Д. т. н. Б. Л. Красный<sup>1</sup>, к. т. н. В. П. Тарасовский<sup>1,2</sup> (⊠), к. т. н. А. Б. Красный<sup>1</sup>, А. Л. Галганова<sup>1</sup>, А. В. Резниченко<sup>2</sup>

- <sup>1</sup> ЗАО «НТЦ «Бакор», Москва, г. Щербинка, Россия
- <sup>2</sup> ФГБОУ ВПО МГИУ, Москва, Россия

## УДК 666.762.11:666.3-127.7

# ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ ОГНЕУПОРНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ КОРУНДОВЫХ МИКРОСФЕР

Изучено влияние диспергирующих добавок на свойства массы и обожженного материала из корундовых полых микросфер. Показано, что добавка CASTAMENT FS10 совместно с CASTAMENT FW10 позволяет получить сырец с пределом прочности при сжатии не менее 2 МПа. При этом пористость обожженного материала по сравнению с пористостью материала без диспергирующих добавок снижается незначительно. На основе полых корундовых микросфер полифракционного состава после обжига при 1600 °C были получены теплоизоляционные керамические материалы с открытой пористостью не менее 50,7 % и пределом прочности при сжатии не менее 35 МПа. Усадка разработанного материала в обжиге не более 0,2 %, что позволило изготовить из него крупногабаритные изделия сложной конфигурации и передать их заказчику.

**Ключевые слова:** керамика, структура, корунд, полые микросферы, теплопроводность, прочность, пористость.

Потери тепловой энергии в ходе высокотемпературных процессов зачастую превышают ее теоретическую потребность в несколько раз. Для сохранения тепловой энергии в рабочем пространстве тепловых высокотемпературных агрегатов и предотвращения ее перетекания в окружающую среду необходимы специальные материалы — высокотемпературные теплоизоляционные. Поэтому современное высокотехнологичное промышленное производство невозможно представить без эффективных теплоизоляционных огнеупорных материалов и изделий из них.

В связи с повышением интенсивности технологических процессов наблюдается постоянное повышение температуры в тепловых агрегатах. Для повышения эффективности их работы необходимо создание новых высокопрочных теплоизоляционных материалов, которые могут длительно работать в интервале температур 1700–1800 °С. Одним из таких материалов может стать пористая керамика на основе полых корундовых микросфер [1].

Ранее неоднократно предпринимались попытки создания теплоизоляционных материалов на основе полых корундовых микросфер. Однако все полученные материалы имели невысокий предел прочности при сжатии. Так, в работе [2] образцы из масс на основе полых корундовых сфер получали методом полусухого прессования. После обжига при 1750 °С кажущаяся плот-

> ⊠ В. П. Тарасовский E-mail: tarasvp@mail.ru

ность материала не превышала 2,0 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 14 МПа. Авторы работ [3, 4] предложили способ виброуплотнения в гипсовые или деревянные формы для получения крупногабаритных изделий и изделий сложной формы из масс на основе пустотелых гранул с использованием поверхностно-активных добавок. После обжига при 1750 °С были получены крупногабаритные изделия кажущейся плотностью не более 1,8 г/см<sup>3</sup> с пределом прочности при сжатии до 12 МПа.

Настоящая работа проведена с целью создания высокоэффективного теплоизоляционного высокопрочного материала с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не менее 99,5 мас. % и температурой эксплуатации в восстановительной атмосфере 1700–1800 °C. В работе изучена возможность получения теплоизоляционных огнеупорных материалов из масс на основе полых корундовых микросфер методом вибролитья из высококонцентрированных суспензий.

Микроструктура полых корундовых микросфер представлена на рис. 1. Содержание примесей в микросферах, %: SiO<sub>2</sub> 0,5, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,05, Na<sub>2</sub>O 0,3. Насыпная плотность микросфер по фракциям указана ниже:

Фракция, мм...... 0,5–5,0 5,0–3,0 1,0–3,0 0,1–1,0 Кажущаяся плотность, г/см<sup>3</sup> 1,1 0,61\* 0,71\* 0,93\* \* После рассева на фракции.

Полые корундовые микросферы получены раздувом струи расплава оксида алюминия и изготавливаются в виде фракции 0,1-5,0 мм.

Проведенные исследования показали, что при подготовке массы для полусухого прессова-



Рис. 1. Микроструктура полых корундовых микросфер. ×5

ния в Z-образном смесителе или бегунах происходит разрушение полых корундовых сфер. При формовании образцов на гидравлическом прессе уже при давлении прессования 5 МПа достаточно большое количество полых корундовых сфер также разрушается. Отформованная заготовка имеет при этом низкую прочность. Вследствие этого для получения образцов теплоизоляционного материала использовали метод вибролитья из высококонцентрированных суспензий.

Состав массы для формования включал полые корундовые микросферы, тонкодисперсный реактивный глинозем, бескальциевое алюмооксидное вяжущее и диспергирующие добавки, улучшающие реологические свойства массы.

Приготовление массы осуществляли следующим образом: сначала все компоненты, кроме сферического заполнителя, смешивали всухую, затем добавляли воду и продолжали смешивать в течение 4 мин. После этого вводили сферический заполнитель. Подготовленную таким образом массу использовали для определения ее растекаемости, времени схватывания и изготовления образцов для исследования.

Для определения прочности сырца и обожженного материала изготовляли образцы цилиндрической формы (ГОСТ 4071.1). Массу заливали в металлические формы на вибростоле. Образцы формовали при амплитуде 0,5 мм и частоте 50 Гц. Время воздействия виброколебаний 3 мин.

Растекаемость масс определяли с помощью конуса по методике [5]. Массу непосредственно после приготовления помещали в металлический усеченный конус с диаметром основания 100, верхним диаметром 70 и высотой 80 мм и подвергали воздействию вибрации при амплитуде 0,5 мм и частоте 50 Гц. Затем вибростол отключали и поднимали конус. Снова включали на 30 с, после чего определяли диаметр растекания. Растекаемость рассчитывали как разность между нижним диаметром конуса до и после вибрации в процентах от начального диаметра.

Для определения времени схватывания массу через 5 мин после затворения водой помещали в формы-конусы. Через 9 мин после затворения водой первый конус с массой помещали на вибростол и форму снимали. Через 10 мин после затворения водой включали вибрацию частотой 50 Гц и амплитудой 0,5 мм на 30 с, после чего определяли диаметр растекания. Операцию повторяли через 30, 60, 90 мин после затворения водой. Масса считалась схватившейся, если диаметр растекания равен диаметру основания формы-конуса.

Влияние вида и содержания диспергатора на растекаемость масс оценивали на примере массы, содержащей 38 мас. % полых корундовых микросфер. Влажность масс подбирали для достижения растекаемости 90-95 %. Результаты этих исследований представлены в табл. 1.

Образцы после сушки обжигали при 1600 °C с выдержкой 6 ч. Физико-технические свойства образцов после обжига приведены в табл. 2.

Исследования показали, что наибольшей пористостью обладает материал без добавок дис-

<b>T</b> C 1	-		~ <b>~</b>				~
	Клидние марки	ΠИСПЕНГИНУЮЩЕ	и поравки на	о своиства	массы и ото	пормованных с	NNASIINB
таолица т.	влилинс нарки	диспертирующе	доочыки по	CDONCIDU	maccor n org	popriobulilibit c	оразцов

	•				<u> </u>
Macca	Марка диспергирую- щей добавки	Содержание добавки в массе, мас. % (сверх 100 %)	Влажность массы, %	Время схватывания, мин	Предел прочности при сжа- тии сырца через 24 ч, МПа
1	Без добавки	_	13,5	Боле 90	0,2
2	ADS-3	0,4	10,0	30	1,1
	ADW-1	0,1			
3	ADS-3	0,8	9,5	30	1,6
	ADW-1	0,2			
4	CASTAMENT FS10	0,1	8,5	90	1,8
	CASTAMENT FW10	0,05			
5	CASTAMENT FS10	0,2	7,5	60	2,2
	CASTAMENT FW10	0,1			

#### Таблица 2. Результаты определения физико-технических свойств образцов после обжига

Покозололи	Macca						
ПОказатели	1	2	3	4	5		
Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	1,86	1,94	1,98	1,99	2,02		
Открытая пористость, %	54,2	52,9	52,3	51,3	50,7		
Предел прочности при сжатии, МПа	8,2	20	23	32	35		

пергаторов, однако прочность как сырца, так и обожженного материала довольно низкая. Максимальный предел прочности при сжатии (не ниже 35 МПа) и достаточно высокую открытую пористость (не менее 50,7 %) имеют образцы, изготовленные с использованием комплексной добавки CASTAMENT FS10 и CASTAMENT FW10 в количестве 0,2 и 0,1 % сверх 100 % соответственно. Микроструктура керамики этого состава представлена на рис. 2. На образцах этого же состава были измерены теплофизические свойства полученного материала. Результаты представлены в табл. 3.



**Рис. 2.** Микроструктура теплоизоляционной огнеупорной керамики из полых корундовых микросфер. × 50

Таблица 3. Результаты определения теплофизических характеристик материал	a
--	---

Поторологи	Характеристики при температуре образца, °С									
Показатели	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Теплопровод- ность, Вт/(м·К)	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,4	1,3
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	0,61	0,69	0,78	0,86	0,92	0,97	1,00	1,01	1,01	1,03

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полых корундовых микросфер полифракционного состава после обжига при 1600 °С были получены теплоизоляционные материалы с открытой пористостью не менее 50,7 % и пределом прочности при сжатии не менее 35 МПа.

Изучено влияние диспергирующих добавок на свойства массы и обожженного материала. Показано, что добавка CASTAMENT FS10 совместно с CASTAMENT FW10 позволяет получить сырец прочностью не менее 2 МПа. При этом пористость обожженного материала по сравнению с пористостью материала без диспергирующих добавок снижается незначительно. Усадка в обжиге разработанного материала не более 0,2 %.

Из разработанного материала изготовлены крупногабаритные изделия сложной конфигурации и переданы заказчику для определения их эксплуатационных характеристик.

### Библиографический список

1. **Карлин, В. В.** Пустотелые корундовые сферы для высокотемпературной теплоизоляции / В. В. Карлин, Н. П. Хижняк, В. Г. Энгельбрехт [и др.] // Огнеупоры. — 1987. — № 7. — С. 27–30.

2. *Гаоду, А. Н.* Высокопрочные пористые огнеупоры на основе корундовых сферических гранул / *А. Н. Гаоду, Н. С. Пащенко, И. Г. Субочев* // Огнеупоры. — 1978. — № 11. — С. 39-41.

3. **Писарев, Н. В.** Виброуплотнение корундовых теплоизоляционных изделий / *Н. В. Писарев, Т. М. Сан*дуца, А. Н. Гаоду // Огнеупоры. — 1986. — № 4. — С. 28–32.

\* \* \*

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» в рамках выполнения ПНИР «Разработка технологии крупногабаритных керамических изделий сложной конфигурации для различных областей промышленности на основе высококонцентрированных наномодифицированных суспензий» [соглашение № 14.577.21.0009; уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0009] на оборудовании Центра коллективного пользования МГИУ «Наукоемкие технологии в машиностроении».

4. *Дегтярева, Э. В.* Структурно-механические свойства корундовых масс с пористым заполнителем / Э. В. Дегтярева, Т. М. Сандуца // Огнеупоры. — 1987. — № 8. — С. 10-13.

5. ENV 1402-4:2002 [Unshaped refractory products — P. 4. Determination of consistency of castables: prEN 1402-4:2004.— Brussels : CEN, 2002.— 9 p.]. ■

Получено 18.09.14 © Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный, А. Л. Галганова, А. В. Резниченко, 2014 г.