500–600 кг/м<sup>3</sup>) характеризовались образцы составов на основе глины КГ и БКП с содержанием шлакощелочного вяжущего 5 % при температуре их обжига 1000 °С.

Следует отметить, что ранее в пенокерамике использовались суспензии влажностью 40–60 %, из-за чего в материале после обжига наблюдались значительные усадочные явления (10–14 %) [6, 7]. В данной технологии используются искусственные керамические вяжущие влажностью от 22 до 28 %, в результате чего получаются изделия с усадкой всего 1,2 %, что практически в 10 раз ниже, чем по классической технологии.

В целом практически все составы экспериментально полученных огнеупорных теплоизоляционных материалов по значению коэффициента конструктивного качества  $K_p$  и существующей классификации относятся к эффективным и высокоэффективным теплоизоляционным материалам. Образцы с 5 %-ным содержанием шлакощелочного вяжущего отличаются максимальными показателями  $K_p$  и входят в группу суперматериалов.

Относительно низкие усадочные явления и высокие механические характеристики полученных материалов объясняются их однородностью и высокой плотностью межпоровых

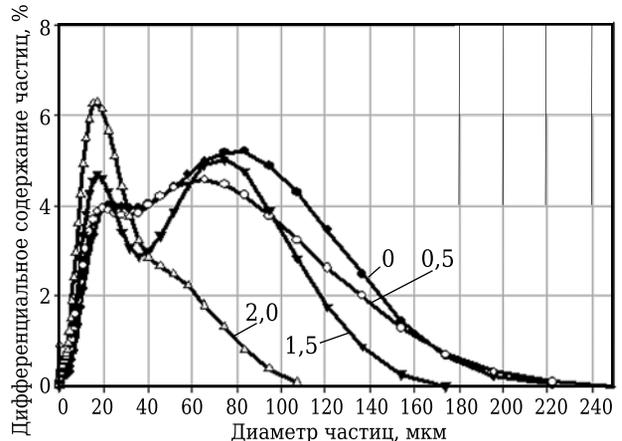


Рис. 1. Гранулометрический состав шлаков в зависимости от различной продолжительности помола (указана на кривых, ч)

Таблица 3. Зависимость зернового состава шлака от продолжительности помола

Время помола, ч	$K_p$	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> /см <sup>3</sup>	Диаметр частиц, мкм		Сроки схватывания, мин	
			модальный	медианный	начало	конец
Немолотый	6,44	7955	74,75	46,4	180	–
0,5	6,25	8412	59,55	41,7	70	110
1,5	5,82	9010	67,81	35,8	45	60
2	4,03	13639	13,81	17,3	30	40

Таблица 4. Физико-механические свойства образцов исследуемых суспензий

Содержание шлакощелочного вяжущего, %	Температура обжига, °С	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Общая усадка, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Коэффициент конструктивного качества
КГ					
5	1000	500	1,2	5,3	21
	1100	520	2,5	2,5	9
10	1000	560	1,2	2,2	7
	1100	630	2,4	1,7	4
15	1000	620	4,1	4,1	10
	1100	640	4,5	2,3	5
БКГ					
5	1000	750	1,5	8,8	15
	1100	900	2,3	23,0	28
10	1000	800	2,2	8,3	13
	1100	1000	3,4	11,2	11
15	1000	900	2,7	19,9	24
	1100	1200	4,9	11,6	8
БКП					
5	1000	560	1,9	3,1	10
	1100	630	2,9	14,0	35
10	1000	620	2,1	1,1	3
	1100	730	4,5	0,8	2
15	1000	750	2,2	1,3	2
	1100	900	5,5	8,8	11

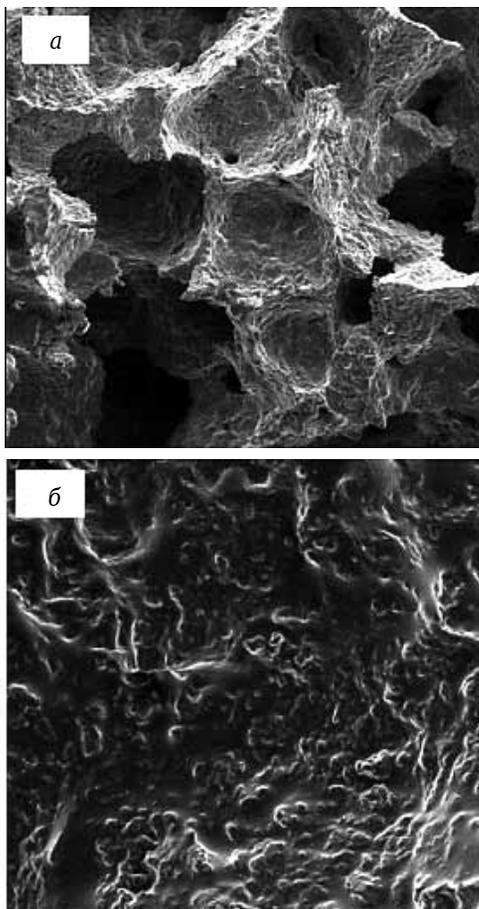


Рис. 2. Микрофотографии образцов теплоизоляционного материала на основе суспензии из БКГ: а — ×500; б — × 5000

перегородок, что подтверждается микрофотографиями образцов на основе глины БКГ, представленными на рис. 2. Микроструктуру полученных образцов исследовали на сканирующем электронном микроскопе «Tescan MIRA 3 LMU». Экспериментальные образцы характеризуются однородной пористой структурой, поры в них почти идеальной округлой формы. Поверхность припорового слоя глянцевая, разделена тонкими плотными, практически одинаковыми по сечению межпоровыми перегородками. Такую пористую структуру можно считать оптимальной для теплоизоляционных материалов.

Таким образом, использование шлакощелочного вяжущего и искусственной керамической вяжущей на основе термоактивированных тугоплавких глин является весьма эффективным технологическим приемом для получения огнеупорных теплоизоляционных материалов с температурой применения до 1200 °С, так как позволяет расширить сырьевую базу, снизить стоимость жаростойких материалов и в ряде случаев получать изделия с более высокими показателями, чем по традиционной технологии.

\* \* \*

Работа выполнена в рамках РФФИ № 14-43-08046 и Программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова.

**Библиографический список**

1. **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.

2. **Евтушенко, Е. И.** Получение ячеистого керамобетона на основе высококонцентрированных вяжущих суспензий / Е. И. Евтушенко, Н. А. Перетоккина // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 9. — С. 28–31.

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

4. **Пивинский, Ю. Е.** Материалы на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий

(ВКВС). Получение и свойства тонкозернистых пенобетонов на основе ВКВС кварцевого песка / Ю. Е. Пивинский, Т. Н. Епифанова, Н. А. Перетоккина // Огнеупоры и техническая керамика. — 1998. — № 10. — С. 6–11.

5. **Череватова, А. В.** Совершенствование технологии получения жаростойких легковесов с применением высококонцентрированных вяжущих систем / А. В. Череватова // Промышленное и гражданское строительство. — 2007. — № 8. — С. 28, 29.

6. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические и огнеупорные материалы : избр. тр. В 3 т. Т. 2 / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 688 с.

7. **Соков, В. Н.** Системный анализ технологии безобжиговых шамотных легковесных изделий / В. Н. Соков // Огнеупоры. — 1998. — № 4. — С. 4. ■

Получено 13.07.15

© Н. А. Перетоккина, В. А. Дороганов, В. А. Грудина, А. Н. Погикян, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

# ТЕРМООБРАБОТКА

Десятая международная специализированная выставка

Единственная в России  
выставка термического  
оборудования и технологий

## 13 - 15 сентября 2016

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7, залы 1 и 2

**13 - 14 сентября**

Международная конференция  
«ИННОВАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ»

**Разделы выставки:**

- ▶ Термическое, химико-термическое, индукционное оборудование
- ▶ Вакуумная техника и компоненты вакуумных систем
- ▶ Лабораторные печи, сушильные шкафы  
Лабораторное оборудование
- ▶ Установки нанесения покрытий
- ▶ Оборудование для электронно-лучевой сварки и сварки в среде аргона
- ▶ Лазерно-технологическое оборудование
- ▶ Комплексы глубокого охлаждения (криогенная обработка)
- ▶ Оборудование для исследования свойств материалов, неразрушающий контроль

- ▶ Центробежное литье коррозионных, жаропрочных и специальных сталей и сплавов
- ▶ Отливки из жаропрочной стали, технологическая оснастка
- ▶ Огнеупоры, теплоизоляция и футеровка тепловых агрегатов
- ▶ Изделия из графита, углеродного войлока и углерод-углеродных композитов
- ▶ спец. раздел **Футеровка печей:** огнеупоры, теплоизоляция, клеи, футеровочные работы

**105 экспонентов из 15 стран мира**

**3022 кв.м. экспозиции**

**2690 посетителей-специалистов**

**Информационная поддержка:**

Организатор: **ООО «Выставочная Компания «Мир-Экспо»** | 115230, Россия, Москва, Хлебзаводский проезд, дом 7, строение 10, офис 507 | Тел./факс: 8 495 988-1620 | E-mail: info@htexporus.ru  
 Сайт: www.htexporus.ru | Твиттер: @htexpo\_ru | YouTube: youtube.com/user/termoobrabotka

№ 4 2016

НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ISSN 1683-4518

37