



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



12

ДЕКАБРЬ 2014

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

АБРАМОВ Е. П.
ГРИШПУН Е. М.
ДИБРОВ И. А.
ЗАЙЦЕВ В. А.
ЗАКАРЯН О. К.
ИВАНУШКИН А. Г.
ЛЕБЕДЕВ Ю. Н.
ЛУКЬЯНОВ В. Б.
МОЖЖЕРИН В. А.
ОДЕГОВ С. Ю.
САРЫЧЕВ В. Ф.
СКОРОХОДОВ В. Н.
ЭНТИН В. И.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **КРАСНЫЙ Б. Л.**
Зам. главного редактора **КАЩЕЕВ И. Д.**

АКСЕЛЬРОД Л. М.	МОСИНА Т. В.
АНТОНОВИЧ В.	ОВСЯННИКОВ В. Г.
АНЦИФЕРОВ В. Н.	ОРДАНЬЯН С. С.
БАРИНОВ С. М.	ОЧАГОВА И. Г.
БЕЙЛИНА И. Ю.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.
БЕЛОУСОВА В. Ю.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.
БЕЛЯКОВ А. В.	ПОМОРЦЕВ С. А.
БУРАВОВ А. Д.	ПРИМАЧЕНКО В. В.
ВЕРЕЩАГИН В. И.	ПЫРИКОВ А. Н.
ВИКУЛИН В. В.	СЕМЧЕНКО Г. Д.
ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	СИЗОВ В. И.
ГУРИН А. А.	СМИРНОВ А. Н.
ДАВЫДОВ С. Я.	СОКОВ В. Н.
ДОРОГАНОВ В. А.	СОКОЛОВ В. А.
ДРУЖИНИН Г. М.	СУВОРОВ С. А.
ИЛЬЮЩЕНКО А. Ф.	СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.
КОНАКОВ В. Г.	ТАРАСОВСКИЙ В. П.
КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.	ТРАВИЦКОВА А. Н.
ЛУКИН Е. С.	

Научные редакторы **Г. Г. Гаврик, А. Н. Синицына**
Художник-дизайнер **Т. П. Кошкина**
Компьютерная верстка **Т. П. Кошкиной**
Корректор **Ю. И. Королёва**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55550 от 07.10.2013 г.

Адрес редакции:
127006, Москва, Старопименовский пер., 8, стр. 1-1А
Тел.: (495) 699-97-85
E-mail: ogneupor@imet.ru, info@imet.ru
Internet: www.imet.ru



Статьи из журнала переводятся на английский язык и публикуются
в журнале «**Refractories and Industrial Ceramics**»,
издаваемом международным информационно-издательским
консорциумом «Springer»

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Первая оперативная типография»
115114, Москва, 2-й Кожевнический пер., д. 12, стр. 5
Тел.: 8 (495) 604-41-54, 8 (495) 994-49-94

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России
для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук,
в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН, в каталог российских электронных периодических изданий.
Журнал входит также в систему РИНЦ, а его переводная версия (Refractories and Industrial Ceramics) —
в международную базу цитирования Web of Science (раздел Science Citation Index Expanded).

Ответственность за достоверность информации в публикуемых
материалах и рекламе несут авторы и рекламодатели.
Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов
опубликованных материалов

Подписано в печать 04.12.14. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная
Цифровая печать. Усл. печ. л. 8,75
Уч.-изд. л. 8,63 . Заказ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективная комбинированная футеровка печей для выплавки кобальта.....3

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вакалова Т. В., Хабас Т. А., Ревва И. Б., Павлова И. А. Теплоизоляционные керамические материалы с нанопористой структурой, изготовленные с использованием золосодержащих отходов ТЭЦ.....6

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Горбунов В. В., Кирпищикова И. Н. Огнеупорные изделия и футеровки из бетонных смесей для сталеразливочных и промежуточных ковшей.....12

Беляков А. В., Церман С. И. Структурирование алмазонаосного слоя в инструменте путем агрегации режущих зерен.....14

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Кашчев И. Д., Земляной К. Г. Влияние способов измельчения на состав поверхности и спекание хромита..18

Суздальцев Е. И. Технологические особенности синтеза стеклокерамики β -сподуменового состава. Часть I. Исследование стабильности свойств стеклокерамики в условиях длительного повторного воздействия высоких температур.....24

Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б., Галганова А. Л., Резниченко А. В. Теплоизоляционный огнеупорный материал на основе полых корундовых микросфер.....29

Слюсарь О. А., Ястребинский Р. Н., Черкашина Н. И., Дороганов В. А., Ястребинская А. В. Влияние добавок на структурообразование дисперсной системы.....32

Волосова М. А., Григорьев С. Н., Кузин В. В. Влияние покрытия из нитрида титана на структурную неоднородность напряжений в оксидно-карбидной керамике. Часть 3. Действует распределенная силовая нагрузка.....35

Ляпцев С. А., Потапов В. Я., Давыдов С. Я., Потапов В. В., Семериков Л. А., Васильев Е. А. Классификация сыпучих материалов при ударе о разделительную поверхность.....41

Ма Б., Ли И., Лиу Г., Ли Ч. Влияние параметров технологического процесса на производство и свойства пористой керамики на основе Al_2O_343

ЭКОЛОГИЯ

Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А. Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 5. Расчет объемов аспирации при перегрузках порошкообразных аутогезионных материалов.....51

ИЗОБРЕТЕНИЯ

Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам..55

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

Международная выставка «InterGlass 2015» (пресс-релиз).....57

Статьи, опубликованные в журнале «Новые огнеупоры» за 2014 г.58

Abstracts.....69

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Slovikovskii V. V., Gulyaeva A. V. Viable composite lining for cobalt furnaces.....3

RAW MATERIALS

Vakalova T. V., Khabas T. A., Revva I. B., Pavlova I. A. Heat insulating ceramic nanoporous materials manufactured with the use of Heat and power Plant's wastes.....6

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Gorbunov V. V., Kirpishchikova I. N. Concrete mix refractories and linings for steel-teeming and intermediate ladles.....12

Belyakov A. V., Tserman S. I. The diamond layer patterning by means of cutting grains aggregation.....14

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Kashcheev I. D., Zemlyanoi K. G. The influence of grinding operations on the chromite surface composition and sintering.....18

Suzdal'tsev E. I. Technological characteristics of β -spodumene glass-ceramics synthesis. Part I. The glass-ceramics stability investigation in course of long-term repeated exposure to the elevated temperatures.....24

Krasnii B. L., Tarasovskii V. P., Krasnii A. B., Galganova A. L., Reznichenko A. V. Heat-insulating refractory material on base of hollow corundum micro spheres.....29

Slyusar' O. A., Yastrebinskii R. N., Cherkashina N. I., Doroganov V. A., Yastrebinskaya A. V. The influence of the addition on the disperse system's structure formation..32

Volosova M. A., Grigor'ev S. N., Kuzin V. V. The influence of titanium-nitride surface coating on the structure stress inhomogeneity of oxide-carbide ceramics. Part 3. The distributed loading action.....35

Lyaptsev S. A., Potapov V. Ya., Davydov S. Ya., Potapov V. V., Semerikov L. A., Vasil'ev E. A. Classification of materials in relation to the impact on interface.....41

Ma B., Li Yi, Liu G., Li Zh. Effects of processing parameters on fabrication and properties of Al_2O_3 based porous ceramics.....43

ECOLOGY

Logachev I. N., Logachev K. I., Averkova O. A. Reducing power consumption methods for aspiration systems. Part 5. Suction capacity calculation when reloading of powdered self-adhesion materials.....51

INVENTIONS

Review of patents of the Russian Federation for inventions in refractories.....55

INFORMATION

International exhibition «InterGlass 2015» (press-reliz).....57

Guide index of the articles published in the journal «Novye ognepuory» in 2014.....58

Abstracts.....69

К. т. н. **В. В. Словиковский, А. В. Гуляева** (✉)

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.32:669.253.2.6.6

ЭФФЕКТИВНАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ ФУТЕРОВКА ПЕЧЕЙ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ КОБАЛЬТА

Проанализированы причины малой стойкости футеровок печей для выплавки кобальта и механизм износа огнеупоров. Разработаны вещественный состав и конструкция огнеупорной кладки печей Кульмана. Предложено применить в футеровке этих печей высокостойкие периклазовые огнеупоры марки МУ на основе плавленного зерна. Разработана конструкция кладки по определенной схеме с использованием огнеупоров МУ и МП. Данные мероприятия позволили увеличить стойкость футеровок печей Кульмана в 1,8–2,0 раза на комбинате «Южуралникель» (г. Орск).

Ключевые слова: обожженные огнеупоры, плавленные огнеупоры, химические взаимодействия, термостойкость, скорость износа.

Для получения металлического кобальта используют печи с независимой электрической дугой (печь Кульмана), которые футеруют периклазовыми огнеупорами. Технологический процесс проводится при высоких температурах (1550–1650 °С) и резких теплосменах, имеющих место при сливе металла, загрузке на обнажившуюся футеровку холодных исходных материалов и отходов. Жесткие условия эксплуатации печей Кульмана обуславливают низкую стойкость (8–12 плавов) футеровки из обожженных периклазовых огнеупоров марки МУ.

Практика эксплуатации металлургических печей показывает, что наибольшее влияние на износ огнеупорной футеровки оказывают шлаки. Наиболее изнашиваемая зона футеровки печей Кульмана — против электрической дуги по кольцу барабана печи шириной до 450 мм, т. е. практически два кольца огнеупоров по 230 мм. Толщина рабочего слоя футеровки печей Кульмана к концу кампании 80–85 мм.

Для выявления механизма разрушения футеровки были отобраны образцы периклазового огнеупора после службы из различных участков футеровки печи. Огнеупоры после службы визуально имели две зоны: рабочую и переходную. В огнеупоре после службы содержание SiO₂ увеличивается примерно в 2 раза, CaO — более чем в 5 раз (табл. 1). Кроме того, в нем появились новые фазы: сера, фтор и кобальт.

Петрографические исследования зон огнеупора МУ (рис. 1) показали, что рабочая зона представляет собой рыхлый материал розового цвета, легко превращающийся в порошок крупностью

1–0 мм. Рабочая зона имеет толщину 15–20 мм, состоит из разрозненных зерен периклаза размерами 20–50 мкм, силикатов и металлических включений кобальта. В отдельных местах наблюдается скопление зерен периклаза, образующих агрегаты размерами до 22 мм. Между зернами периклаза имеются пленки силикатов, представленные двух-

Таблица 1. Химический состав шлака и огнеупора марки МУ до и после службы

Материал	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	S	F	Co	Δt _{прк}
Шлак I	9,85	54,34	9,22	1,64	2,87	6,5	12,39	–
Шлак II	7,06	54,64	7,10	1,06	1,35	13,62	15,17	–
Огнеупор после службы:								
рабочая зона	3,97	16,96	55,73	1,55	2,68	4,07	14,35	0,69
переходная зона	5,13	12,53	71,12	1,59	1,99	2,98	4,48	0,18
Огнеупор до службы	2,4	1,7	92,94	1,3	–	–	–	–

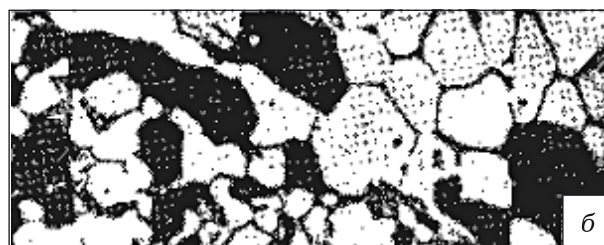
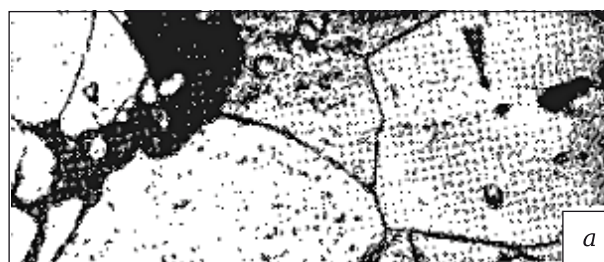


Рис. 1. Микроструктура огнеупора на основе плавленного зерна (а) и обожженного периклазового огнеупора (б)



А. В. Гуляева

E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

и трехкальциевым силикатом и небольшим количеством монтичеллита и форстерита. Силикаты также находятся в виде отдельных скоплений, в основном в связке огнеупора.

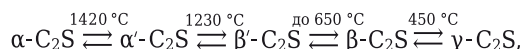
Наибольшему разрушению подвержена керамическая связка, в которой зерна периклаза полностью разобщены силикатами, по всему образцу наблюдается сеть микротрещин.

Переходная зона толщиной 50–60 мм также представлена зернами периклаза размерами до 50 мкм и силикатами. В ней, в отличие от рабочей зоны, агрегаты зерен периклаза еще не разрушены, однако связка носит следы разрушения прямых межзеренных связей, имеет микротрещины и увеличенное содержание силикатов, а также вкрапления металлического кобальта.

Результаты рентгенофазового анализа подтвердили, что в огнеупоре после службы обнаруживаются новые силикатные минералы: двух- и трехкальциевый силикаты, свободный CaO, CaF₂ и металлический кобальт.

Механизм износа периклазовых огнеупоров по результатам анализов следующий. Под действием капиллярных сил шлак проникает вглубь огнеупора. В присутствии фтора кремний и кальций, содержащиеся в шлаке, соединяются с силикатами огнеупора, связывающими зерна периклаза, с образованием двухкальциевого 2CaO·SiO₂ и трехкальциевого 3CaO·SiO₂ силикатов [1].

Получившиеся ортосиликаты имеют при различных температурах 4 или 5 модификаций:



где С — CaO; S — SiO₂.

Каждая из модификаций характеризуется своей плотностью, и при переходе из одной модификации в другую материал увеличивается или уменьшается в объеме до 12 %. При изменении температуры футеровки во время технологического процесса образовавшиеся силикаты переходят из одной модификации в другую и при изменении в объеме разрывают межзеренную связь огнеупора.

В рабочей зоне разобщенные зерна периклаза легко вступают в реакцию с фтором, кальцием и кремнием с образованием легкоплавких силикатов (температура плавления ниже 1350 °С) и смываются продуктами плавки.

Учитывая повышенные требования, предъявляемые при проведении технологического процесса к чистоте материала кладки, и жесткие условия эксплуатации, нами было принято решение применить в футеровке печей Кульмана высокостойкие периклазовые огнеупоры марки МП на основе плавленного зерна (табл. 2).

Микроструктура огнеупора марки МП состоит из агрегатов зерен периклаза, связанных тонкомолотой составляющей, имеется незначительное количество силикатов и пор. Размер зерен периклаза в агрегатах достигает 800–950

Таблица 2. Химический состав огнеупоров марки МП

Материал	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Co	F	Δm _{тпк}
Огнеупор после службы:								
рабочая зона	71,7	13,02	1,79	0,8	4,86	6,37	2,68	–
переходная зона	71,6	13,86	2,05	1,0	5,29	4,58	3,01	–
Огнеупор до службы	95,3	1,4	0,3	1,4	1,3	–	–	0,3

мкм (рис. 2). Периклаз имеет нормальные оптические константы, силикаты в основном представлены монтичеллитом.

Основным отличием огнеупоров марки МП на основе плавленного зерна от спеченных огнеупоров марки МУ является крупнокристаллическая структура периклаза, зерна которого в 12–15 раз крупнее зерен периклаза огнеупора марки МУ, что повышает стойкость огнеупора к воздействию реагентов плавки.

В условиях активного химического взаимодействия оксида кобальта с футеровкой основным преимуществом, определяющим повышенную стойкость огнеупоров марки МП перед огнеупорами марки МУ, являются их низкая пористость и повышенная температура начала деформации под нагрузкой (табл. 3).

На комбинате «Южуралникель» (г. Орск) были проведены испытания на печах Кульмана с полной заменой в футеровке огнеупоров марки МУ на огнеупоры марки МП на основе плавленного зерна. Средняя стойкость футеровки составила 22 плавки, что в 2 раза выше по сравнению со стойкостью футеровки, выполненной из спеченных огнеупоров марки МУ.



Рис. 2. Микроструктура периклазового огнеупора на основе плавленного зерна после службы

Таблица 3. Физико-механические свойства периклазовых огнеупоров

Показатели	Марка огнеупора	
	МП	МУ
Предел прочности при сжатии, МПа	40–60	60–80
Открытая пористость, %	14–17	18–24
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С	1630–1670	1600–1650

Исследованиями установлено [2], что при использовании комбинированной кладки из этих огнеупоров можно получить аналогичное увеличение стойкости футеровки; при этом расход дорогостоящих плавящихся огнеупоров снижается вдвое и, следовательно, уменьшается стоимость кладки. Было испытано сочетание огнеупоров марок МП (высокие плотность и химическая стойкость) и МУ (высокая термостойкость).

Комбинированную схему кладки выполняли следующим образом: два кольца футеровки, прилегающие к торцам печи, и сами торцы были выложены из огнеупоров марки МУ, центральную зону (два кольца под загрузочным окном) выкладывали с чередованием огнеупоров марок МУ и МП. При такой схеме кладки создается каркас из высокостойких огнеупоров марки МП на основе плавящегося зерна. Внутри

каркаса располагаются менее стойкие огнеупоры марки МУ.

За период испытаний рекомендованной комбинированной схемы кладки на 10 барабанах печей Кульмана было проведено 102 плавки и для сравнения — на 3 барабанах печей с футеровками по принятой на комбинате технологии кладки 25 плавков (табл. 4). Средняя скорость износа футеровки печей Кульмана, выполненной по комбинированной схеме кладки, 5,8 мм за плавку, футеровки сравнения — 11,5 мм за плавку; увеличение стойкости футеровки 95 %.

Таким образом, предлагаемая схема кладки футеровки печи Кульмана экономически целесообразна, так как позволяет увеличить стойкость футеровки в 2 раза при минимальном расходе дорогостоящих высокостойких огнеупоров марки МП (10–12 % от общего количества огнеупоров футеровки печей Кульмана).

Таблица 4. Стойкость футеровки печей Кульмана с применением огнеупоров марки МП

Номер печи	Кампания	Количество плавков	Скорость износа, мм за плавку	Кладка
2	1	16	6,0	Комбинированная
	2	16	6,0	»
	3	11	8,6	Аварийная остановка
	4	23	4,1	Комбинированная
3	5	19	5,0	»
	6	20	4,7	»
	7	9	10,5	Из огнеупоров марки МУ
1	8	12	8,0	Комбинированная
	9	8	12,0	Из огнеупоров марки МУ
	10	22	4,3	Комбинированная
	11	8	12,0	Из огнеупоров марки МУ

Библиографический список

1. **Зубаков, С. Н.** Минералообразование в хромомagneзитовых огнеупорах / С. Н. Зубаков. — Алма-Ата : Изд-во АН КазССР, 1980.
2. **Словиковский, В. В.** Повышение стойкости футерменного пояса горизонтальных конвертеров медно-

никелевого производства / В. В. Словиковский // Цветные металлы. — 2006. — № 2. — С. 32–34. ■

Получено 13.10.14
© В. В. Словиковский, А. В. Гуляева, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Call for Papers!

39th INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXPOSITION ON
ADVANCED CERAMICS AND COMPOSITES
January 25-30, 2015 | Hilton Daytona Beach Resort and Ocean Center | Daytona Beach Florida, USA

ICASS 15 — 39-я конференция и выставка высокотехнологичной керамики и композитов
25 - 30 января 2015 г.

www.ceramics.org

г. Дейтона-Бич, США

Д. т. н. **Т. В. Вакалова**¹ (✉), д. т. н. **Т. А. Хабас**¹, к. т. н. **И. Б. Ревва**¹,
к. т. н. **И. А. Павлова**²

¹ ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, Россия

² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.766:662.613.1

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С НАНОПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОЛОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ТЭЦ

Установлено, что порообразующее действие золы и зольных микросфер в композициях с глинистыми породами обусловлено как особенностями строения (присутствием полых частиц сферической формы) и состава самих зольных компонентов (наличием остаточного топлива в золе), так и физико-химическими процессами в системах глина – зола и глина – зольные микросферы, препятствующими усадке при спекании (процессы синтеза анортита и муллита, протекающие с увеличением молярного объема).

Ключевые слова: техногенные отходы, золошлаковые отходы, зола-унос, зольные микросферы, обжиг, структурообразование, порообразование, распределение пор, прочность.

Стремительное развитие промышленного и гражданского строительства обуславливает необходимость увеличения производства экологически чистых, конкурентоспособных и недорогих теплоизоляционных керамических материалов. В условиях сокращения запасов природного сырья и необходимости утилизации промышленных отходов актуально создание керамических материалов с использованием вторичных ресурсов, в том числе: твердых золосодержащих отходов от сжигания углей ТЭС и ГРЭС (золошлаковых отходов, золы-уноса и зольных микросфер), рисовой шелухи и других растительных остатков, биомассы, текстильных отходов. Источники золы определяются местными ресурсами. В мировой практике зольные отходы применяются чаще всего при изготовлении пористого легкого бетона, реже для получения теплоизоляционного керамического материала [1–4].

Материалы с золой-уноса от сжигания углей считаются экологически чистыми и подходят для изготовления строительных материалов. Разрабатываются новые виды теплоизоляционных материалов с введением в качестве одного из компонентов угольной золы-уноса. При этом применяются различные технологии формования изделий — от прессования до литья. Спеченные теплоизоляционные материалы пористо-

стью от 86,3 до 94,5 об. % имеют очень низкую теплопроводность (0,0511 Вт/(м·К)), но невысокую прочность — предел прочности при сжатии от 0,43 до 1,01 МПа [5–7].

При использовании угля определенного бассейна зола-унос характеризуется достаточно стабильным химическим составом, что дает возможность прогнозировать качество керамических материалов, получаемых с ее применением.

Другим отходом при сжигании угля на ТЭС являются зольные микросферы — легкая фракция из расплавленных алюмосиликатов, наполненная смесью газов. В случае удаления золы мокрым способом микросферы вследствие их низкой плотности образуют на водной поверхности отстойника плавающий слой, который легко собирается и удаляется.

За рубежом зольные микросферы из твердых отходов сжигания углей извлекаются тысячами тонн в год. Ими можно заменить такие минералы, как глина, тальк, карбонат кальция, кремнезем, а также искусственно получаемые сферы, требующие более дорогостоящего производства [8, 9]. Установлено, что микросферы из золы могут успешно применяться в теплотехнике, строительстве, производстве пластмасс, металлургии и других отраслях промышленности [10–12]. Их ценность определяется структурой и составом. Представляя собой совершенные сферические полые образования, они обладают всеми качествами идеального заполнителя различных композиционных материалов [10, 11]. Но, как следует из анализа опубликованных данных, применение таких материалов требует тщательной про-



Т. В. Вакалова
E-mail: vakalova@mail.ru

работки технологии. В качестве отрицательных факторов исследователями отмечаются чувствительность материалов к влажности воздуха, при повышении которой увеличивается теплопроводность, и неудовлетворительные прочностные характеристики. Отмечается также снижение прочности с увеличением количества ценосфер [8, 9], что закономерно, учитывая их высокую хрупкость. При повышении температуры спекания прочность материала повышается, но при высокой температуре, по нашему мнению, это может быть следствием образования расплава. Потеря объема микросфер при этом может привести к повышению теплопроводности. В этом случае ценосферы могут быть рассмотрены в основном как спекающая или реакционная добавка при получении пористой керамики.

Имеющийся на данный момент опыт промышленного использования подобных техногенных продуктов при изготовлении строительных материалов свидетельствует о том, что эти продукты могут не только играть роль корректирующих и вспомогательных добавок, но и применяться в качестве основного сырья для производства керамических и силикатных строительных материалов [12–14].

Очевидно, что упрочнение композиционного материала без потери им теплоизоляционных свойств может быть обеспечено подбором соответствующей матрицы и исследованием процессов структурообразования, протекающих при термообработке. В связи с этим данная работа посвящена исследованию формирования высокопористой структуры керамических материалов для промышленной теплоизоляции, при изготовлении которых используются техногенные компоненты с собственным высокопористым строением — золосодержащие отходы.

Используемые в работе пробы золы-уноса от сгорания углей Кемеровского угольного бассейна и ее самая легкая фракция в виде зольных микросфер существенно различаются по гранулометрическому составу. Особенностью золы является преобладание частиц размерами 0,05–0,005 мм в количестве 64,8 %, в то время как зольные микросферы преимущественно сложены более крупными частицами размерами от 1,00 до 0,05 мм в количестве 97,2 %.

По химическому составу (табл. 1) исследуемые зола и зольные микросферы относятся к

Таблица 1. Химический состав используемых золы и зольных микросфер, %*

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	R ₂ O	$\Delta m_{\text{прк}}$
Зола	60,12	18,36	5,95	3,00	4,41	3,49	4,67
	63,06	19,26	6,24	3,15	4,63	3,66	—
Зольные микросферы	65,66	20,91	4,37	2,25	4,06	1,23	1,52
	66,67	21,23	4,44	2,29	4,12	1,25	—

* В числителе — состав исходного вещества, в знаменателе — прокаленного.

кислым золам первого подкласса (содержание CaO менее 10 %) и могут быть использованы без предварительной обработки (измельчения).

Выявлено, что по фазовому составу зольные микросферы на 90 % представлены стекловидной фазой, их кристаллическая составляющая (10 %) сложена кварцем. Фазовый состав золы-уноса в меньшей степени представлен стеклофазой (60 %), при этом в состав кристаллической фазы (40 %) кроме кварца входит волластонит.

Потери массы в температурном интервале от 20 до 1000 °C для золы в количестве 3,7 % обусловлены присутствием в ней несгоревшего топлива, окисление которого вызывает появление экзотермического эффекта на кривой ДТА с максимумом при 323 °C (рис. 1). Относительно небольшие потери массы (до 0,8 %) в случае зольных микросфер указывают на отсутствие несгоревшего топлива.

По данным электронной микроскопии, исследуемая зола сложена частицами разной формы — это сферические частицы с дефектами на поверхности, спекшиеся конгломераты, слоистые образования (рис. 2). Крупную часть золы составляют шаровидные частицы, которые представляют собой микросферы диаметром 20–100 мкм с толщиной стенки 5–7 мкм.

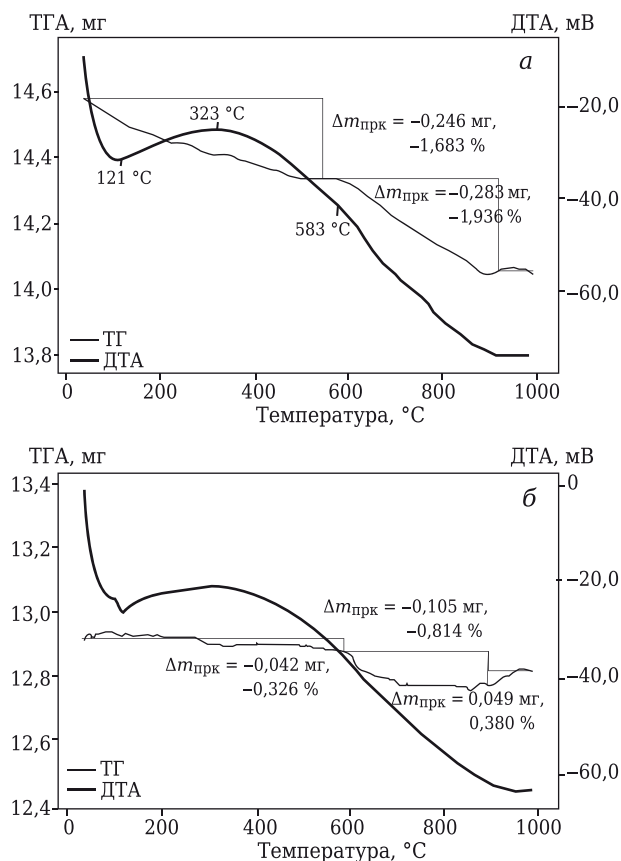


Рис. 1. ДСК-кривые исследуемых проб при нагревании до 1000 °C: а — зола; б — зольные микросферы

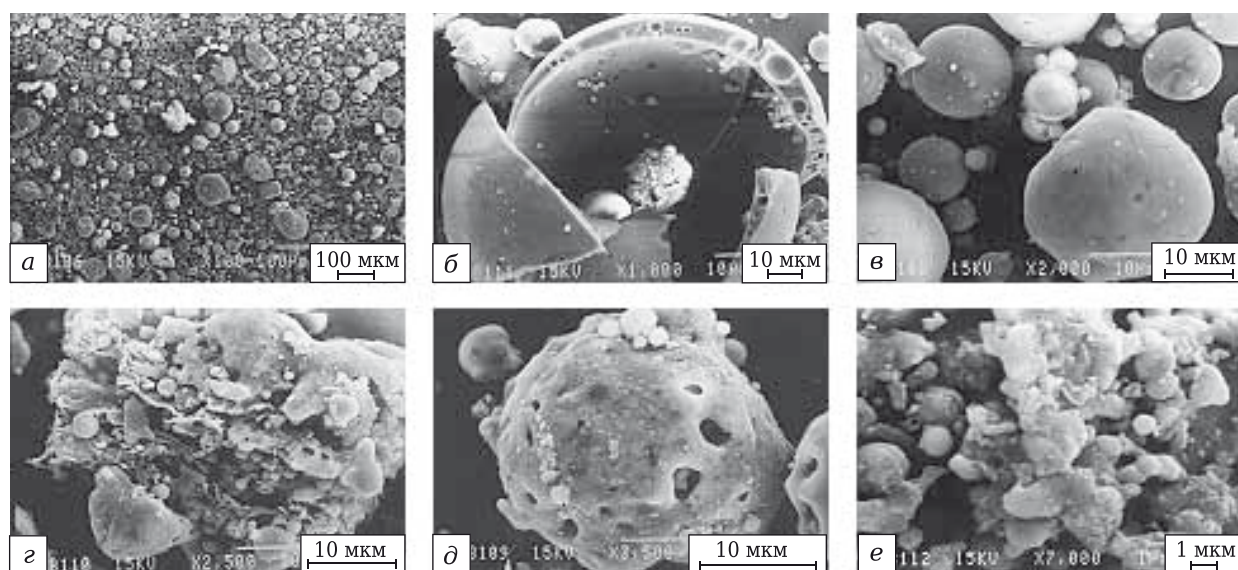


Рис. 2. Микроснимки золы в исходном состоянии: а — $\times 100$; б — $\times 1000$; в — $\times 2000$; г — $\times 2500$; д — $\times 3500$; е — $\times 7000$

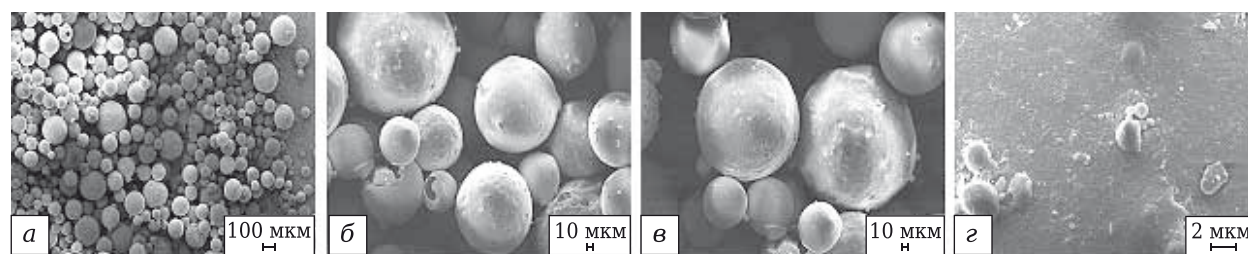


Рис. 3. Микроснимки зольных микросфер в исходном состоянии: а — $\times 100$; б — $\times 500$; в — $\times 530$; г — $\times 1000$

В отличие от золы-уноса зольные микросферы (рис. 3) сложены только полыми частицами сферической формы. Часть зольных микросфер расколота. Диаметр частиц от 50 до 250 мкм, толщина стенки от 2 до 5 мкм. Поверхность микросфер дефектна, имеются неровности и сколы. Различимы мельчайшие припавленные частички (1–5 мкм) на поверхности микросфер (см. рис. 3, г).

Таким образом, к достоинству золы как сырья для керамических пористых изделий относится то, что она представляет собой мелкодисперсный материал с содержанием остатков угля. Это позволяет отказаться от ее вторичной переработки, уменьшить требующееся количество технологического топлива и тем самым добиться эффекта за счет сокращения расходов на эти операции. Кроме того, к перечисленным достоинствам использования золы в качестве сырья для керамической промышленности можно добавить сходство химического состава исследуемых зольных компонентов с составом глинистых пород, что свидетельствует о возможности использования золы в качестве отошающих добавок для пористой глиносодержащей керамики. Низкая насыпная плотность золы и зольных

микросфер (0,820 и 0,390 кг/м³ соответственно) позволяет предположить, что они будут выступать в качестве разуплотняющих компонентов керамических масс.

При проведении исследований зольные компоненты использовали в исходном состоянии. Количество золы варьировалось от 10 до 30 мас. % с интервалом 10 мас. %, а зольные микросферы вводили в количестве от 10 до 20 мас. % с интервалом 5 мас. % в композициях с тугоплавкой, среднечувствительной к сушке глиной.

Установлено, что исследуемые материалы в композициях с глинистым сырьем проявляют себя как эффективный отошитель. При этом зольные микросферы в большей степени, чем золы, влияют на изменение сушильных свойств глинистого сырья, что обусловлено более крупным размером их частиц, обеспечивающим улучшение влагопроводности пластичной массы. Кроме того, выявлено, что при содержании в массе зольных микросфер в 2 раза меньше, чем золы (20 и 40 % соответственно), образуются композиции с глинистым сырьем примерно равной пластичности, при этом обеспечивается минимально необходимая прочность полуфабриката.

Обжиг полуфабриката пластического формования из зологлиняных композиций, увлажненных суспензией технического лигносульфоната, в температурном интервале от 900 до 1100 °С показал, что особенностью характера изменения основных физико-механических свойств изделий с использованием как золы, так и зольных микросфер является увеличение пористости образцов по мере повышения доли зольной составляющей в составе керамической массы. Образующаяся пористость зависит от особенностей протекания физико-химических процессов в системе глина – зола и глина – зольные микросферы.

В частности, в случае использования золы увеличение пористости обусловлено как процессами выгорания остаточного топлива, так и формированием новой кристаллической фазы — анортита, синтез которого протекает с увеличением молярного объема, что вносит свой вклад в уменьшение плотности керамического изделия. Что касается влияния зольных микросфер на увеличение пористости изделий, то оно связано с особенностью строения их частиц, представляющих собой стеклянную полую сферу с тонкими непрочными стенками, заполненную топочными газами. По мере возрастания температуры обжига происходит расширение газа, находящегося внутри микросферы, что влечет деформацию ее стенки и в некоторых случаях даже разрыв сферы с образованием на этом месте поры. При этом снижается плотность и механическая прочность изделий.

Сведения, полученные с помощью электронной микроскопии, показывают, что обожжен-

ные образцы из композиций глины с золой представляют собой более однородный плотно-спеченный материал с более мелкими пора́ми (от 1 до 60 мкм), чем в образцах составов с зольными микросферами, размер пор которых варьируется в пределах 30–180 мкм. Кроме того, в образцах с золой наряду со сферическими частицами наблюдаются участки застывшего расплава (рис. 4). В случае композиций с использованием зольных микросфер, обожженных при 950 °С, на микрофотографиях (рис. 5) фиксируются аморфное видоизмененное температурой глинистое вещество и непосредственно сами микросферы, причем на границе этих объектов образуется переходный слой, представляющий собой продукт взаимодействия глины и стекло-видной стенки микросферы.

Оценка состояния макроструктуры изделий свидетельствует о том, что использование в композиции с глиной зольных микросфер (20 %) обеспечивает создание высокоразвитой пористой структуры в керамической матрице с суммарным объемом пор почти в 2 раза большим, чем при использовании смеси глины с золой с тем же содержанием (рис. 6). Что касается характера распределения пор по размерам, то одномодальность кривой распределения для образцов из массы с золой (см. рис. 6, кривая 2) свидетельствует об однородности пористой структуры образцов, в которых преобладают поры размерами 0,5–1,0 мкм. В случае образца с зольными микросферами полимодальность кривой распределения (см. рис. 6, кривая 1) с максимумами для пор размером 0,007, 0,04, 0,27

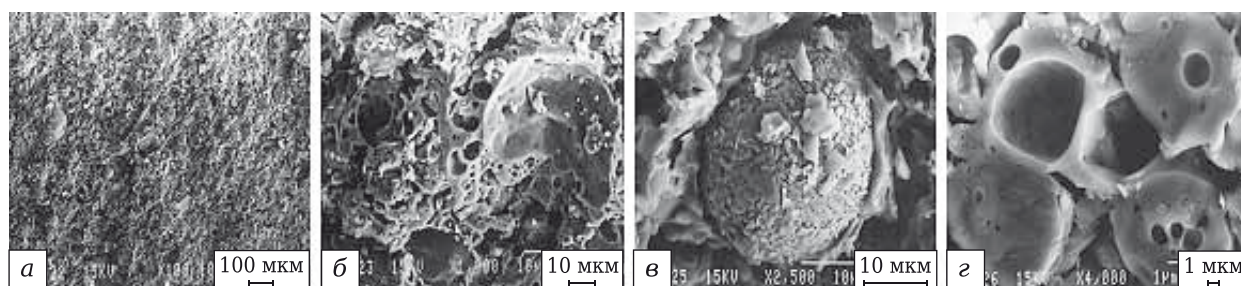


Рис. 4. Микроснимки образцов из смеси глины (70 %) и золы (30 %), обожженных при температуре 1000 °С: а — $\times 100$; б — $\times 1000$; в — $\times 2500$; з — $\times 4000$

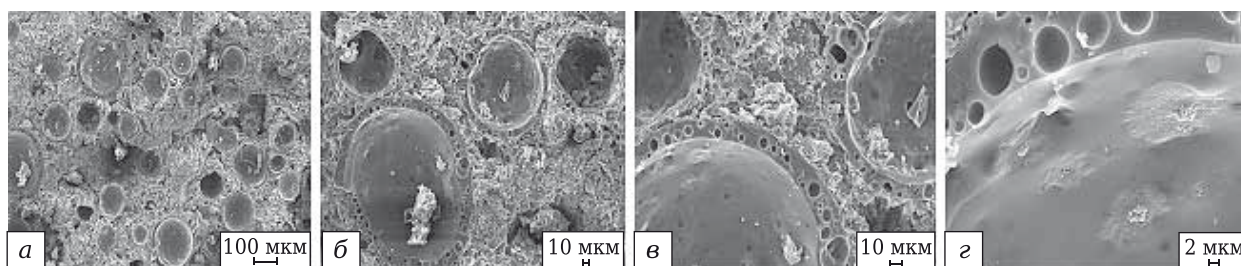


Рис. 5. Микроснимки образцов из смеси глины (80 %) и зольных микросфер (20 %), обожженных при 950 °С: а — $\times 300$; б — $\times 1000$; в — $\times 2000$; з — $\times 3500$

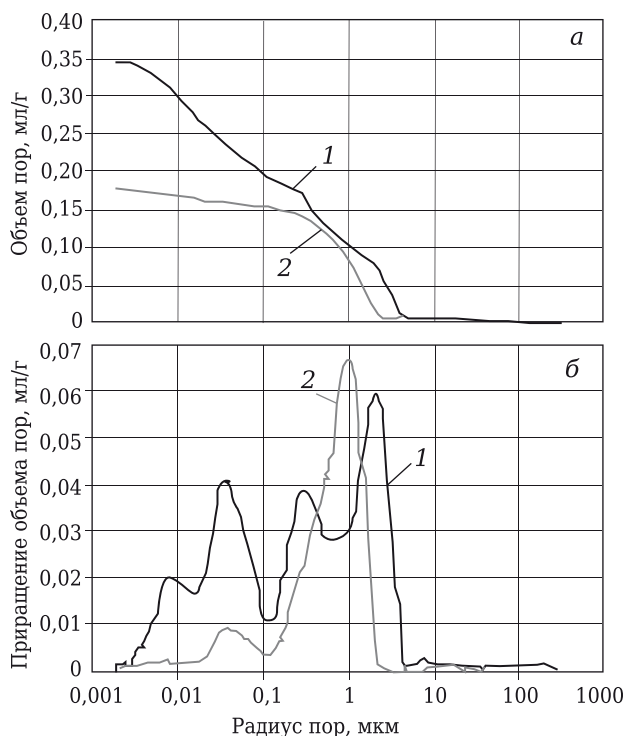


Рис. 6. Распределение объема пор (а) и их приращение по объему (б) в образцах из смеси глины с зольными микросферами (1) и золой (2), обожженных при 950 °С

и 2,20 мкм свидетельствует о размерной неоднородности пористой структуры.

Оценка физико-механических свойств образцов (табл. 2) показала, что при использовании пластической технологии формования изделий перспективными составами для теплоизоляционной керамики являются композиции на основе тугоплавкой глины с добавкой золы-уноса вплоть до 40 мас. %. При этом обеспечивается получение керамических изделий с объемной массой 1370–1650 кг/м³ и пределом прочности при сжатии до 25 МПа.

При использовании зольных микросфер их предельное содержание в композициях с исследуемой глиной ограничивается 20 мас. % из-за ухудшения пластических и, как следствие, формовочных свойств зологлиняных масс. Массы с содержанием до 10 мас. % зольных микросфер можно применять для получения конструкционного теплоизоляционного материала кажущейся плотностью до 1,4 г/см³ и пределом прочности при сжатии до 20 МПа. При увеличении содержания микросфер до 20 мас. % возможно получение керамического материала с пониженной объемной массой (1100–1200 кг/м³) и высокой механической прочностью ($\sigma_{сж} = 11\div 16$ МПа), выполняющего функции эффективного теплоизоляционного материала, теплопроводность которого 0,38–0,49 Вт/(м·К).

Обеспечение высокой прочности продуктов обжига из композиций легкоплавкой глины и

Таблица 2. Оптимальные составы, технологические параметры и свойства теплоизоляционной керамики, изготовленной с использованием золосодержащих отходов

Показатели	Композиции на основе тугоплавких глин с добавками	
	золы	зольных микросфер
Способ изготовления изделий — пластическая технология		
Содержание добавки, мас. %	10–40	10–20
Оптимальная температура обжига, °С	950–1000	950–1000
Свойства изделий		
Кажущаяся плотность, г/см ³	1,37–1,65	1,15–1,45
Средний размер пор, мкм	0,5–1,0	0,007–2
Предел прочности при сжатии, МПа	20–28	12,8–20,8
Теплопроводность при 20 °С, Вт/(м·К)	0,47–0,55	0,40–0,45

зольных микросфер обусловлено улучшением спекаемости образцов вследствие:

- равномерного распределения связующего компонента по всему объему материала между зольными микросферами;
- адгезионного сцепления основной части связующего в сухом состоянии с увлажненной и модифицированной поверхностью микросферы в виде тончайших пленок на стадии формования;
- припекания связки к поверхности микросферы в результате создания легкоплавких эвтектик в пленках за счет внесения в шихту щелочно-земельного компонента с раствором лигносульфоната кальция.

В совокупности все это обеспечивает развитие стеклокристаллического переходного слоя между микросферой и глиняной связкой и, как следствие, повышение прочностных характеристик изделий, поскольку чем тоньше прослойка между элементами керамической структуры, тем выше удельная прочность керамического материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в качестве порообразующего компонента зольных микросфер в комбинации с глинистым сырьем обеспечивает создание высокоразвитой пористой структуры в керамической матрице с суммарным объемом пор в 2 раза большим, чем при использовании золы при одинаковом их содержании. Причем характер распределения пор по размерам в образцах из массы с золой свидетельствует об однородности пористой структуры образцов, в которых преобладают поры размерами 0,5–1 мкм. Образцы с зольными микросферами характеризуются напористой структурой с размерами пор 0,007,

0,04, 0,27 и 2,20 мкм, что свидетельствует о разнообразии их пористой структуры и об эффективности их как теплоизоляционного материала с температурой службы до 1000 °С.

Библиографический список

1. **Kapur, P. C.** Thermal insulations from rice husk ash, an agricultural waste / *P. C. Kapur* // *Ceramics International*. — 1985. — Vol. 11, № 4. — P. 142, 143.
2. **Briga-Sá, A.** Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution / *A. Briga-Sá, D. Nascimento, N. Teixeira* [et al.] // *Construction and Building Materials*. — 2013. — Vol. 38. — P. 155–160.
3. **Carrasco-Hurtado, B.** Addition of bottom ash from biomass in calcium silicate masonry units for use as construction material with thermal insulating properties / *B. Carrasco-Hurtado, F. A. Corpas-Iglesias, N. Cruz-Pérez* [et al.] // *Construction and Building Materials*. — 2014. — Vol. 52. — P. 155–165.
4. **UlHaq, E.** Synthesis and characteristics of fly ash and bottom ash based geopolymers — A comparative study / *E. ulHaq, S. K. Padmanabhan, A. Licciulli* // *Ceramics International*. — 2014. — Vol. 40, № 2. — P. 2965–2971.
5. **Zhang, R.** Porous thermal insulation materials derived from fly ash using a foaming and slip casting method / *R. Zhang, J. Feng, X. Cheng* [et al.] // *Original Research Article, Energy and Buildings*. — 2014. — Vol. 81. — P. 262–267.
6. **Wang, M.-R.** Microstructural and mechanical characterization of fly ash cenosphere/metakaolin-based geopolymeric composites / *M.-R. Wang, D.-Ch. Jia, P.-G. He* [et al.] // *Ceramics International*. — 2011. — Vol. 37, № 5. — P. 1661–1666.
7. **González-Corrochano, B.** Characterization of lightweight aggregates manufactured from washing aggregate sludge and fly ash / *B. González-Corrochano, J. Alonso-Azcóratea, M. Rodas* // *Resources, Conservation and Recycling*. — 2009. — Vol. 53, № 10. — P. 571–581.

* * *

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ «Наука» № 1235.

8. **Jewad, M. A.** The thermal conductivity of pulverised-fuel ash cenospheres / *M. A. Jewad, I. E. Smith, S. D. Probert* // *Applied Energy*. — 1976. — Vol. 2, № 1. — P. 67–77.
9. **Cao, J.** Recycling of waste fly ash for production of porous mullite ceramic membrane supports with increased porosity / *J. Cao, X. Dong, L. Li* [et al.] // *J. Europ. Ceram. Soc.* — 2014. — Vol. 34, № 13. — P. 3181–3194.
10. **Кройчук, Л. А.** Использование нетрадиционного сырья для производства кирпича и черепицы / *Л. А. Кройчук* // *Строительные материалы*. — 2003. — № 6. — С. 19, 20.
11. **Сайбулатов, С. Ж.** Ресурсосберегающая технология керамического кирпича на основе зол ТЭС / *С. Ж. Сайбулатов*. — М. : Стройиздат, 1990. — 248 с.
12. **Вакалова, Т. В.** Управление качеством строительной и теплоизоляционной керамики путем проектирования состава массы / *Т. В. Вакалова, В. М. Погребенков, В. И. Вережagin* [и др.] // *Строительные материалы*. — 2007. — № 2. — С. 27–30.
13. **Вакалова, Т. В.** Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях / *Т. В. Вакалова, В. М. Погребенков* // *Строительные материалы*. — 2007. — № 4. — С. 58–61.
14. **Vereshchagin, V. I.** Utilization of natural and technogenous raw materials of Siberian region in production of the building ceramics and thermal insulating materials / *V. I. Vereshchagin, V. M. Pogrebenkov, T. V. Vakalova* // *Stroitel'nye Materialy*. — 2004. — № 7. — P. 28–32. ■

Получено 04.08.14

© Т. В. Вакалова, Т. А. Хабас, И. Б. Ревва, И. А. Павлова, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



2nd Iranian Refractory Symposium

19-20 May 2015 - Esfahan - Iran



Q&P
Qatar Refractory Steel Co.

Organizer

Iran Refractory Society & Esfahan's Mobarakeh Steel Co

In Collaboration with

Iranian Ceramic Society



Iran Refractory Society

2-й Иранский симпозиум по огнеупорам

19–20 мая 2015 г.

г. Исфахан, Иран

www.conf-refractory.org/en/

В. В. Горбунов (✉), И. Н. Кирпищикова

Богдановичское ОАО «Огнеупоры», г. Богданович Свердловской обл., Россия

УДК 666.974.2+666.762.12]:621.746.328.3.047

ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И ФУТЕРОВКИ ИЗ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ

Рассмотрены некоторые виды продукции Богдановичского ОАО «Огнеупоры», изготавливаемой по бетонной технологии из разработанных на предприятии бетонных смесей. Выпускаемые материалы и изделия успешно эксплуатируются при разливке стали на МНЛЗ.

Ключевые слова: бетонная смесь, сталеразливочный ковш, промежуточный ковш, футеровочные материалы, изделия, бетонная технология.

Одно из направлений современной тенденции развития производства и применения огнеупоров — снижение удельных расходов огнеупоров, особенно в металлургии. В значительной степени это достигается за счет применения новых видов огнеупоров, что позволяет снизить затраты на производство, расход материалов, улучшить качество готовой стали. В Богдановичском ОАО «Огнеупоры» разработан целый спектр бетонных смесей для производства изделий сталевогопускного узла по бетонной технологии — стаканы-дозаторы, стаканы-коллекторы, в том числе в металлической обечайке, гнездовые блоки, плиты для шибберных затворов и др.

Стаканы (форма и размеры по ГОСТ 5500) для сталеразливочного ковша, изготовленные по бетонной технологии из смеси марки СБКБ-С бокситового состава с добавкой карбидкремниевый заполнителя и углерода обеспечивают высокое, стабильное качество разливки стали. Изделия обладают повышенными механической прочностью и абразивостойкостью. Свойство несмачиваемости графита придает им устойчивость к воздействию жидкой стали и шлака. Физико-химические показатели изделий из смеси СБКБ-С:

Массовая доля, %:

Al ₂ O ₃ , не менее.....	55
SiC, не менее.....	20
C, не менее.....	2,8
Fe ₂ O ₃ , не более.....	2,5
CaO, не более.....	2,5

Кажущаяся плотность, г/см³, не менее, после термообработки при 1100 °С.....2,4

Предел прочности при сжатии, МПа, не менее, после термообработки при 1100 °С.....45

Богдановичским ОАО «Огнеупоры» освоено выпуск и внедрена технология изготовления полного комплекта огнеупорных футеровочных материалов

и изделий для промежуточных ковшей, что позволяет снизить удельные затраты на их подготовку и эксплуатацию. В комплект «под ключ» входят бетоны для арматурного слоя футеровки промежуточного ковша, торкрет-массы для нанесения рабочего слоя, гнездовые блоки, стаканы-дозаторы, перегородки, пороги и турбостопы. Наиболее сильному эрозионному воздействию в службе подвержены гнездовые блоки и турбостопы. Корундовый бетонный гнездовой блок, показанный на рис. 1, изготовлен из бетонной смеси марки СБТВ-1, температура применения до 1750 °С. Материал блока обладает повышенной прочностью при высоких температурах. Такие блоки успешно эксплуатируются у потребителей. Физико-химические показатели (норма) изделий из бетонной смеси СБТВ-1 приведены ниже:

Массовая доля на прокаленное вещество, %:

Al ₂ O ₃ , не менее.....	93
MgO, не менее.....	4
Fe ₂ O ₃ , не более.....	0,2
CaO, не более.....	2,0

Кажущаяся плотность, г/см³, не менее, после обжига при 400 °С.....2,8

Предел прочности при сжатии, МПа, не менее, после термообработки при 400 °С.....60

Для повышения эксплуатационного ресурса футеровки промежуточных ковшей, предназначенных



Рис. 1. Корундовый бетонный гнездовой блок



В. В. Горбунов
E-mail: V.Gorbunov@ogneupory.ru

для разливки длинными сериями, необходима организация движения конвективных потоков таким образом, чтобы предотвратить интенсивный их контакт с футеровкой. Для этого используют специальные огнеупорные элементы внутренней конструкции, основным из которых является металлоприемник типа турбостоп (рис. 2), выполняющий одновременно функции приема, гашения потока металла, а также защиты места падения струи (бойного места). Применение турбостопа обеспечивает минимальное поглощение кислорода сталью и улучшенное отделение неметаллических включений. При использовании в процессе выпуска обычной бойной плиты сталь разбрызгивается, а вся ее энергия переходит в турбулентные потоки, провоцирующие появление неметаллических включений.

Металлоприемник типа турбостоп изготавливается из бетонной смеси марки СБТВ-1 с температурой применения до 1750 °С или СБТВ-70 с температурой применения до 1650 °С. Физико-химические показатели материала турбостопа приведены в таблице.

Другое изделие для промежуточных ковшей — крупногабаритная сборная крышка, футеровка которой выполнена по бетонной технологии в металлической конструкции по чертежу заказчика. Изделие особенно востребовано для МНЛЗ. В процессе разработки технологии изготовления крышки решались сложные задачи создания стойкой футеровки, работающей при высоких температурах, подвергающейся механической деформации и термоудару, удовлетворяющей соблюдению графика и серийности разливок. В значительной мере основанием для изготовления крышек послужило отсутствие возможности сушки и термообработки монолитной бетонной футеровки в условиях предприятия заказчика. Монолитная футеровка крышки (рис. 3) выполнена из бетонной бокситовой смеси марки СББ-1, температура применения до 1700 °С. Характеристика материала из бетонной смеси СББ-1 приведена ниже:

Массовая доля, % (на прокаленное вещество):

Al_2O_3 , не менее.....70

Fe_2O_3 , не более.....3

CaO, не более.....2

Зерновой состав, %:

остаток на сетке № 6, не более.....5

Кажущаяся плотность, г/см³, на образцах бетона, не менее, после термообработки при температуре, °С:

110.....2,45

1550.....2,50

Предел прочности при сжатии, МПа, на образцах бетона, не менее, после термообработки при температуре, °С:

110.....45

1550.....100

Богдановичское ОАО «Огнеупоры» тесно сотрудничает с потребителями, осуществляет инженеринговое сопровождение продукции и авторский надзор, разработку бетонных смесей новых соста-

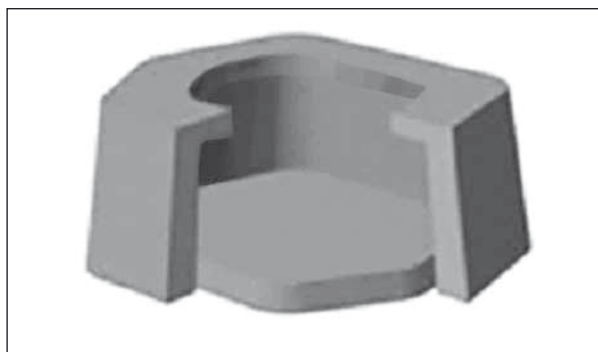


Рис. 2. Металлоприемник типа турбостоп

Физико-химические показатели образцов из бетонных смесей СБТВ-1 и СБТВ-70

Показатели	СБТВ-70	СБТВ-1
Массовая доля, % (на прокаленное вещество):		
Al_2O_3 , не менее	75	—
$Al_2O_3 + MgO$, не менее	—	97
Fe_2O_3 , не более	2	0,2
CaO, не более	2	2
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее, после обжига при температуре, °С:		
1500	—	3,0
1580	2,7	—
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее, после термообработки при температуре, °С:		
1500	—	150
1580	120	—



Рис. 3. Элемент крышки для промежуточного ковша, футерованной по бетонной технологии

вов по заданным характеристикам, дизайн проектов футеровок тепловых агрегатов и их элементов, изделий. Наиболее значимое направление деятельности предприятия — выявление проблем и задач по применению огнеупоров у потребителя, принятие технологических решений, осуществление шефмонтажа футеровок.

В настоящее время разработанные огнеупорные бетонные изделия успешно эксплуатируются на многих металлургических предприятиях. ■

Получено 31.10.14

© В. В. Горбунов,

И. Н. Кирпищикова, 2014 г.

Д. х. н. А. В. Беляков¹ (✉), С. И. Церман² (✉)¹ ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия² ГК «Адель», Москва, Россия

УДК 666.3/7:621.9

СТРУКТУРИРОВАНИЕ АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ В ИНСТРУМЕНТЕ ПУТЕМ АГРЕГАЦИИ РЕЖУЩИХ ЗЕРЕН

Исследованы процессы резания особо твердых материалов (огнеупоров, бетонов, керамики, монокристаллов) и относительно «мягких» огнеупоров и природных камней кругами с двумя типами конструкций алмазonoсного слоя: кластерной (мелкие агрегаты с высокоплотным распределением алмазов) и фрагментарной (крупные агрегаты со значительно менее плотным распределением алмазов). Получено одновременное повышение скорости резания и стойкости по сравнению с показателями при традиционном равномерном распределении алмазов. Кластерная конструкция эффективна для резания особо твердых материалов, а фрагментарная — более мягких.

Ключевые слова: огнеупоры, алмазное резание, структура сегмента, агрегаты из алмазов.

Алмазную обработку изделий из хрупких неметаллических материалов, в частности огнеупоров, применяют, как правило, на конечных операциях технологического процесса, а также при монтаже и демонтаже нагревательного оборудования. Обработка огнеупоров включает такие операции, как резка, сверление, фрезерование, шлифовка; при этом резку применяют чаще других операций. Обычно ее производят на стационарных установках для циркулярной резки при помощи алмазных отрезных кругов, чаще всего — сегментных [1]. При этом режущий слой инструмента представлен его элементами — алмазосодержащими сегментами. Имеющиеся конкретные рекомендации по конструкции режущего слоя (например, [2]) регламентируют качество и размер алмазов, а также состав матрицы сегментов, удерживающей зерна. При этом подразумевают случайное распределение алмазов в связке постоянного состава. В технической литературе [3] и в рекомендациях фирм — производителей алмазного инструмента упоминаются более сложные структуры сегментов: сэндвич-структура с вертикальными слоями, отличающимися различной концентрацией алмазных зерен и, возможно, составом связки; структура с чередующимися вертикальными алмазными и безалмазными слоями; структура с повышенной концентрацией алмазов во фронте сегментов. Эти структуры технологически обеспечиваются по-

слойной засыпкой различной по составу шихты для прессования, что не является затратным. В последнее время большой популярностью пользуются конструкции, характеризующиеся упорядоченной послойной укладкой зерен в сегментах. Структура чрезвычайно эффективна в инструменте, однако этот процесс непроизводителен и дорог в исполнении. О сложно-структурированных сегментах сообщают корейские фирмы EHVA и SHINHAN. Судя по информации из рекламы, созданные ими структуры, названные авторами соответственно ZENESIS и X-Wing, сочетают сложное распределение как алмазов, так и металлических связующих, но технические, а тем более технологические подробности отсутствуют.

Ранее на производственной базе фирмы «Адель» были проведены исследования по разработке структуры сегментов универсального назначения для резки огнеупоров. Основой их конструкции являлось такое концентрирование режущих зерен в агрегатах, которое было несложно технологически обеспечить. Размеры этих агрегатов на порядок и более превосходили размер зерна, причем в «межагрегатном пространстве» в сегментах не содержалось алмазов. Технологически такую структуру реализовать также несложно. Результаты этих работ приведены в статье [4]. Дальнейшие исследования алмазной обработки этим инструментом не только огнеупоров, но и других хрупких материалов (природный камень, бетон, твердые монокристаллы) привели к перспективности изучения двух типов агрегирования зерен.

Цель данной работы — изучение поведения алмазных инструментов с агрегатами различной структуры, отличающимися размером и плотностью расположения в них алмазов, при резании бадделеитокорундовых огнеупоров.



А. В. Беляков

E-mail: av_bel@bk.ru

С. И. Церман

E-mail: cs@adelinfo.ru

В первом типе алмазные агрегаты (названные «кластерами») состояли примерно из 10 отдельных алмазных зерен, расстояние между которыми минимально возможное. Кластеры покрыты относительно тонкой оболочкой твердой износостойкой связки и расположены в мягкой металлической связке аналогично отдельным алмазным зернам. Концентрация кластеров в штуках на кубический сантиметр определяется размером алмазов, их общей концентрацией и средним количеством зерен в кластере. При износе мягкой связки в процессе резания кластеры выступают над ее поверхностью и внедряются в обрабатываемый материал (огнеупор) сразу несколькими зернами (рис. 1).

Во втором типе алмазы собраны в более крупные агрегаты (названные фрагментами), но с гораздо меньшей, чем в кластерах, хотя и относительно высокой, концентрацией.

Твердость и стойкость связки внутри фрагмента выбирали в зависимости от обрабатываемого материала и заданной интенсивности процесса обработки. Фрагменты расположены в мягкой матричной связке. Концентрация алмазов во фрагментах определяется общим содержанием алмазов в сегменте и концентрацией в нем фрагментов. При износе мягкой связки в процессе резания между фрагментами стружкой «вымываются» пазы, облегчающие ее удаление из рабочей зоны. При этом фрагменты играют роль мини-сегментов, что приводит к повышению режущей способности инструмента (рис. 2).

Рассмотрение процесса резания наглядно показывает его зависимость от типа структуры слоя. Поскольку единичным актом в процессе резания является снятие стружки, находящейся между двумя последовательно расположенными зернами, то при одинаковом общем содержании алмазов каждому

из приведенных двух типов формирования слоя соответствует характерная форма стружек. При неупорядоченном, случайном распределении алмазов, когда в первом приближении расстояния между зернами сопоставимы, все стружки имеют близкий размер. При создании в сегменте алмазных фрагментов, внутри которых алмазы сближены, образуются два вида стружек: от «внутрифрагментных» алмазных зерен с небольшими размерами и от самих «фрагментов», более крупных. Смешивание потоков таких стружек приводит к повышению эффективности процесса.

При применении кластеров с высокой концентрацией алмазов микростружки от вплотную расположенных «кластерных» алмазов сразу объединяются в макростружку, выходящую из-под всего кластера. Эта схема напоминает первую, но кластер имеет несколько одновременно режущих зерен, поэтому он менее склонен как к затуплению, так и к износу. Схемы стружкообразования для традиционной (с неупорядоченным расположением алмазов) конструкции и агрегированных конструкций обоих типов на базе материалов [5] показаны на рис. 3.

Разработанные конструкции сегментов были успешно опробованы при резке сегментными отрезными кругами природного камня различной твердости. При этом было установлено, что оба типа структурированных конструкций режущего слоя продемонстрировали как повышенную режущую способность, так и более высокую стойкость по сравнению с традиционной конструкцией алмазоносного слоя [6, 7]. Кроме того, зафиксировано:

1. Для мягких пород (габбро) эффективны традиционная и фрагментная конструкции (последняя показала повышенный ресурс инструмента), кластерные сегменты оказались склонны к затуплению.

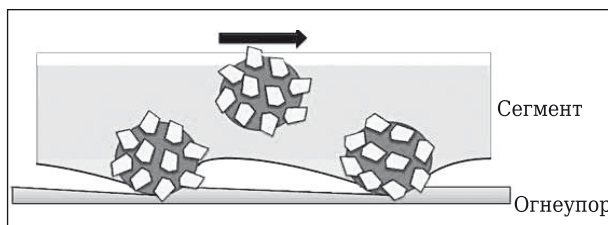


Рис. 1. Принцип работы сегмента с кластерной конструкцией алмазного слоя в алмазном режущем инструменте

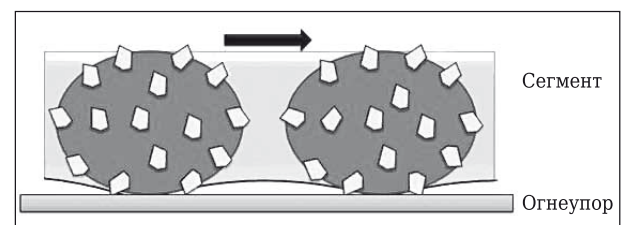


Рис. 2. Принцип работы сегмента с фрагментарной конструкцией алмазного слоя в алмазном режущем инструменте

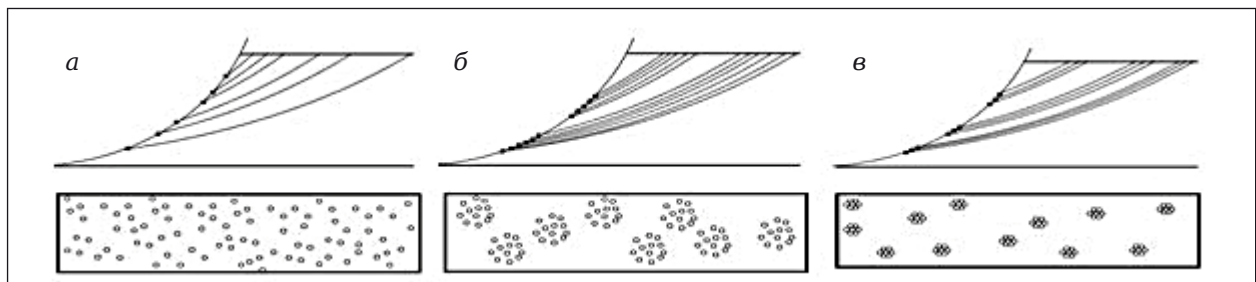


Рис. 3. Схематическое изображение строения и стружкообразования в традиционной конструкции алмазоносного слоя (а), фрагментарной (б) и кластерной конструкции (в) [5]

2. Для пород средней твердости оптимальное сочетание стойкости и режущих свойств показал инструмент с фрагментарным рабочим слоем.

3. Для твердых пород при близких значениях стойкости скорость резания инструмента с кластерными сегментами оказалась выше, чем у кругов с фрагментарными сегментами.

Лабораторные испытания разработанного инструмента проводили на операции резки бруса из твердого бадделеитокорундового огнеупора марки Бк-38. Для испытаний сконструировали и изготовили серию из трех отрезных кругов с сегментами примерно одинакового общего состава: алмазы — АС300, зернистость — 400/315 мкм, общая концентрация — 25. Связка металлическая двойная: твердый компонент на базе Fe-Co-Ni (25 мас. %), мягкий компонент на базе бронзы. Спекание проводили в режиме горячего прессования при 905 °С и давлении 35 МПа. Спеченные сегменты напаивали на корпус по ГОСТ 16115. Условное обозначение инструмента представлено на рис. 4.

Обозначение кругов: М1 — конструкция стандартная (случайное распределение алмазов), М2 — фрагментарная конструкция, М3 — кластерная конструкция.

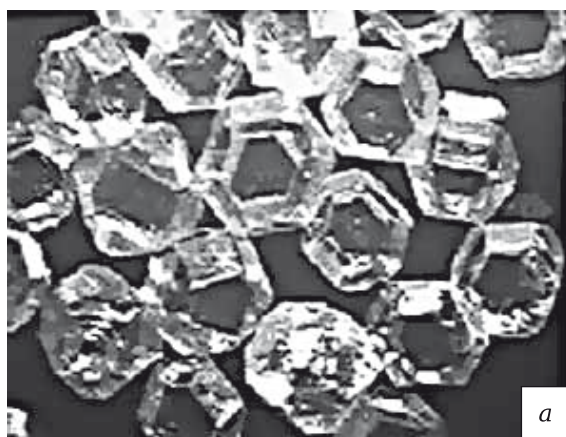


Рис. 4. Алмазное сырье (а) и готовый инструмент 1F1RSS/C2 ($z = 25$) 300×3,2×10×50 (б)

Резку бадделеитокорундового огнеупора проводили при помощи настольной установки. Мощность двигателя 2 кВт. Частота вращения оси 2000 об/мин (37 м/с). Подачу подвижного столика с образцом осуществляли при помощи системы грузов (силовой режим), смазывающе-охлаждающая жидкость (СОЖ) — вода, расход — 3,5 л/мин. При разработке методики исследования использовали данные работы [8]. Исследования состояли из двух частей. В первой части проводили оценку режущих свойств инструмента. Последовательно повышая контактное давление в зоне резания при помощи разновесов на блоке тележки, фиксировали скорость перемещения столика. Результаты представлены на рис. 5. Зависимости скорости резания от нагрузки для всех кругов имеют форму параболы. При этом восходящая ветвь ее связана с возрастанием нагрузки до величины, еще не приводящей к интенсивному износу и разрушению алмазов. Нисходящая ветвь обусловлена превышением критической нагрузки. В области нагрузок, близкой к максимумам на кривых, выбирают оптимальные режимы для эксплуатации инструмента. Как видно из графика, эти области для испытываемых кругов не совпадают.

Во второй части исследования для определенных в первой части значений оптимальной нагрузки на инструмент определяли такое важное свойство, как стойкость. Для этого при установленных в первой части исследований оптимальных значениях задаваемых разновесами силовых нагрузок проводили несколько резов. При помощи штангенциркуля измеряли величины линейного износа сегментов Δh . Площадь реза (напил) определяли пропорционально сечению образца и количеству пропилов. Удельную стойкость инструмента s определяли как расход алмазов в инструменте в каратах (кар) на 1 м² площади реза. Согласно [9] для концентрации алмазов 25:

$$S = 1,1 blz\Delta h/(sn),$$

где S — площадь сечения образца, м²; b — ширина сегмента, см; l — длина сегмента, см; z — количество сегментов в круге; Δh — линейный износ сегментов, см; s — удельный расход алмазного отрезного круга, кар/м²; n — количество пропилов.

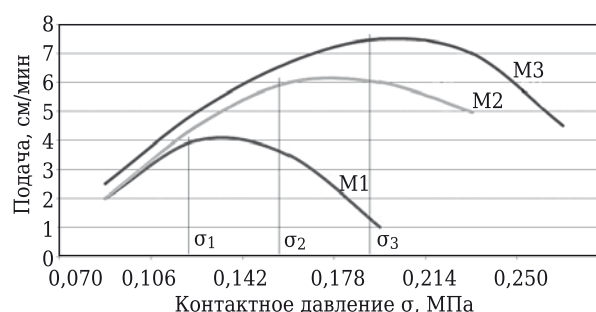


Рис. 5. Результаты исследования режущих свойств отрезных кругов с сегментами различной конструкции

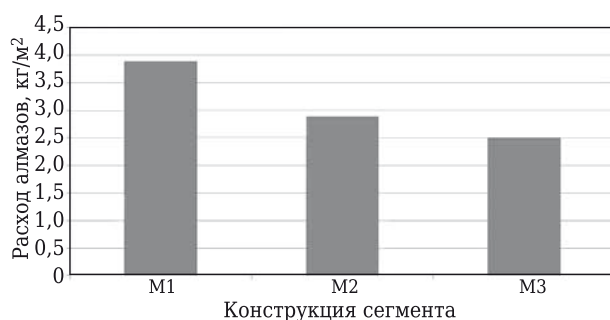


Рис. 6. Стойкость инструмента (расход алмазов) в зависимости от конструкции сегментов

Обычно, чем выше значение удельного расхода алмазов в инструменте, тем ниже его стойкость. По результатам тестирования трех кругов построена диаграмма (рис. 6). Результаты испытаний приведены в таблице.

В результате проведенных исследований выявлено влияние структуры алмазоносного слоя на эксплуатационные свойства инструмента, причем зафиксировано одновременное повышение и скорости резания, и стойкости по сравнению с показателями при традиционном равномерном распределении алмазов (обычно повышение скорости резания приводит к уменьшению стойкости).

Библиографический список

1. **Беляков, А. В.** Процесс резания алмазным инструментом хрупких неорганических неметаллических материалов с позиций синергетики / *А. В. Беляков, С. И. Церман* // Новые огнеупоры. — 2014. — № 3. — С. 106–118.
2. Алмазно-абразивный инструмент. Укрупненные нормы расхода. — М.: ВНИИТЭМР, 1989. — 52 с.
3. **Konstanty, J.** Cobalt as a matrix in diamond impregnating tools for stone sawing applications / *J. Konstanty*. — Krakow: Wydawnictwa AGH, 2002. — 158 p.
4. **Беляков, А. В.** Резание багора сегментным инструментом с кластерным расположением алмазов / *А. В. Беляков, С. И. Церман* // Новые огнеупоры. — 2011. — № 5. — С. 34–37.
5. **Pyun, S. P.** Study for cutting performance in arrayed diamond saw blade / *S. P. Pyun, H. W. Lee, J. H. Park* // 1st International Industrial Diamond Conference, 20–21 October 2005 Barcelona.
6. **Беляков, А. В.** Кластерное расположение алмазов в сегментах для механической обработки природных и искусственных хрупких неметаллических материалов /

Характеристики процесса резания и стойкости отрезных кругов с сегментами различной конструкции

Конструкция сегмента	Диапазон рабочих нагрузок, МПа	Оптимальная рабочая нагрузка, МПа	Стойкость инструмента, кар/м²
M1	0,09–0,14	0,11	3,9
M2	0,12–0,20	0,14	2,9
M3	0,12–0,23	0,18	2,5

Инструмент предложенных типов конструкций опробован на различных материалах: огнеупорах, природном камне, бетоне, монокристаллах, а также при проведении различных операций: резки, сверления и шлифовки.

Исследования показали, что сегменты с кластерной конструкцией алмазоносного слоя наиболее эффективны для резки, фрезерования или сверления особо твердых материалов (огнеупоров, бетонов, керамики, монокристаллов). Применение фрагментарной конструкции предпочтительно для резки и шлифовки менее твердых материалов («мягких» огнеупоров и природного камня).

А. В. Беляков, С. И. Церман // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2011. — Вып. 11. — С. 247–252.

7. **Беляков, А. В.** Структурирование алмазоносного слоя в инструменте для резки природного камня / *А. В. Беляков, С. И. Церман* // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова», 2014. — Вып. 14. — С. 203–208.

8. **Першин, Г. Д.** Исследование силовых режимов распиловки природного камня алмазно-дисковым инструментом / *Г. Д. Першин, В. В. Сердюков, М. Ю. Гуров* // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. — Магнитогорск: МГТУ, 2001. — Вып. 1. — С. 119–129.

9. ГОСТ 9206–80. Порошки алмазные. Технические условия. — М.: Изд-во стандартов. — 56 с. ■

Получено 12.11.14

© А. В. Беляков, С. И. Церман, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

10-Я ЕВРОПЕЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОМЫШЛЕННЫМ ПЕЧАМ И БОЙЛЕРАМ

10th EUROPEAN CONFERENCE

ON INDUSTRIAL FURNACES & BOILERS

7–10 апреля 2015 г.

г. Вила-Нова-ди-Гая, Португалия



УДК 666.762.43.022.2

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА СОСТАВ ПОВЕРХНОСТИ И СПЕКАНИЕ ХРОМИТА

Исследован процесс измельчения хромитового концентрата в аппаратах с различными способами помола и энергонапряженностью. Установлено, что способ измельчения обуславливает разную структуру поверхности тонких частиц хромита, различный характер и величину микродеформаций в частицах и их различную химическую активность. Способ помола практически не влияет на фазовый состав материала. На поверхности частиц хромита, подвергнутого тонкому помолу, в слое толщиной более 50 Å находятся силикаты магния, полностью экранирующие хромшпинелид.

Ключевые слова: хромит, энергонапряженность, тонкий помол, микродеформации, области когерентного рассеяния, состав поверхности, спекание.

Состояние и состав поверхности оказывают существенное влияние не только на физико-химические и технологические свойства оксидных материалов в процессе производства формованных и неформованных огнеупоров, но и на их эксплуатационные свойства в различных тепловых агрегатах. Такие процессы, как смачивание, растекание, пропитка и другие, возникающие на контакте огнеупорный материал – расплав во многом зависят от состояния поверхности, ее химического состава и способности атомов к взаимодействию с расплавами.

Поверхность реальных твердых тел редко бывает однородной. Для таких поверхностей характерны два состояния — неоднородные по химическому составу и разной структуры [1]. В этом отношении природный хромит сочетает в себе обе разновидности: по химическому составу он является комплексом далеко не стехиометрических соединений, а по структуре сложен различными минеральными фазами. Различия могут быть очень большими, особенно для кристаллических фаз, имеющих малую степень симметрии, в которых поэтому анизотропные свойства проявляются особенно резко.

Ранее [2] установлено влияние способов помола плавящихся Al_2O_3 , MgO и $MgAl_2O_4$ на их спекание и влияние состава поверхности на процессы формирования структуры.

В настоящей работе применяли хромитовый концентрат производства АО ТНК «Казхром» марки ХК-2, отвечающий требованиям ТУ 0741-002-51824642-2003. Фазовый состав концен-

трата, мас. %: хромшпинелид 70–77, серпентин 15–20, форстерит 2–5, аморфная фаза 2–5. Концентрат производится в виде зернистого продукта фракции 5–0 мм.

Гранулометрический состав тонкомолотых порошков определяли методом фотоседиментации на лазерном седиментографе «Sed-Auto-Graph-02» фирмы «Shimadzu» по ГОСТ 22662.

Истинную плотность порошков определяли пикнометрическим методом согласно ГОСТ 2211, удельную поверхность — хроматографическим методом тепловой десорбции инертного газа аргона (метод БЭТ) по ГОСТ 23401 и предложенным в работе [3].

Фазовый состав материалов определяли на рентгеновском дифрактометре «MiniFlex 300/600» (Rigaku Co., Япония) с $CuK\alpha$ -излучением. Скорость съемки 2 град/мин, напряжение анод – катод 40 кВ, анодный ток 15 мА, интервал съемки 3–90° с шагом 0,01°. Для идентификации фаз и определения параметров кристаллической решетки использовали программный пакет PDXL (Rigaku Co.) и данные картотеки JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards, 7-е издание, 2001 г.).

Величина минимальной плотности дислокаций ρ , $см^2$, в материале оценивается из соотношения [4]

$$\rho = 3/D,$$

где D — размер областей когерентного рассеяния (ОКР), см,

или по квадратичной зависимости плотности дислокаций ρ от истинного расширения линий β из соотношения [5]

$$\rho = A\beta^2,$$

где A — коэффициент, зависящий от упругих свойств материала и характеристики дислокаций (вектора Бюргерса), величина A равна при-



К. Г. Земляной
E-mail: kir77766617@yandex.ru

близительно $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$; β — истинное расширение линий рентгеновского спектра, рад [5].

Химический анализ поверхности проводили методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) [6]. Полученные в результате экспериментов порошки исследовали на приборе VG ESCALAB HP (Vacuum Generators Scientific, Великобритания). В качестве материала анода для генерации рентгеновского излучения использовали $\text{AlK}_{\alpha 1,2}$ ($E_{h\nu} = 1456,6 \text{ эВ}$) в диапазоне энергий связи 0–1350 эВ с шагом 0,7 эВ и энергией пропускания спектрометра 100 эВ. Калибровку энергий связи спектрометра проводили по линии $\text{Au}4f_{7/2}$ (84,0 эВ); погрешность измерения энергии связи составляла 0,1 эВ; спектральное разрешение 0,8–0,9 эВ. Поправку на зарядку образца вводили по энергии 1s-линии углерода (284,5 эВ). Количественный анализ состава поверхности проводили на основе определения площадей линий выделенных элементов с учетом теоретически рассчитанных сечений фотоионизации данных линий. Такой подход позволяет оценить содержание элементов на поверхности с точностью 1,0 ат. %. Глубина анализа РФЭС составляет 3–5 нм поверхностного слоя. Ионное травление поверхности осуществляли в камере анализатора спектрометра с помощью ионной пушки: энергия пучка ионов Ar^+ составляла 5 кэВ, ток пучка 20 мкА. Оценочная толщина удаленного за 20 мин травления поверхностного слоя 100 нм.

Морфологические характеристики (форму и размер частиц) исследуемых порошков определяли с использованием сканирующего электронного микроскопа JSM-740 фирмы «Jeol» (Япония) с ускоряющим напряжением электронного пучка 10–15 кВ, рабочим расстоянием съемки 20–40 мм и увеличением до 15000 раз. Изображение образцов регистрировалось на компьютере и обрабатывалось с помощью пакета SIAMS Photolab [7].

Первичное измельчение концентрата до фракции мельче 0,1 мм проводили в металлической шаровой мельнице металлическими мелющими телами, после чего материал подвергали отжигу при 1000 °С в течение 2 ч для снятия остаточных напряжений. Тонкий помол хромита проводили в струйной и вибрационной мельницах до максимального размера частиц менее 80 мкм. Распределение частиц по размерам в порошках хромита после помола показано на рис. 1.

Порошок хромита после вибрационного помола представлен угловатыми и полуокатанными зернами изометричной формы. Грани и ребра неровные, окатанные, имеются точечные и локальные дефекты поверхности. После струйного помола порошок представлен оскольчатными и углова-

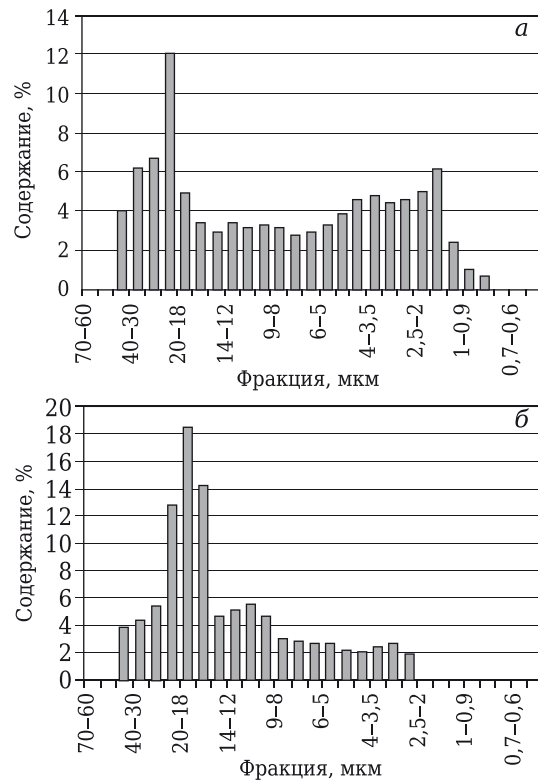


Рис. 1. Распределение зерен по размерам в порошках хромита после помола в вибрационной (а) и струйной (б) мельницах

тыми зернами неправильной формы. Грани ровные, четкие.

Из рис. 1 следует, что размер частиц после струйного помола во всех случаях больше размера частиц, полученных вибрационным измельчением. Например, содержание частиц фракции 5–30 мкм в продукте измельчения в вибрационной мельнице составляло 52,1, а в продукте после струйной мельницы 81,0 мас. %. Порошки хромита после тонкого измельчения в вибрационной мельнице содержат 10,5 мас. % зерен фракции мельче 2 мкм, что обеспечивает их высокую удельную поверхность. Среднее значение удельной поверхности хромита составило 3,0 и 2,6 м²/г соответственно после измельчения в вибрационной и струйной мельницах.

Химический состав исходного концентрата (после первого измельчения в шаровой мельнице) и после тонкого помола представлен в табл. 1, из которой следует, что измельчение в разных

Таблица 1. Химический состав хромита после первого измельчения, до и после тонкого помола

Хромит	Содержание, мас. %								магнитный материал	С
	Al_2O_3	MgO	Cr_2O_3	CaO	SiO_2	Fe_2O_3	R_2O			
Исходный	9,63	13,87	51,15	0,92	5,85	13,42	0,52		2,52	0,10
Тонкомолотый в мельнице:										
вибрационной	9,58	13,75	50,87	0,88	5,81	13,23	0,76		2,44	0,07
струйной	9,71	13,61	50,99	0,67	5,69	12,99	0,89		2,51	0,09

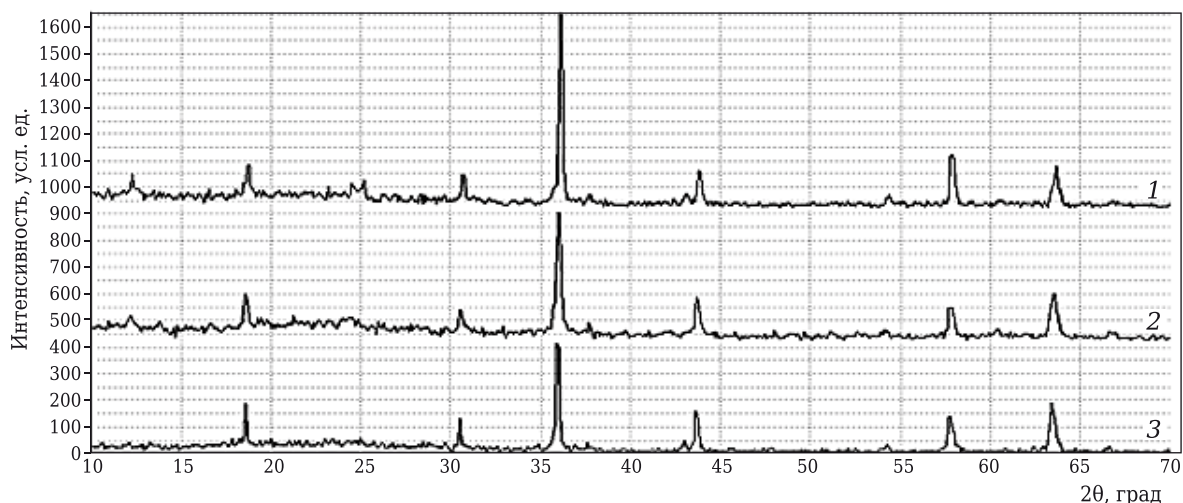


Рис. 2. Обзорные спектры порошков хромита: 1 — исходного; 2 — после вибрационного помола; 3 — после струйного помола

мельницах не повлияло заметно на валовой химический состав измельченного продукта.

Рентгенограммы тонкомолотых порошков хромита представлены на рис. 2, результаты оценки параметров кристаллической решетки приведены в табл. 2, а оценка величины D областей когерентного рассеяния (ОКР), микродеформаций $\Delta d/d_{hkl}$ и минимальной плотности дислокаций ρ — в табл. 3. Из представленных материалов следует, что зерна хромита в процессе тонкого измельчения практически не подвергаются заметному разупорядочению, параметры их кристаллических решеток остаются неизменными независимо от способа измельчения.

Оценки величин ОКР для всех исследуемых материалов дают значения, близкие к величинам размеров частиц, рассчитанных по данным измерения удельной поверхности порошков. Анализ величин ОКР, микродеформаций и минимальных плотностей дислокаций в исследуемых порошках показывает, что порошки, подвергнутые вибрационному помолу, имеют вклад в физическое уширение рефлексов преимущественно за счет накопления микродеформаций структуры, а порошки, измельченные в струйной мельнице, — преимущественно за счет уменьшения размеров частиц.

Таблица 2. Параметры решетки порошков хромита

Хромит	Фаза	Параметры решетки, нм	
		табличные	экспериментальные
Исходный	(Mg,Fe)(Cr,Al) ₂ O ₄	0,8277	0,8225
Тонкомолотый в мельнице:			
вибрационной	(Mg,Fe)(Cr,Al) ₂ O ₄	0,8277	0,8276
струйной	(Mg,Fe)(Cr,Al) ₂ O ₄	0,8277	0,8246

Обзорные спектры поверхности образцов исходного хромита и после тонкого помола представлены на рис. 3, из них следует, что на поверхности частиц в слое толщиной 50–70 Å находятся в основном атомы Mg, Si и O, а также следы Al, Fe и C. Однако в порошке после струйного помола интенсивность линий хрома и железа несколько выше.

Основные доминирующие компоненты на поверхности порошков — магний, кремний и кислород (рис. 4). Содержание других элементов (Al, Cr, Fe) примерно на порядок ниже. Следует отметить, что состав поверхности порошков, измельченных разными способами, практически одинаков. После струйного помола концентрация атомов хрома на поверхности частиц порошка почти в 3 раза выше.

Таблица 3. Оценка размеров ОКР и величина микродеформаций

Хромит	hkl	2θ , град	$\theta_{\alpha 1}$, град	$\theta_{\alpha 2}$, град	$FWHM^*$, 2θ , град	$FWHM_1/FWHM_2$	D , нм	$\Delta d/d_{hkl}$, 10^4	ρ , 10^{-4} см^{-2}
Исходный	022	30,50	15,25	15,30	0,0039	1,08	437	39,9	6,3
	44	63,30	31,65	31,75	0,0036				
Тонкомолотый в мельнице:									
вибрационной	022	30,70	15,35	15,39	0,0085	0,51	217	86,4	13,8
	044	63,57	31,79	31,88	0,0166				
струйной	022	30,50	15,25	15,29	0,0066	0,83	278	67,6	10,8
	044	63,43	31,72	31,82	0,0080				

* Истинная полуширина линии рентгеновского спектра.

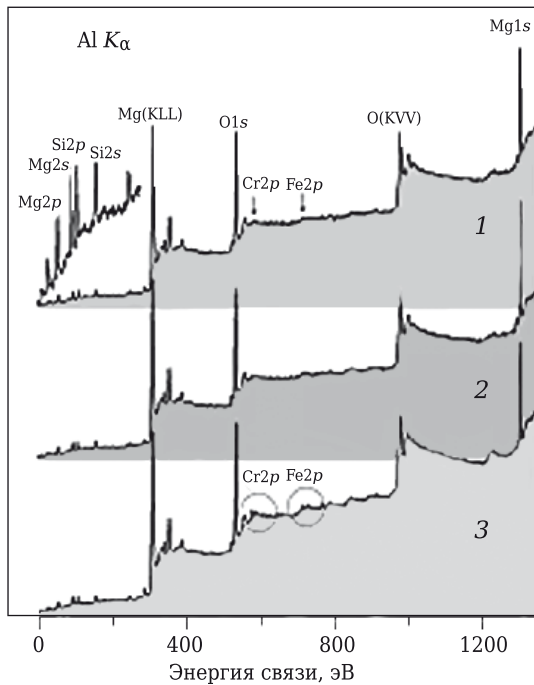


Рис. 3. Обзорные спектры хромита после вибрационного (1), струйного (2) и исходного (3) помола

Более подробно на рис. 5 представлен участок спектра от 34 до 194 эВ, на котором присутствует набор характерных линий Mg, Si и Al.

Из установленных значений энергии связи следует, что на поверхности частиц магний находится в степени окисления 2^+ и позиция магния в спектре Mg1s отличается от таковой в оксиде магния. Аналогичные результаты для линии Si2p, которая сдвинута в сторону низких энергий связи относительно положения в высшем оксиде кремния и отвечает состояниям кислорода в силикатах.

Для определения толщины слоя силиката на поверхности частиц хромита, измельченного в вибрационной мельнице, провели аргонное травление в течение 20 мин, что соответствует глубине травления 50 Å (рис. 6, 7). После аргонного травления состав атомов на поверхности частиц не изменился, однако снизилась интенсивность рефлексов магния и кремния и повысилась интенсивность рефлексов хрома и железа.

Максимум от линии алюминия позволяет оценить положение Al2p как 73,0 эВ, что предполагает его расположение в степени окисления (3^+), но не в структуре оксида, а в составе сложного соединения (шпинелида, шпинели).

Таким образом, на поверхности зерен хромита после тонкого помола находятся силикаты магния в слое толщиной более 50 Å, полностью экранирующие хромшпинелид. На поверхности порошка хромита струйного помола концентрация атомов Cr и Fe в 2 раза выше, чем на поверхности порошка вибрационного помола.

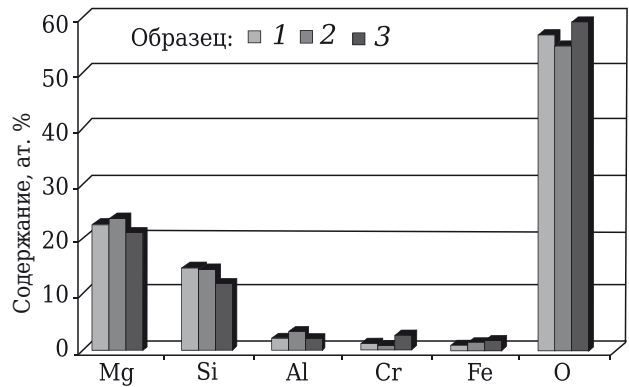


Рис. 4. Содержание атомных концентраций на поверхности порошков хромита после вибрационного (1), струйного (2) и исходного (3) помола

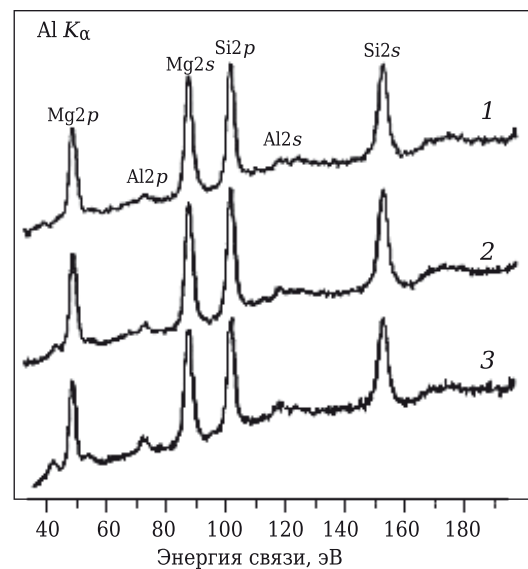


Рис. 5. Участок спектра с рефlekсами Mg, Al и Si порошков после вибрационного (1), струйного (2) и исходного (3) помола

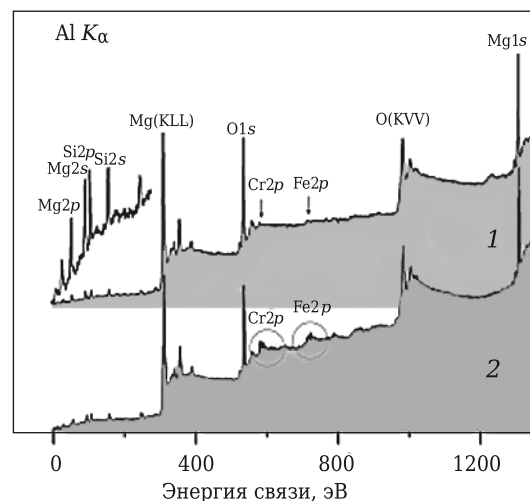


Рис. 6. Обзорные спектры порошка хромита после вибрационного помола до (1) и после (2) травления катионом Ar^+ в течение 20 мин

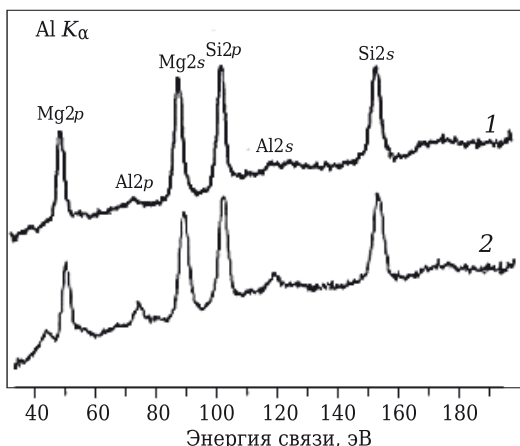


Рис. 7. Обзорные спектры участка 35–195 эВ порошка хромита после вибрационного помола до (1) и после (2) травления катионом Ag^+ в течение 20 мин

Образцы, сформованные из тонкодисперсных порошков хромита, обжигали в лабораторной муфельной печи с хромитлантановыми нагревателями при 1700 °С. Изменение свойств образцов при нагревании показано на рис. 8. Интенсивная усадка образцов из хромита начинается выше 1400–1500 °С (рис. 8, а), причем образцы, сформованные из порошка, измельченного в вибрационной мельнице, спекаются

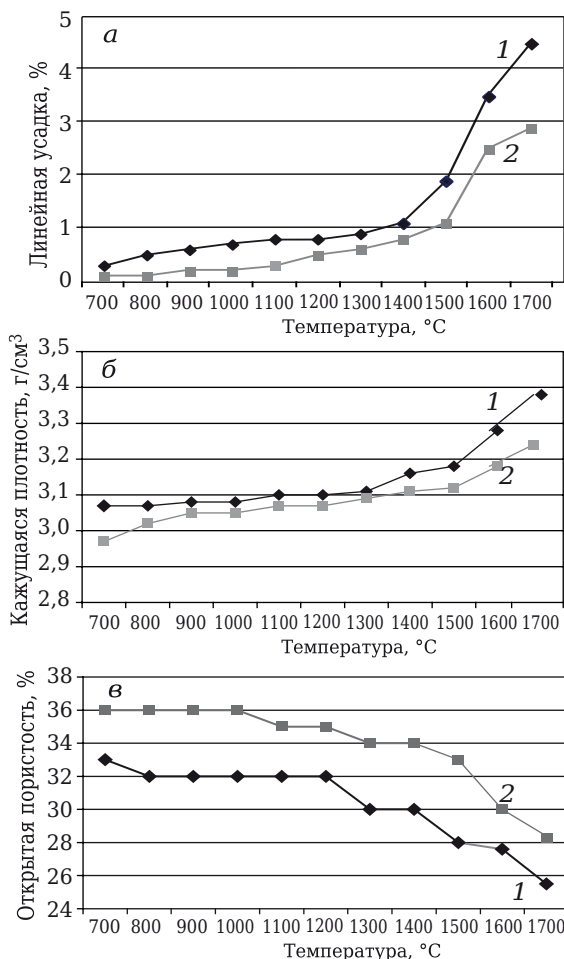


Таблица 4. Свойства исследуемых образцов после обжига при 1700 °С

Показатели	Способ помола	
	вибрационный	струйный
Открытая пористость, %	25,5	28,4
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,38	3,24
Предел прочности при сжатии, МПа	54	35

лучше. Конечные свойства образцов из тонкодисперсных порошков после обжига при 1700 °С представлены в табл. 4.

Полученные экспериментальные данные в дальнейшем были использованы в разработке технологии производства стартовых смесей [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс измельчения твердого тела в аппаратах с различными способами измельчения и энергонапряженностью обуславливает различные зерновой состав, форму и структуру частиц, химический состав их поверхности. При вибрационном измельчении исходного порошка получается материал с более высоким содержанием химически активной фракции частиц размером 2–0 мкм.

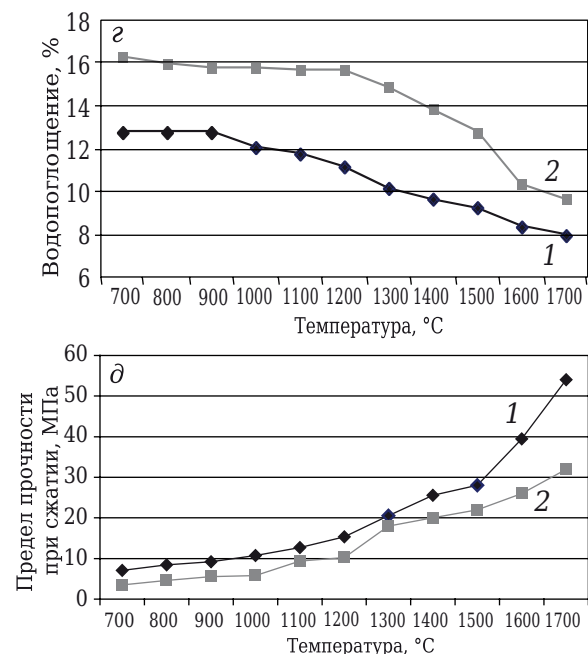


Рис. 8. Линейная усадка (а), кажущаяся плотность (б), открытая пористость (в), водопоглощение (з) и предел прочности при сжатии (д) обожженных образцов хромита после помола в вибрационной (1) и струйной (2) мельницах

Различный способ измельчения обуславливает разную структуру поверхности тонких частиц. Измельчение способом свободного удара (струйная мельница) приводит к меньшему искажению структуры частиц по сравнению с воздействием стесненного удара и истирания (вибрационная мельница). Рентгенограммы измельченных продуктов отличаются большей полушириной дифракционных рефлексов, изменением их формы, а также смещением положения. Оценка величин ОКР и микродеформаций в исследуемых порошках показывает, что

Библиографический список

1. **Сумм, В. Д.** Физико-химические основы смачивания и растекания / В. Д. Сумм, Ю. В. Горюнов. — М.: Химия, 1976. — 232 с.
2. **Кащеев, И. Д.** Влияние способа измельчения порошков плавленной шпинели и периклаза на их свойства / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной // Новые огнеупоры. — 2004. — № 12. — С. 36–42.
3. **Kashcheev, I. D.** Properties of powders of fused spinels and periclase pulverized by different techniques / I. D. Kashcheev, K. G. Zemlyanoi // Refractories and Industrial Ceramics — 2005. — Vol. 46, № 1. — P. 42–48.
4. **Буянов, Н. Е.** Определение удельной поверхности твердых тел хроматографическим методом тепловой десорбции аргона / Н. Е. Буянов, А. П. Карнаухов. — Новосибирск: Наука, 1978. — 74 с.
5. **Williamson, G. K.** Dislocation densities in some annealed and cold-worked metals from measurements on X-Ray Debye-Sherrer spectrum / G. K. Williamson, R. E. Smallman // Phil. Mag. — 1956. — Ser. 8, Vol. 1, № 1. — P. 34–46.

после вибрационного помола они имеют физическое уширение преимущественно за счет накопления микродеформаций структуры, а порошки, подвергнутые струйному помолу, — преимущественно за счет уменьшения размеров частиц.

Порошки, подвергнутые вибрационному помолу, имеют большую активность при спекании по сравнению с порошками струйного помола. Они имеют меньшую открытую пористость и водопоглощение, большую усадку, кажущуюся плотность и прочность при сжатии.

6. **Миркин, Л. И.** Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов / Л. И. Миркин. — М.: Физматгиз, 1961. — 243 с.
7. **Нефёдов, В. И.** Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений / В. И. Нефёдов. — М.: Химия, 1984. — 356 с.
8. **SIAMS Система анализа изображения и моделирования структуры** [Электронный ресурс] // Екатеринбург. 1992–2012. URL: <http://www.siams.com> (дата обращения 19.03.2012 г.).
9. **Земляной, К. Г.** Стартовые смеси нового поколения / К. Г. Земляной, А. А. Куровский // Новые огнеупоры. — 2008. — № 1. — С. 23, 24.
10. **Zemlyanoi, K. G.** New generation of starting mixes / K. G. Zemlyanoi, A. A. Kurovskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2008. — Vol. 49, № 1. — P. 32, 33. ■

Получено 18.08.14

© И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



IFEX 2015

11th INTERNATIONAL EXHIBITION ON FOUNDRY TECHNOLOGY, EQUIPMENT, SUPPLIES AND SERVICES

February 27–March 1, 2015

India Expo Centre and Mart, Greater Noida, India

IFEX 2015 — 11-я Международная выставка оборудования и технологий для литейной промышленности

27 февраля – 1 марта 2015 г.

г. Нойда, Индия

Тематические разделы:

- Сырье
- Литейные заводы полного цикла
- Плавильные печи и аксессуары
- Литейные изделия
- Литейное оборудование
- Формы и изготовление литейных стержней
- Термообработка и сушка
- Измерение, тестирование, контроль процесса и инструменты
- Транспортировка материалов
- Контроль защиты окружающей среды
- Дополнительное оборудование и др.

www.profiexpo.ru/ifex-india/27-02-2015.html

УДК 666.266.6

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА СТЕКЛОКЕРАМИКИ β -СПОДУМЕНОВОГО СОСТАВА.

Часть I. Исследование стабильности свойств стеклокерамики в условиях длительного повторного воздействия высоких температур

Представлены результаты изменения свойств и фазового состава стеклокерамики β -сподуменового состава в результате многократных, длительных повторных высокотемпературных воздействий.

Ключевые слова: термообработка, фазовый состав, плотность, прочность, диэлектрическая проницаемость.

Прошло немногим более 10 лет с тех пор, как выдвинутая идея ситаллозамещающих технологий, поддержанная на уровне Правительства РФ, успешно используется в производстве изделий специальной техники. В свете последних событий, происходящих на Украине, принятое тогда решение приобретает особое значение. Важность и актуальность его связана с тем, что с распадом СССР на ряд независимых государств производство ситалловых обтекателей ракет осталось у единственного производителя на Украине. Не решив задачу ситаллозамещающих технологий в то время, Россия сейчас оказалась бы в кризисной ситуации в области комплектации определенной части ракетных комплексов головными обтекателями.

За прошедший период выполнен огромный объем экспериментальных работ [1–23], обеспечивший создание нового класса радиопрозрачных стеклокерамических материалов (ОТМ 357, ОТМ 357-О, ОТМ 357У, ОТМ 357ОУ, ОТМ 358, ОТМ 360) с использованием керамической технологии, включающей подготовку высококонцентрированных водных шликеров из стекла литийалюмосиликатного состава, получение заготовок литьем в пористые формы, спекание заготовок и их кристаллизацию в совмещенном режиме термообработки. Это направление явилось научной и практической основой в разработке промышленной технологии производства стеклокерамических обтекателей и обеспечило

импортозамещение специальных видов продукции [22].

Сложность задач, которые нами тогда были поставлены, заключалась в том, что в мировой практике этими вопросами не занимались, поскольку существовала традиционная стекольная технология получения ситаллов. С начала разработки новой технологии нами проводилась работа в двух направлениях — получение керамики из исходного аморфного стекла и получение керамики из предварительно закристаллизованного до фазы β -сподумена материала. И первое и второе направления были прогнозируемыми, поскольку в условиях производства неизбежно появляются технологические отходы. Однако жесткие сроки, поставленные перед исполнителями в части выхода на конкретную продукцию, отодвинули на второй план работы по использованию отходов производства.

В процессе накопления опыта работы в условиях производства с выходом на устойчивый технологический процесс изготовления изделий из стекла литийалюмосиликатного состава [8] решить проблему исключения брака в процессе спекания и кристаллизации не удалось. В результате по мере увеличения объема производства изделий возрастало количество технологических отходов плотно спеченного материала, содержащего основную кристаллическую фазу в виде β -сподумена. В этой связи возникла необходимость изучения возможности использования данного материала в основном производстве [15–17]. Необходимо было решить ряд технических и технологических задач:

– возможны ли изменения фазового состава материала в результате его повторных термообработок при высоких температурах и как это может отразиться на его физико-технических свойствах;



Е. И. Суздальцев
E-mail: mironova_kv@mail.ru

– какова степень загрязнения аппаратурным железом при дроблении исходного кускового материала для подготовки к помолу и переработки в шликер, поскольку его исходный предел прочности при изгибе существенно выше (>110 МПа), чем у аморфного стекла (80 МПа);

– возможно ли использование разработанной технологии получения высококонцентрированных водных шликеров из аморфного литий-алюмосиликатного стекла для переработки закристаллизованного материала и как существенная разница в значениях их механической прочности может отразиться в данном процессе;

– возможно ли спекание отформованных заготовок из закристаллизованного до фазы β -сподумена материала до нулевых значений кажущейся пористости в приемлемом для используемого технологического оборудования температурном диапазоне;

– возможна ли реализация достигнутого уровня показателей физико-технических свойств стеклокерамики, полученной из исходного аморфного стекла (материал ОТМ 357), для материала из предварительно закристаллизованного стекла фазы β -сподумена.

В данной публикации представлены результаты исследований для ответа на первую сформулированную задачу.

С этой целью были подготовлены образцы и заготовки из отходов стеклокерамики после их обжига при 1250 °С в течение 7 ч. Заготовка была разрезана на 7 равных частей по высоте (примерно по 120 мм каждая часть). Затем данный материал последовательно дополнительно термообработывали при 1250 °С в течение 5–7 ч. После каждого цикла термообработки отбирали образцы и часть заготовки для определения кажущейся плотности, предела прочности при изгибе, диэлектрической проницаемости, температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и фазового состава. Общее количество термообработок составило 7 циклов, или 37-ч воздействие высоких температур.

Здесь следует отметить, что каждый режим термообработки проводился последовательно один за другим и сопровождался охлаждением и очередным нагревом до 1250 °С. В этой связи длительность высокотемпературного воздействия была значительно больше указанных 37 ч и сопровождалась существенным термоударом. Анализ полученных результатов свидетельствует о

высокой устойчивости предварительно закристаллизованного материала к воздействию высоких температур (табл. 1, 2). Прослеживается исключительная стабильность значений кажущейся плотности, что означает отсутствие дополнительного спекания материала; стабильность значений ТКЛР, ε и $\text{tg}\delta$, что означает отсутствие дополнительных фазовых образований, и это подтверждается результатами рентгенофазового анализа (табл. 3).

Таблица 1. Свойства образцов стеклокерамики β -сподуменового состава, прошедших дополнительную термообработку при 1250 °С

Число обжигов	Температура обжига, °С / выдержка, ч*	Свойства материала			
		кажущаяся плотность, г/см ³	предел прочности при изгибе, МПа	диэлектрическая проницаемость ε	тангенс угла диэлектрических потерь, 10 ⁻⁴
Исходный	1250 / +7	2,46	129	6,88	106
1	1250 / +5	2,43	111	6,66	106
2	1250 / +5	2,50	116	6,65	109
3	1250 / +5	2,46	117	6,65	108
4	1250 / +5	2,45	127	6,66	107
5	1250 / +5	2,45	107	6,60	108
6	1250 / +5	2,45	101	6,60	112
7	1250 / +7	2,46	99	6,57	107

* Знак + означает дополнительную длительность термообработки в очередном режиме.

Таблица 2. Свойства образцов стеклокерамики β -сподуменового состава, полученных из заготовок и прошедших дополнительную термообработку при 1250 °С

Число обжигов	Температура обжига, °С / выдержка, ч, печь	Свойства материала				
		кажущаяся плотность, г/см ³	предел прочности при изгибе, МПа	диэлектрическая проницаемость ε	$\text{tg}\delta$ при 20 °С, 10 ⁻⁴	ТКЛР, 10 ⁻⁷ °С ⁻¹ , при 200–900 °С
Исходный	1250 / +7	2,46	128	6,88	106	7–15
1	1250 / +5	2,43	110	6,66	114	6–15
2	1250 / +5	2,44	107	6,63	114	6–15
3	1250 / +5	2,43	102	6,60	114	6–15
4	1250 / +5	2,45	114	6,63	115	6–15
5	1250 / +5	2,44	112	6,59	115	6–15
6	1250 / +5	2,45	102	6,60	116	6–15

Таблица 3. Рентгенофазовый анализ образцов стеклокерамики β -сподуменового состава, прошедших дополнительную термообработку (дифрактометр ДРОН-2, $\text{Cu K}\alpha$ -излучение)

Число обжигов	Интенсивность линий кристаллических фаз, мм				
	β-сподумен	рутил	корунд	петалит	
Исходный	147	35	20	–	8
1	142	33	13	2	11
2	144	31	14	2	10
3	146	34	15	3	12
4	143	35	18	–	13
5	136	30	17	2	11
6	145	33	12	2	12
7	150	32	15	–	13

Однако отмечается незначительная деградация прочности при изгибе, что объясняется некоторым поверхностным «разрыхлением» кристаллов, хотя даже после семикратного дополнительного воздействия высоких температур (1250 °С) предел прочности при изгибе находится в пределах требований технических условий на стеклокерамику β-сподуменового состава (материал ОТМ 357).

Приведенные выше результаты исследований характерны в части работоспособности при 1250 °С. Но материалы данного класса нашли широкое применение и в целом ряде других отраслей промышленности. В этом плане целесообразно рассмотреть предельные возможности стеклокерамики ОТМ 357 (материал с основной кристаллической фазой β-сподумен) в широком диапазоне температур.

С этой целью образцы, взятые от серийно выпускаемых изделий с известными показателями физико-технических свойств, подвергали допол-

нительной термообработке в интервале температур 400–1250 °С длительностью до 200 ч и при 1280 и 1300 °С длительностью до 1 ч. При этом наработка общей выдержки до 200 ч при 1100, 1200 и 1250 °С проводилась дискретно по 5–6 ч в сутки, а общий набор времени термообработки при данных температурах сопровождался многократными циклами нагрева и охлаждения.

В результате проведенных исследований установлено, что в интервале температур до 1250 °С дополнительного «старения» материала при многократных циклических воздействиях нагрева и охлаждения изменение показателей свойств незначительно и, как в прежнем случае, они остаются на уровне требований технических условий на стеклокерамику ОТМ 357. Дополнительная термообработка при 1280 и 1300 °С длительностью до 1 ч приводит к появлению в материале стеклофазы и его вспениванию (табл. 4, 5). Следовательно, можно считать, что допол-

Таблица 4. Влияние дополнительной термообработки на показатели основных физико-технических свойств стеклокерамики β-сподуменового состава

Температура, °С	Время термообработки, ч	Кажущаяся плотность, г/см ³			Предел прочности при изгибе, МПа			Диэлектрическая проницаемость			Тангенс угла диэлектрических потерь, 10 ⁻⁴		
		значение		Δ*, %	значение		Δ*, %	значение		Δ*, %	значение		Δ*, %
		начальное	конечное		начальное	конечное		начальное	конечное		начальное	конечное	
400	1	2,44	2,44	0,0	120	120	0,0	6,83	6,83	0,0	110	109	-0,9
	10	2,44	2,44	0,0	120	115	-4,1	6,80	6,80	0,0	109	111	+1,8
	50	2,48	2,48	0,0	120	128	+6,7	7,00	7,09	+1,3	109	111	+0,9
500	1	2,46	2,46	0,0	120	122	+1,7	7,01	7,00	-0,1	110	110	0,0
	10	2,48	2,48	0,0	120	120	0,0	6,99	7,00	+0,1	108	109	-0,9
	50	2,47	2,47	0,0	109	107	-1,8	6,91	6,92	+0,1	111	109	-0,9
600	1	1,43	2,43	0,0	120	118	-1,7	6,83	6,82	-0,1	112	109	-2,6
	10	1,49	2,49	0,0	120	121	+0,8	7,04	7,02	-0,3	110	110	0,0
	50	1,49	2,48	-0,4	109	100	-8,2	7,19	7,18	-0,1	114	113	-0,8
800	1	2,43	2,43	0,0	120	115	-4,1	6,84	6,85	+0,1	111	111	0,0
	10	2,47	2,47	0,0	120	115	-4,1	6,95	6,94	-0,1	112	111	-0,9
	50	2,46	2,46	0,0	109	102	-6,4	7,01	7,02	+0,1	114	113	-0,9
1000	1	2,45	2,45	0,0	120	120	0,0	6,85	6,87	+0,3	110	109	-0,9
	10	2,50	2,50	-0,4	120	115	-4,1	7,06	7,05	-0,1	112	109	-2,7
	50	1,46	2,45	-0,4	120	118	-1,7	6,92	6,93	+0,1	109	108	-0,9
1100	1	2,45	2,45	0,0	120	115	-4,1	6,85	6,86	+0,1	110	110	0,0
	10	2,49	2,49	0,0	120	125	+4,1	7,00	7,02	+0,3	109	110	+0,9
	50	2,50	2,50	0,0	120	113	-5,8	7,24	7,27	+0,4	107	109	+1,8
	75	2,46	2,46	0,0	120	117	-2,5	6,93	6,93	0,0	114	110	-3,5
	100	2,49	2,48	-0,4	109	109	0,0	6,97	7,01	+0,6	113	112	-0,9
1200	1	2,45	2,45	0,0	120	117	-2,5	6,86	6,86	0,0	111	109	-0,9
	10	2,47	2,47	0,0	120	113	-2,5	6,88	6,91	+0,4	109	113	+3,5
	50	2,47	2,47	0,0	109	109	0,0	6,92	6,94	+0,3	109	112	+2,7
	75	2,49	2,48	-0,4	109	104	-4,5	6,89	7,04	+0,7	114	108	-5,2
	100	2,49	2,49	0,0	109	106	-2,8	6,88	7,00	-2,9	113	115	+1,7
1250	10	2,46	2,46	0,0	109	95	-3,7	6,94	6,89	-0,7	112	115	+2,6
	25	2,47	2,47	0,0	109	93	-14,6	6,91	6,80	-1,5	111	115	+3,5
	50	2,47	2,48	+0,4	109	94	-13,7	6,83	7,03	+2,8	113	116	+2,6
	100	2,47	2,48	+0,4	109	100	-8,3	7,14	6,80	-4,7	116	123	+5,7
	150	2,47	2,48	+0,4	109	96	-11,9	6,87	6,56	-4,5	111	114	+2,6
	200	2,49	2,49	-0,8	109	91	-16,5	6,90	6,93	+0,4	112	114	-1,8

* «+» увеличение, «-» снижение уровня свойств относительно исходных значений.

Таблица 5. Относительные изменения* величины основных кристаллических фаз стеклокерамики β -сподуменового состава

Температура обработки, °C	Время обработки, ч	Значения показателей, отн. ед., для фаз			
		твёрдый раствор β -сподумена	рутил	корунд	петалит
Исходные	0	0,97	0,06	0,03	0,08
400	1	0,97	0,06	0,03	0,08
	10	1,07	0,21	0,11	0,11
	50	1,03	0,24	0,12	0,06
500	1	1,08	0,07	0,02	0,08
	10	0,98	0,06	0,03	0,07
	50	1,05	0,26	0,15	0,10
600	1	1,00	0,07	0,03	0,07
	10	0,94	0,05	0,03	0,07
	50	1,03	0,26	0,12	0,11
800	1	1,07	0,07	0,02	0,08
	10	0,97	0,06	0,03	0,07
	50	1,02	0,28	0,13	0,11
1000	1	1,10	0,08	0,02	0,09
	10	0,95	0,06	0,03	0,08
	50	1,05	0,26	0,11	0,08
1100	1	1,03	0,26	0,12	0,09
	10	0,99	0,06	0,03	0,08
	50	1,06	0,26	0,13	0,07
	75	0,96	0,07	0,03	0,12
	100	1,19	0,27	0,12	0,09
1200	1	1,05	0,28	0,11	0,09
	10	1,00	0,07	0,03	0,08
	50	0,96	0,24	0,15	0,12
	75	1,14	0,21	0,10	0,10
	100	1,03	0,20	0,08	0,11
1250	1	1,01	0,25	0,15	0,08
	10	0,94	0,21	0,10	0,12
	25	1,00	0,21	0,10	0,13
	50	1,09	0,06	0,02	0,10
	75	1,11	0,24	0,11	0,11
	100	1,00	0,05	0,02	0,09
1280	150	1,10	0,23	0,12	0,09
	1	1,01	0,016	0,05	0,11
1300	1	0,99	0,06	0,02	0,07

* Отношение величины интенсивности кристаллических фаз к эталону.

нительные температурные воздействия на материал данного класса выше 1250 °C критические и его работоспособность при таких воздействиях не гарантирована.

Таким образом, результаты исследований убедительно свидетельствуют о возможности и

целесообразности использования технологических отходов после обжига в виде образцов, заготовок, оболочек после механической обработки и испытаний в качестве сырья для основного производства. При этом технологические отходы можно использовать многократно.

Библиографический список

1. Суздальцев, Е. И. Новое направление в области синтеза высокотермостойких, радиопрозрачных стеклокристаллических материалов / Е. И. Суздальцев // Инженерно-физический журнал. — 2001. — Т. 74, № 6. — С. 121–130.
2. Суздальцев, Е. И. Закономерности формирования структуры и свойств ситалла литийалюмосиликатного состава в процессе термообработки / Е. И. Суз-

дальцев // Инженерно-физический журнал. — 2002. — Т. 75, № 2. — С. 125–131.

3. Суздальцев, Е. И. Радиопрозрачные, высокотермостойкие материалы XXI века / Е. И. Суздальцев // Огнеупоры и техническая керамика. — 2002. — № 3. — С. 16–25.

4. Суздальцев, Е. И. Влияние условий термообработки на формирование структуры и свойств стекла и

стеклокерамики литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2002. — № 4. — С. 16–25.

5. *Суздальцев, Е. И.* Исследование процессов получения высокоплотных водных суспензий и формирования заготовок из стекла литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2002. — № 11. — С. 10–23.

6. *Суздальцев, Е. И.* Исследования по получению стеклокерамики β -сподуменового состава с регулируемой диэлектрической проницаемостью / *Е. И. Суздальцев* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2002. — № 5. — С. 15–19.

7. *Суздальцев, Е. И.* Анализ свойств радиопрозрачных неорганических материалов и особенности керамической технологии синтеза ситаллов / *Е. И. Суздальцев* // Передовые технологии производства : сб. Т. 2 / под ред. С. В. Резника. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — С. 271–288.

8. *Суздальцев, Е. И.* Статистический анализ технологического процесса изготовления изделий из стеклокерамики литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 3. — С. 12–18.

9. *Суздальцев, Е. И.* Температурное «старение» высокотермостойких, радиопрозрачных материалов / *Е. И. Суздальцев* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 11. — С. 15–23.

10. *Суздальцев, Е. И.* Материалы антенных обтекателей / *Е. И. Суздальцев* // Все материалы : энциклопедический справочник. — 2006. — № 3. — С. 18–29.

11. *Суздальцев, Е. И.* Исследование прочностных и упругих свойств стеклокерамики литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев* // Инженерно-физический журнал. — 2002. — Т. 75, № 2. — С. 125–131.

12. *Суздальцев, Е. И.* Исследование термостойкости стеклокерамики литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев* // Инженерно-физический журнал. — 2001. — Т. 74, № 6. — С. 131–135.

13. *Суздальцев, Е. И.* Расчетно-теоретическая модель формирования толщины стенки керамической заготовки при литье из водных шликеров в пористые формы / *Е. И. Суздальцев, В. И. Куракин* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 10. — С. 8–12.

14. *Суздальцев, Е. И.* Анализ влияния условий синтеза на свойства стеклокристаллических материалов и построение математической модели термообработки стекла и керамики литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев, В. И. Куракин* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2001. — № 9. — С. 37–42.

15. *Суздальцев, Е. И.* Реотехнологические свойства водных суспензий на основе закристаллизованного литийалюмосиликатного стекла / *Е. И. Суздальцев, Т. И. Рожкова, Т. В. Зайчук* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2003. — № 11. — С. 2–7.

16. *Суздальцев, Е. И.* Использование отходов при производстве стеклокерамики литийалюмосиликатного состава / *Е. И. Суздальцев, Т. В. Зайчук, Т. И. Рожкова* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2003. — № 6. — С. 12–17.

17. *Суздальцев, Е. И.* Стеклокерамика с регулируемой ϵ на основе закристаллизованного литийалюмосиликатного стекла / *Е. И. Суздальцев, Т. И. Рожкова, Т. В. Зайчук* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 2. — С. 16–19.

18. *Суздальцев, Е. И.* Анализ соответствия прочности стеклокерамики ОТМ 357 требованиям к конструкции обтекателя / *Е. И. Суздальцев, М. Ю. Русин, В. И. Куракин* [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 7. — С. 9–12.

19. *Суздальцев, Е. И.* О стойкости к ударному контактно-воздействию стеклокерамики β -сподуменового состава / *Е. И. Суздальцев, Т. И. Рожкова, Т. В. Зайчук* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2006. — № 3. — С. 14–17.

20. *Суздальцев, Е. И.* К вопросу устойчивости стеклокерамики литийалюмосиликатного состава к воздействию эксплуатационных факторов летательных аппаратов / *Е. И. Суздальцев, А. С. Хамицаев* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2005. — № 10. — С. 16–23.

21. *Суздальцев, Е. И.* Исследование устойчивости стеклокерамики литийалюмосиликатного состава к воздействию агрессивных сред / *Е. И. Суздальцев, Т. В. Зайчук, Л. И. Балакина* // 2006. — № 1. — С. 15–17.

22. *Суздальцев, Е. И.* Синтез высокотермостойких, радиопрозрачных стеклокерамических материалов и разработка технологии изготовления на их основе обтекателей летательных аппаратов : дис. ... докт. техн. наук / Суздальцев Евгений Иванович. — М., 2002. — 430 с.

23. *Суздальцев, Е. И.* Оптимизация технологии формирования крупногабаритных сложнопрофильных заготовок из шликеров литийалюмосиликатного стекла / *Е. И. Суздальцев, Т. П. Каменская, М. А. Суслова, Н. И. Ипатова* // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 5. — С. 25–31. ■

Получено 11.06.14

© Е. И. Суздальцев, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

 10th Annual Ceramic Materials, Machinery, Supplies & Technology Show	10-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПО ИНДИЙСКОЙ КЕРАМИКЕ 2015 21–23 января 2015 г. г. Ахмадабад, Гуджарат, Индия INCORPORATING IBART EXPO 2014 National & International Ceramic Industry Suppliers Expo www.indian-ceramics.com
---	---

Д. т. н. **Б. Л. Красный**¹, к. т. н. **В. П. Тарасовский**^{1,2} (✉),
к. т. н. **А. Б. Красный**¹, **А. Л. Галганова**¹, **А. В. Резниченко**²

¹ ЗАО «НТЦ «Бакор», Москва, г. Щербинка, Россия

² 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 °С 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-

ность материала не превышала 2,0 г/см³, 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/см³ с пределом прочности при сжатии до 12 МПа.

Настоящая работа проведена с целью создания высокоэффективного теплоизоляционного высокопрочного материала с содержанием Al₂O₃ не менее 99,5 мас. % и температурой эксплуатации в восстановительной атмосфере 1700–1800 °С. 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, %: SiO₂ 0,5, Fe₂O₃ 0,05, Na₂O 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 ³	1,1	0,61*	0,71*	0,93*

* После отсева 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-



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

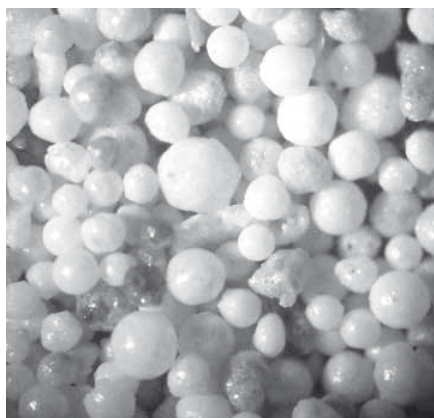


Рис. 1. Микроструктура полых корундовых микросфер. $\times 5$

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 изготавливали образцы цилиндрической формы (ГОСТ 4071.1). Массу заливали в металлические формы на вибростол. 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 массы 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 °С с выдержкой 6 ч. Физико-технические свойства образцов после обжига приведены в табл. 2.

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

Таблица 1. Влияние марки диспергирующей добавки на свойства массы и отформованных образцов

Масса	Марка диспергирующей добавки	Содержание добавки в массе, мас. % (сверх 100 %)	Влажность массы, %	Время схватывания, мин	Предел прочности при сжатии 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

Показатели	Масса				
	1	2	3	4	5
Кажущаяся плотность, г/см ³	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.

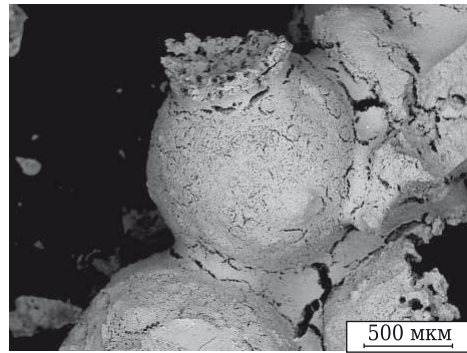


Рис. 2. Микроструктура теплоизоляционной огнеупорной керамики из полых корундовых микросфер. $\times 50$

Таблица 3. Результаты определения теплофизических характеристик материала

Показатели	Характеристики при температуре образца, °С									
	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Теплопроводность, 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.

* * *

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».

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. Пашенко, И. Г. Субочев // Огнеупоры. — 1978. — № 11. — С. 39–41.
3. Писарев, Н. В. Виброуплотнение корундовых теплоизоляционных изделий / Н. В. Писарев, Т. М. Сандуца, А. Н. Гаоду // Огнеупоры. — 1986. — № 4. — С. 28–32.
4. Дегтярева, Э. В. Структурно-механические свойства корундовых масс с пористым наполнителем / 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.

К. Т. Н. О. А. Слюсарь, К. Т. Н. Р. Н. Ястребинский, Н. И. Черкашина,
К. Т. Н. В. А. Дороганов (✉), К. Т. Н. А. В. Ястребинская

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

УДК 691.434:666.3-183.2

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ ДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ

Приведены результаты исследований влияния комплексных добавок на критическую концентрацию структурообразования глинистых суспензий. Представлены графики зависимости предельного динамического напряжения сдвига суспензий от содержания твердой фазы и концентрации добавок. Выявлено, что наиболее эффективными при малых концентрациях являются комплексы, содержащие оксифенолфурфурольные олигомеры. Такие комплексы могут быть использованы в качестве разжижающей добавки для глинистых суспензий.

Ключевые слова: комплексная добавка, суспензии, структурообразование, предельное динамическое напряжение, агрегативная устойчивость.

Огнеупорные изделия и материалы широко используются при производстве чугуна и стали для футеровки емкостей для накопления и транспортировки жидкого металла, печей для подогрева заготовок, технологических агрегатов и др. Как известно, одним из основных видов сырья для огнеупорных изделий являются огнеупорные глины и каолины. От их свойств, качества и способа приготовления сырьевой смеси зависят свойства готовых изделий [1–3]. Для огнеупоров, изготавливаемых с использованием дисперсных систем (шликера, суспензий), весьма актуально регулирование процессов структурообразования. Для получения суспензий с минимальной влажностью и достаточной подвижностью используют разжижающие добавки. Исследования показали [4–10], что перспективным является применение комплексных добавок, содержащих традиционные электролиты: жидкое стекло, соду, а также триполифосфат натрия (ТПФН), оксифенолфурфурольные олигомеры, суперпластификатор С-3.

Как следует из литературных источников [11, 12], при определенном соотношении в суспензиях дисперсной фазы и дисперсионной среды наблюдается резкое изменение физико-химических параметров системы, характеризующее переход системы от свободнодисперсной к структурированной. В системе начинают преобладать силы притяжения между частицами над силами отталкивания, образуются коагуляци-

онные пространственные структуры, в которых частицы дисперсной фазы связаны через тонкие остаточные прослойки жидкости. Графики зависимости физико-химических параметров системы от содержания дисперсной фазы (или дисперсионной среды) в суспензиях глин имеют излом в точке, соответствующей началу структурообразования. Концентрацию дисперсной фазы, при которой наблюдается такой переход, называют критической концентрацией структурообразования (ККС). В технологии керамики применяют понятие «оптимальная влажность», т. е. минимальное содержание дисперсионной среды, при котором наблюдается резкое изменение физико-химических параметров системы, соответствующее разрушению структуры. Для сравнительной характеристики суспензий разного состава корректнее сопоставлять параметры вблизи области ККС.

Нами было исследовано влияние комплексных добавок на критическую концентрацию структурообразования суспензии огнеупорной глины. Использовали комплексы: ТПФН+С-3, ТПФН+СБ-5 (продукт конденсации кубовых остатков производства резорцина с фурфуролом), ТПФН+СБ-ФФ (продукт конденсации флороглюцина с фурфуролом), ТПФН+реотан. Соотношение компонентов в комплексных добавках составляло 4:1 соответственно. Влияние комплексных добавок на реологические параметры суспензий глины исследовали на реометре «Реотест-2». В качестве параметра, характеризующего начало структурообразования, использовали предельное динамическое напряжение сдвига τ_0 . Суспензии готовили с различным содержанием твердой фазы.

Влияние содержания твердой фазы в суспензии на предельное динамическое напряжение



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

сдвига глинистой суспензии без добавок и с различными концентрациями комплексных добавок представлено на рисунке. Как видно, глинистая суспензия без добавок имеет значение ККС, близкое к 33 %.

При введении предлагаемых комплексов происходит значительное повышение величины ККС или снижение оптимальной влажности. Так, введение 0,8 % ТПФН+СБ-ФФ повышает значение ККС с 33 до 59 %, комплекса с СБ-5 — до 58 %, комплексов, содержащих С-3 и реотан, — до 61 %.

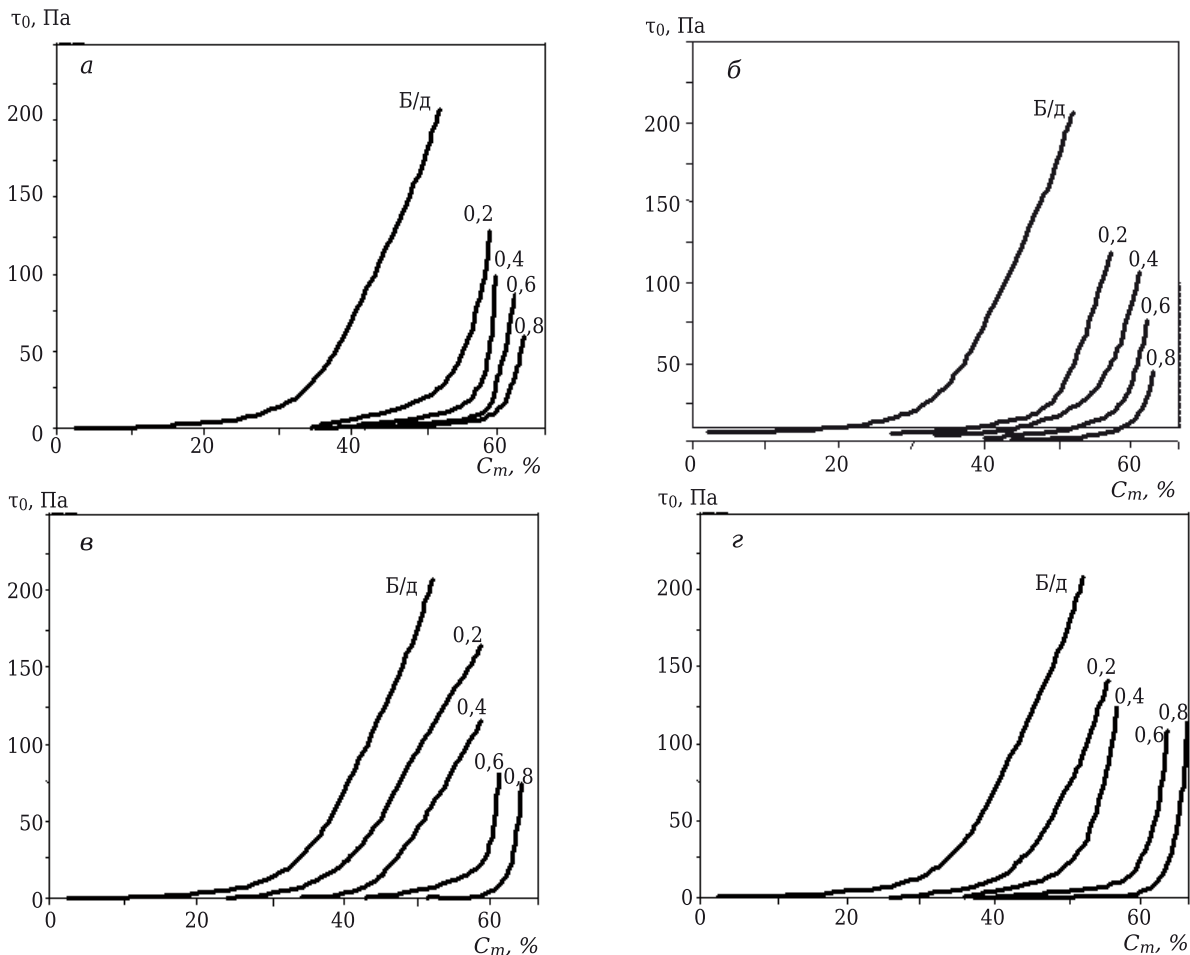
По результатам исследований видно, что предлагаемые добавки на основе оксифенолфурфурольных олигомеров более эффективны при содержании в суспензии от 0,2 до 0,4 %, что экономически выгодно, так как эффект может быть получен при небольших расходах добавок.

При повышенном содержании добавок несколько эффективнее комплексы на основе С-3 и реотана, однако кривые после точки, соответствующей ККС, имеют более резкий подъем, что свидетельствует о более интенсивной потере подвижности суспензии при повышении концентрации твердой фазы. Резкое снижение подвижности

суспензии нежелательно, так как может привести к ухудшению формовости глинистой массы.

Повышение значения ККС при введении в суспензию добавок объясняется тем, что на поверхности частиц образуется развитый адсорбционный слой из молекул добавок и воды, а также повышается значение электрокинетического потенциала поверхности. Это обеспечивает агрегативную устойчивость системы при значительно более высокой концентрации дисперсной фазы.

Дальнейшее повышение концентрации комплексных добавок не приводит к увеличению значений ККС. Вероятно, это связано с тем, что при высоких концентрациях дисперсной фазы система находится в «стесненных» условиях, частицы сближаются настолько, что между соприкасающимися участками поверхности образуются коагуляционные контакты. Жидкой фазы недостаточно для образования на модифицированной добавками поверхности частиц развитых адсорбционных гидратных слоев, обеспечивающих агрегативную устойчивость суспензий и их текучесть.



Зависимость предельного динамического напряжения сдвига τ_0 глинистой суспензии от концентрации твердой фазы C_m при различном содержании (указано на кривых, %) комплексной добавки: а — ТПФН + СБ-ФФ; б — ТПФН + СБ-5; в — ТПФН + С-3; г — ТПФН + реотан; б/д — без добавки

Таким образом, комплексные добавки на основе оксифенолфурфурольных олигомеров повышают критическую концентрацию структурообразования глин в большей степени, чем комплекс на основе суперпластификатора С-3, и не менее эффективны, чем комплекс на основе реотана, особенно в области малой концентрации добавок. Следовательно, исследованные комплексные добавки могут быть использованы в качестве разжижителей для глинистых суспензий. Следует отметить, что независимо от вида добавок значение ККС для данной суспензии не превышало 63 % при дальнейшем увели-

чении общей концентрации добавок. Вероятно, при таком соотношении дисперсной фазы и дисперсионной среды создается наиболее плотная упаковка частиц дисперсной фазы с минимальным количеством дисперсионной среды в пустотах между частицами.

* * *

Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания Минобрнауки в сфере научной деятельности № 11.2034.2014/К и программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова.

Библиографический список

1. **Трепалина Ю. Н.** Огнеупорные бетоны и покрытия на основе модифицированных вяжущих суспензий / Ю. Н. Трепалина // Новые огнеупоры. — 2010. — № 6. — С. 54–56.
2. **Евтушенко, Е. И.** Совершенствование подготовки сырья при использовании активационных процессов в технологии керамики / Е. И. Евтушенко, О. К. Сыса, И. Ю. Морева [и др.] // Стекло и керамика. — 2009. — № 1. — С. 15.
3. **Сыса, О. К.** Особенности гидротермальной и бактериальной обработки глинистого сырья / О. К. Сыса, И. Ю. Морева, Н. А. Перетоккина [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. — 2013. — № 6. — С. 173–176.
4. **Шаповалов, Н. А.** Влияние олигомерных электролитов на агрегативную устойчивость и реологические свойства водных минеральных суспензий / Н. А. Шаповалов, А. А. Слюсарь, О. А. Слюсарь // Коллоидный журнал. — 2006. — Т. 68, № 3. — С. 384–390.
5. **Слюсарь, А. А.** Пластификатор на основе флороглюцина как разжижающая добавка для полиминеральных суспензий / А. А. Слюсарь, О. А. Слюсарь, К. А. Ефимов // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 6. — С. 39–42.
6. **Слюсарь, А. А.** Влияние комплексных добавок на подвижность глинистых суспензий / А. А. Слюсарь, О. А. Слюсарь, К. А. Ефимов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2008. — № 11/12. — С. 60–65.
7. **Слюсарь, О. А.** Разжижающая добавка для каолиновых суспензий / О. А. Слюсарь // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. «Строительное материаловедение». — 2003. — № 5. — С. 139–142.

8. **Yastrebinskii, R. N.** Modifying the Surface of Iron-Oxide Minerals with Organic and Inorganic Modifiers / R. N. Yastrebinskii, V. I. Pavlenko, P. V. Matyukhin [et al.] // Middle-East Journal of Scientific Research. — 2013. — Vol. 18, № 10. — P. 1455–1462.
9. **Пивинский Ю. Е.** Огнеупорные пластичные массы на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). I. Структурно-механические свойства суспензий (паст) огнеупорных глин / Ю. Е. Пивинский, В. А. Дороганов, Е. А. Дороганов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2000. — № 4. — С. 14–19.
10. **Pivinskii, Yu. E.** Refractory plastic mixtures based on highly concentrated ceramic binding suspensions (HCBS). 1. Structural and mechanical properties of suspensions (Pastes) of refractory clays / Yu. E. Pivinskii, V. A. Doroganov, E. A. Doroganov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2000. — Vol. 41, № 3/4. — P. 125–130.
10. **Евтушенко, Е. И.** Огнеупорные керамобетоны : монография / Е. И. Евтушенко, В. А. Дороганов. — Saarbrücken : LAB LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. — 188 с.
11. **Круглицкий, Н. Н.** Очерки по физико-химической механике / Н. Н. Круглицкий. — Киев : Наукова думка, 1988. — 244 с.
12. **Шукин, Е. Д.** Физико-химическая механика природных дисперсных систем / Е. Д. Шукин. — М. : Изд-во Московского ун-та, 1985. — 264 с.■

Получено 02.07.14

© О. А. Слюсарь, Р. Н. Ястребинский,
Н. И. Черкашина, В. А. Дороганов,
А. В. Ястребинская, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

UNITECR 2015 —14-й Всемирный конгресс и объединенная техническая конференция по огнеупорам



14th Biennial Worldwide Congress

UNITECR
2015

15–18 сентября 2015 г.
г. Вена, Австрия

www.unitecr2015.org/

Unified International Technical
Conference on Refractories

Partnership in Materials
and Technology

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 3. Действует распределенная силовая нагрузка*

Изучено влияние покрытия из нитрида титана на структурную неоднородность напряжений в оксидно-карбидной керамике под действием распределенной силовой нагрузки. Установлено влияние покрытия на характеристики, определяющие структурную неоднородность напряжений в керамике. Отмечена необходимость учета структурной неоднородности напряжений при проектировании изделий из оксидно-карбидной керамики с покрытием.

Ключевые слова: керамика, покрытие, структурная неоднородность напряжений, распределенная силовая нагрузка, структурный элемент.

ВВЕДЕНИЕ

Цель исследования — анализ влияния покрытия из нитрида титана на напряженно-деформированное состояние структурных элементов оксидно-карбидной керамики под действием сосредоточенной силы. Решение этой научной задачи дополнит закономерности влияния силовых нагрузок на напряженно-деформированное состояние керамических материалов, приведенных в работах [1–4].

Методика выявления и анализа структурной неоднородности напряжений σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и интенсивности напряжений σ_i в поверхности (поверхностном слое) структурных элементов керамики под действием внешней нагрузки приведена в работе [5]. Более подробно положения этой методики изложены в работах [6–9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пластина из оксидно-карбидной керамики без покрытия (система $(\text{TiC-MgO-Al}_2\text{O}_3)\text{-C}\chi\text{32}$) и с покрытием из нитрида титана толщиной 5 мкм (система $(\text{TiC-MgO-Al}_2\text{O}_3)\text{-TiN-C}\chi\text{32}$) под действием распределенной силы P деформируется по схеме, представленной на рис. 1. Зерна в керамике систем $(\text{TiC-MgO-Al}_2\text{O}_3)\text{-C}\chi\text{32}$ (рис. 1, а) и $(\text{TiC-MgO-Al}_2\text{O}_3)\text{-TiN-C}\chi\text{32}$ (рис. 1, б) из ис-

ходного положения 3 перемещаются во внутренний объем керамики, занимая положение 3'. В качестве примера на схемах показаны траектории перемещения КТ1 из исходного положения 1 в деформированное положение 1' и значения ее горизонтальных u^1 и вертикальных v^1 перемещений. Видно, что наибольшие перемещения КТ1 происходят в горизонтальном направлении.

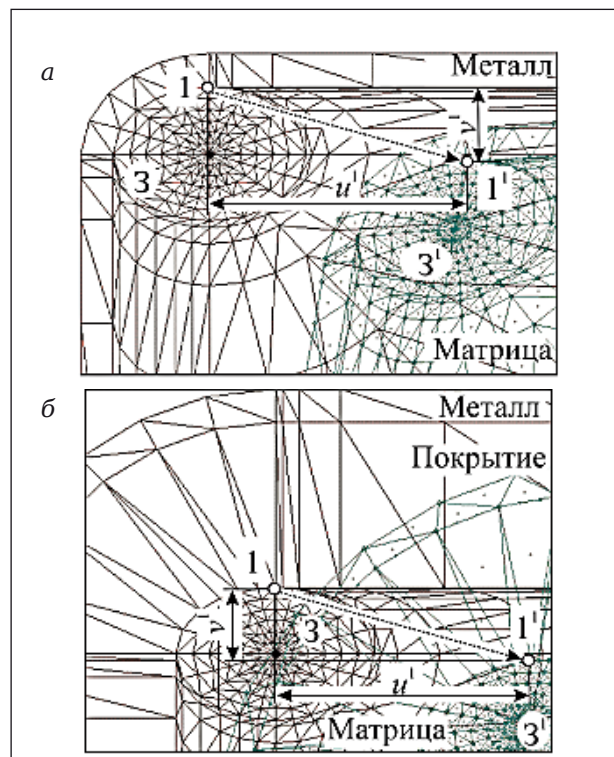


Рис. 1. Схемы деформации керамики систем $(\text{TiC-MgO-Al}_2\text{O}_3)\text{-C}\chi\text{32}$ (а) и $(\text{TiC-MgO-Al}_2\text{O}_3)\text{-TiN-C}\chi\text{32}$ (б) под действием распределенной силы $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па

* Части 1 и 2 статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 8, с. 28–31 и 10, с. 77–82 за 2014 г.



В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru

Характер изменения напряжений σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и σ_i в КТ поверхностей разных структурных элементов керамики систем (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 и (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 под действием распределенной силы $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па показан на рис. 2–5. Последовательно рассмотрим полученные результаты применительно к каждой поверхности и системе.

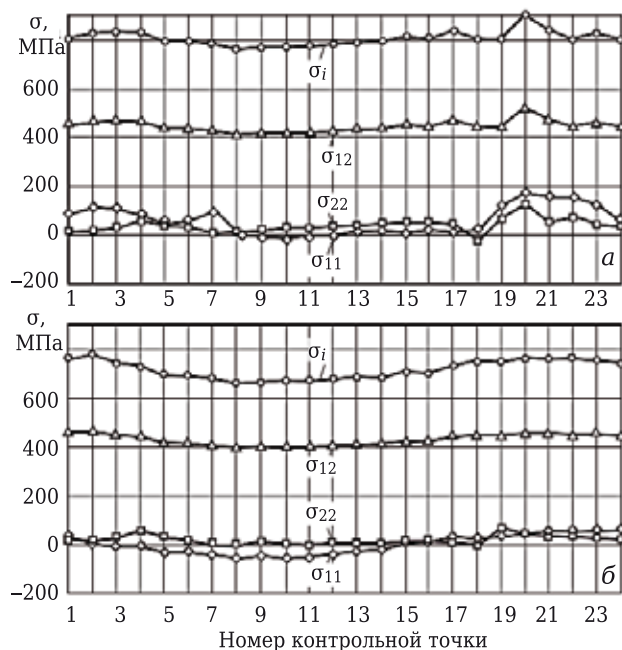


Рис. 2. Напряжения в КТ поверхности зерна керамики систем (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (а) и (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (б) под действием распределенной нагрузки $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па

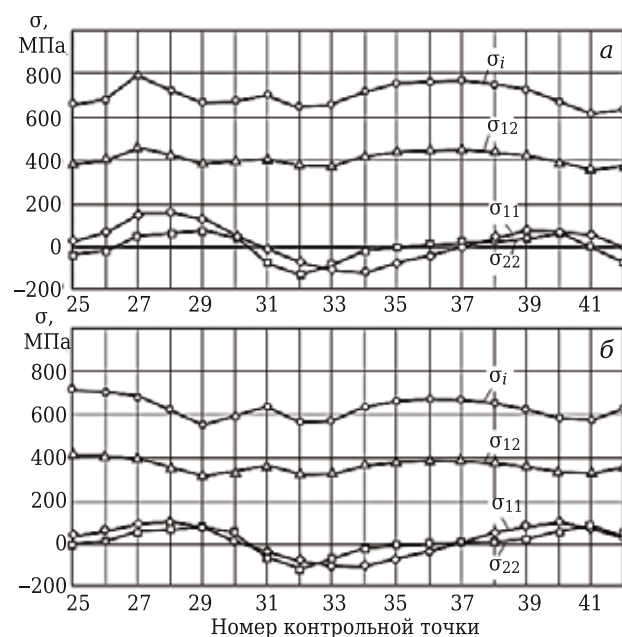


Рис. 3. Напряжения в КТ поверхности межзеренной фазы, примыкающей к зерну керамики систем (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (а) и (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (б) под действием распределенной нагрузки $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па

В поверхностном слое зерна системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (см. рис. 2, а) формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 140,24 МПа — от -11,94 в КТ10 до 128,3 МПа в КТ20 при их среднем значении (с учетом знака) $\sigma_{ср} = 41,98$ МПа и стандартном отклонении $s = 45,8$ МПа. Эти напряжения 2 раза изменяют знак: между КТ8 и КТ9 и между КТ12 и КТ13. Напряже-

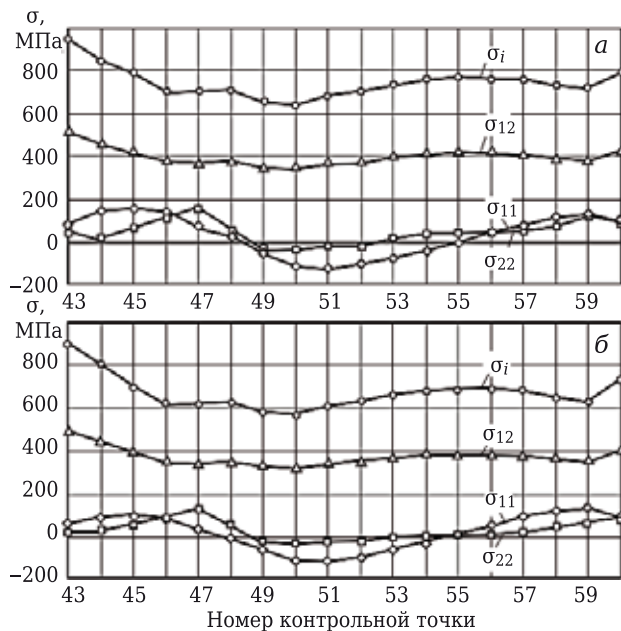


Рис. 4. Напряжения в КТ поверхности межзеренной фазы, примыкающей к матрице керамики систем (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (а) и (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (б) под действием распределенной нагрузки $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па

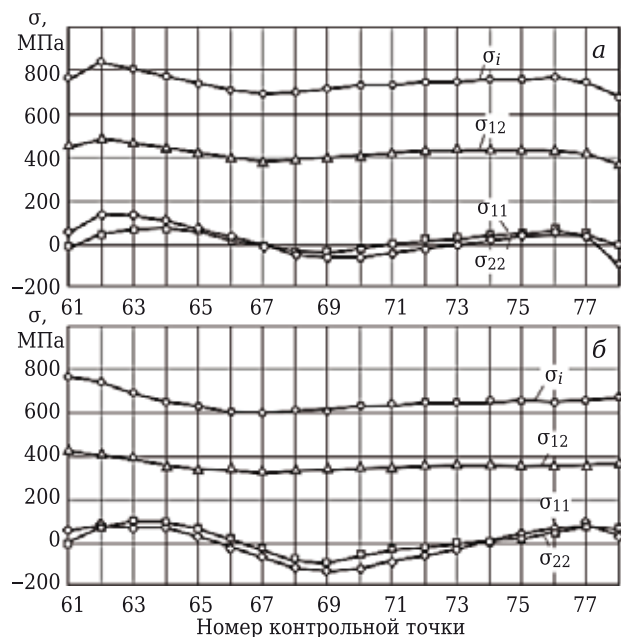


Рис. 5. Напряжения в КТ поверхности матрицы, примыкающей к межзеренной фазе керамики систем (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (а) и (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (б) под действием распределенной нагрузки $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па

ние σ_{22} изменяются в диапазоне 142,35 МПа — от -14,65 в КТ2 до 127,7 МПа в КТ20 при $\sigma_{ср} = 42,38$ МПа и $s = 27$ МПа. Кривая дважды пересекает нулевую линию — на отрезке КТ17–КТ18. Напряжение σ_{12} изменяется в диапазоне 73,3 МПа — от 436,3 в КТ8 до 509,6 МПа в КТ20 при $\sigma_{ср} = 460,95$ МПа и $s = 16,55$ МПа, при этом напряжение во всем поверхностном слое не изменяет знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 136 МПа — от 756 в КТ8 до 892 МПа в КТ20 при $\sigma_{ср} = 798,6$ МПа и $s = 29,28$ МПа. Изменение значений интенсивности напряжений σ_i в поверхностном слое зерна имеет стабильный характер.

В поверхностном слое зерна системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (см. рис. 2, б) формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 83,7 МПа — от -48,4 в КТ10 до 35,3 МПа в КТ24 при $\sigma_{ср} = -5,82$ МПа и $s = 28,59$ МПа. Эти напряжения 2 раза изменяют знак: между КТ1 и КТ2 и между КТ15 и КТ16. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 53,7 МПа — от -5,6 в КТ7 до 48,1 МПа в КТ19 при $\sigma_{ср} = 12,14$ МПа и $s = 14,23$ МПа. Кривая 5 раз пересекает нулевую линию: первый раз между КТ6 и КТ7 и четырежды на отрезке КТ7–КТ18. Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 59 МПа — от 389 в КТ8 до 448 МПа в КТ2 при $\sigma_{ср} = 419,54$ МПа и $s = 20,92$ МПа, при этом напряжение во всем поверхностном слое не изменяет знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 100 МПа — от 676 в КТ8 до 776 МПа в КТ2 при $\sigma_{ср} = 727,29$ МПа и $s = 35,74$ МПа. Изменение значений интенсивности напряжений σ_i в поверхностном слое зерна системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 также имеет стабильный характер.

В поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающей к зерну системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (см. рис. 3, а), формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 264,8 МПа — от -99 в КТ34 до 165,8 МПа в КТ28 при $\sigma_{ср} = 30,52$ МПа и $s = 83,2$ МПа. Напряжения трижды изменяют знак: первый раз — между КТ31 и КТ32, второй — между КТ36 и КТ37, третий — между КТ41 и КТ42. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 231,6 МПа — от -118,5 в КТ32 до 113,1 МПа в КТ29 при $\sigma_{ср} = 35,03$ МПа и $s = 64,33$ МПа. Кривая трижды пересекает нулевую линию: первый раз — между КТ26 и КТ27 и еще дважды на участке КТ30–КТ34. Характер кривой практически аналогичен зависимости σ_{11} . Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 97,8 МПа — от 347,6 в КТ41 до 445,4 МПа в КТ27 при $\sigma_{ср} = 396,18$ МПа и $s = 29,57$ МПа. Эти напряжения во всей поверхности не изменяют знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 175,3 МПа — от 608,7 в КТ41 до 784 МПа в КТ27 при $\sigma_{ср} = 691,96$ МПа и $s = 51,02$ МПа. Изменение значений интенсивности напряжений σ_i в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающей к зерну, имеет достаточно стабильный характер и характеризуется незначительным увеличением напряжений

на двух участках: КТ25–КТ27 (от 651 до 784 МПа) и КТ29–КТ36 (от 657 до 757 МПа).

В поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающей к зерну системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (см. рис. 3, б), формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 204,9 МПа — от -115,6 в КТ33 до 89,3 МПа в КТ28 при $\sigma_{ср} = 4,84$ МПа и $s = 69,47$ МПа. Напряжения σ_{11} дважды изменяют знак: первый раз — между КТ30 и КТ31, второй — между КТ37 и КТ38. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 213,6 МПа — от -122,5 в КТ32 до 91,11 МПа в КТ41 при $\sigma_{ср} = 12,69$ МПа и $s = 58,38$ МПа. Кривая трижды пересекает нулевую линию: первый раз — между КТ25 и КТ26 и еще дважды на участке КТ30–КТ37. Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 83,4 МПа — от 327 в КТ29 до 410,4 МПа в КТ25 при $\sigma_{ср} = 363,05$ МПа и $s = 26,19$ МПа. Напряжения σ_{12} во всем поверхностном слое не изменяют знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 134 МПа — от 572 в КТ29 до 711 МПа в КТ25 при $\sigma_{ср} = 632,83$ МПа и $s = 43,35$ МПа.

В поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающей к матрице системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32 (см. рис. 4, а), формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 267,5 МПа — от -108,1 в КТ51 до 159,4 МПа в КТ45 при $\sigma_{ср} = 40,75$ МПа и $s = 87,87$ МПа. Напряжения 2 раза изменяют знак: первый раз — между КТ48 и КТ49, второй раз — между КТ54 и КТ55. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 197,6 МПа — от -36,6 в КТ50 до 161 МПа в КТ47 при $\sigma_{ср} = 50,73$ МПа и $s = 52,93$ МПа. Кривая дважды пересекает нулевую линию: первый раз — между КТ48 и КТ49, второй раз — между КТ52 и КТ53. Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 174,6 МПа — от 367 в КТ50 до 541,6 МПа в КТ43 при $\sigma_{ср} = 425,49$ МПа и $s = 39,99$ МПа. Эти напряжения во всем поверхностном слое не изменяют знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 300,4 МПа — от 641 в КТ50 до 941,4 МПа в КТ43 при $\sigma_{ср} = 743,35$ МПа и $s = 69,44$ МПа.

В поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающей к матрице системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 (см. рис. 4, б), формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 237,3 МПа — от -127 в КТ51 до 110,3 МПа в КТ59 при $\sigma_{ср} = 5$ МПа и $s = 78,86$ МПа. Напряжения σ_{11} 2 раза изменяют знак: первый раз — между КТ47 и КТ48, второй раз — между КТ55 и КТ56. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 182,7 МПа — от -50,7 в КТ50 до 132 МПа в КТ47 при $\sigma_{ср} = 22,71$ МПа и $s = 50,65$ МПа. Кривая дважды пересекает нулевую линию: первый раз — между КТ48 и КТ49, второй — между КТ54 и КТ55. Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 161 МПа — от 330 в КТ50 до 491 МПа в КТ43 при $\sigma_{ср} = 380,11$ МПа и $s = 38,55$ МПа. Эти напряжения во всем поверхностном слое не изменяют знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 270 МПа

— от 581 в КТ50 до 851 МПа в КТ43 при $\sigma_{cp} = 663,1$ МПа и $s = 64,74$ МПа.

В поверхностном слое матрицы, примыкающей к межзеренной фазе системы $(TiC-MgO-Al_2O_3)-C\dot{H}32$ (см. рис. 5, а), формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 241,3 МПа — от -88,7 в КТ78 до 152,6 МПа в КТ62 при $\sigma_{cp} = 31,87$ МПа и $s = 69,56$ МПа. Эти напряжения трижды изменяют знак: первый раз — между КТ67 и КТ68, второй раз — между КТ72 и КТ73 и третий — между КТ77 и КТ78. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 125,1 МПа — от -30,05 в КТ69 до 95,05 МПа в КТ47 при $\sigma_{cp} = 38,94$ МПа и $s = 39,49$ МПа. Кривая 3 раза пересекает нулевую линию: первый раз — между КТ61 и КТ62 и дважды на участке КТ67–КТ70. Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 89,7 МПа — от 376,3 в КТ78 до 466 МПа в КТ62 при $\sigma_{cp} = 415,28$ МПа и $s = 21,2$ МПа. Эти напряжения на всей протяженности кривой не изменяют знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 160 МПа — от 658 в КТ78 до 818 МПа в КТ62 при $\sigma_{cp} = 722,84$ МПа и $s = 38,77$ МПа.

В поверхностном слое матрицы, примыкающей к межзеренной фазе системы $(TiC-MgO-Al_2O_3)-TiN-C\dot{H}32$ (см. рис. 5, б), формируются напряжения σ_{11} , которые изменяются в диапазоне 139 МПа — от -84 в КТ69 до 55 МПа в КТ63 при $\sigma_{cp} = -2,17$ МПа и $s = 49,29$ МПа. Напряжения 2 раза изменяют знак: первый раз — между КТ65 и КТ66, второй — между КТ73 и КТ74. Напряжения σ_{22} изменяются в диапазоне 121 МПа — от -50 в КТ69 до 71 МПа в КТ64 при $\sigma_{cp} = 16,19$ МПа и $s = 36,8$ МПа. Кривая на коротком участке дважды пересекает нулевую линию: первый раз — между КТ66 и КТ67, второй — между КТ72 и КТ73. Напряжения σ_{12} изменяются в диапазоне 88 МПа — от 345 в КТ67 до 433 МПа в КТ61 при $\sigma_{cp} = 374,83$ МПа и $s = 22,36$ МПа, при этом напряжение на всей протяженности кривой не изменяет знак. Интенсивность напряжений σ_i изменяется в диапазоне 153 МПа — от 599 в КТ67 до 752 МПа в КТ61 при $\sigma_{cp} = 650,78$ МПа и $s = 38,84$ МПа.

Влияние покрытия из TiN на стандартное отклонение значений интенсивности напряжений в КТ в поверхностном слое структурных элементов двух систем показано на рис. 6.

Наибольшее значение стандартного отклонения ($s = 69,43$ МПа) зафиксировано в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающей к матрице в системе $(TiC-MgO-Al_2O_3)-C\dot{H}32$, а наименьшее ($s = 29,3$ МПа) — в поверхностном слое зерна этой системы. В поверхностном слое зерна керамики с покрытием отмечено увеличение стандартного отклонения интенсивности напряжений σ_i в 1,2 раза по сравнению с керамикой без покрытия. Покрытие уменьшает значение стандартного отклонения σ_i в 1,2 и 1,1 раза в поверхностных слоях межзеренной фазы, примыкающей к зерну и матрице. Покрытие не изменяет значение стандартного отклонения σ_i в поверхностном слое матрицы.

Исследовали влияние распределенной нагрузки на напряжения σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и σ_i в разных поверхностях элементов структуры систем $(TiC-MgO-Al_2O_3)-C\dot{H}32$ и $(TiC-MgO-Al_2O_3)-TiN-C\dot{H}32$. Для этого конструкцию последовательно нагружали распределенной нагрузкой P , равной $1,5 \cdot 10^8$, $2,5 \cdot 10^8$ и $4,0 \cdot 10^8$ Па. Для анализа в каждой системе использовали КТ, в которых зафиксированы наибольшие значения напряжений. Список таких КТ приведен в таблице. В качестве примера на рис. 7 показаны результаты этих

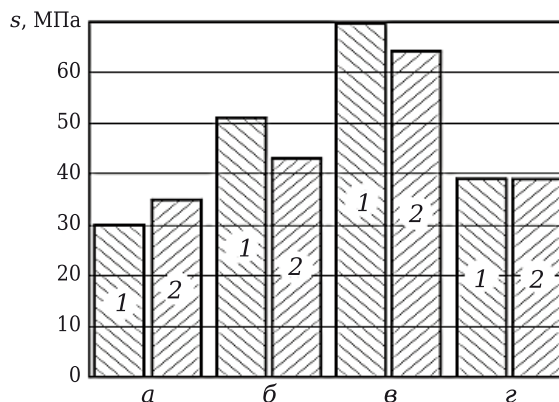


Рис. 6. Стандартное отклонение s интенсивности напряжений в поверхностном слое зерна (а), межзеренной фазы, примыкающей к зерну (б) и матрице (в), матрицы, примыкающей к межзеренной фазе (з), систем $(TiC-MgO-Al_2O_3)-C\dot{H}32$ (1) и $(TiC-MgO-Al_2O_3)-TiN-C\dot{H}32$ (2) под действием распределенной нагрузки $P = 4,0 \cdot 10^8$ Па

Расположение КТ на поверхности	$(TiC-MgO-Al_2O_3)-C\dot{H}32$	$(TiC-MgO-Al_2O_3)-TiN-C\dot{H}32$
Зерна	КТ20	КТ2
Межзеренной фазы, примыкающей к зерну	КТ27	КТ25
Межзеренной фазы, примыкающей к матрице	КТ43	КТ43
Матрицы	КТ62	КТ61

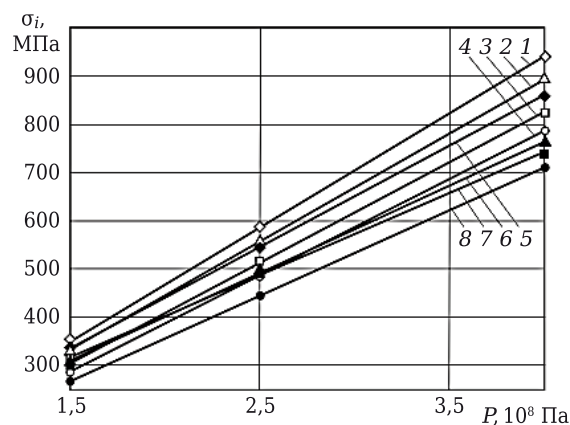


Рис. 7. Влияние распределенной силы P на интенсивность напряжений σ_i в поверхности зерна (1, 4), межзеренной фазы, примыкающей к зерну (2, 5) и матрице (3, 6), матрицы, примыкающей к межзеренной фазе (4, 8) разных систем: 1–4 — система $(TiC-MgO-Al_2O_3)-C\dot{H}32$; 5–8 — система $(TiC-MgO-Al_2O_3)-TiN-C\dot{H}32$

численных экспериментов относительно интенсивности напряжений σ_i .

Установлено, что при повышении сосредоточенной силы линейно увеличиваются значения σ_i в поверхностных слоях всех структурных элементов керамики. Наиболее заметное увеличение зафиксировано в поверхностных слоях структурных элементов системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32, а наименьшее — системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что покрытие TiN толщиной 5 мкм принципиально не изменяет схему деформирования структурных элементов оксидно-карбидной керамики под действием распределенной силовой нагрузки. Положительный эффект этого покрытия на напряженно-деформированное состояние поверхности структурных элементов оксидно-карбидной керамики проявляется прежде всего в уменьшении диапазона изменения напряжений σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и интенсивности напряжений σ_i . При этом выявлено неоднозначное влияние покрытия на напряженно-деформированное состояние поверхности структурных элементов оксидно-карбидной керамики.

Наиболее чувствителен к покрытию поверхностный слой зерна, в котором диапазон изменения σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и σ_i уменьшился в 1,24–2,65 раза, причем диапазон изменения σ_i в этом слое уменьшился в 1,36 раза. В поверхностных слоях межзеренной фазы, примыкающих к зерну и к матрице, а также в поверхностном слое матрицы зафиксировано уменьшение диапазона изменения σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и σ_i в 1,1–1,29, 1,09–1,12 и 1,02–1,73 раза соответственно. Диапазон изменения σ_i в этих же поверхностных слоях уменьшился в 1,26, 1,11 и 1,05 раза соответственно, что свидетельствует о существенной значимо-

сти масштабного фактора во влиянии покрытия TiN на напряженно-деформированное состояние поверхности структурных элементов оксидно-карбидной керамики под действием распределенной силовой нагрузки.

К позитивным изменениям также следует отнести уменьшение максимальных и средних напряжений в КТ поверхности всех структурных элементов керамики системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 по сравнению с показателями керамики системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32.

При этом покрытие неоднозначно влияет на неоднородность напряжений в поверхностном слое структурных элементов керамики. Зафиксировано уменьшение стандартного отклонения σ_{11} , σ_{22} , σ_{12} и σ_i в КТ поверхности межзеренной фазы, примыкающей к зерну и матрице. В КТ поверхности зерна и матрицы керамики системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–TiN–СЧ32 стандартные отклонения σ_{11} и σ_{22} уменьшаются, а σ_{12} и σ_i увеличиваются по сравнению с показателями керамики системы (TiC–MgO–Al₂O₃)–СЧ32.

Покрытие практически не изменяет число смен знака напряжений в КТ поверхности структурных элементов оксидно-карбидной керамики под действием распределенной нагрузки, но увеличивает этот показатель с 2 до 5 в отношении напряжения σ_{22} в поверхностном слое зерна.

Изменение напряженно-деформированного состояния основных структурных элементов необходимо учитывать при проектировании изделий из оксидно-карбидной керамики для заданных условий эксплуатации.

* * *

Работа финансировалась Министерством образования и науки РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности МГТУ «СТАНКИН».

Библиографический список

1. Григорьев, С. Н. Влияние силовых нагрузок на напряженно-деформированное состояние режущих пластин из оксидной керамики / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, Д. Буртон [и др.] // Вестник машиностроения. — 2012. — № 1. — С. 67–71.
2. Grigor'ev, S. N. Influence of loads on the stress-strain state of aluminum-oxide ceramic cutting plates / S. N. Grigor'ev, V. V. Kuzin [et al.] // Russian Engineering Research. — 2012. — Vol. 32, № 1. — P. 61–67.
3. Кузин, В. В. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 1. Влияние сложного механического нагружения / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, В. Н. Ермолин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 10. — С. 47–51.
4. Kuzin, V. V. Stress inhomogeneity in a ceramic surface layer under action of an external load. Part 1. Effect of complex mechanical loading / V. V. Kuzin, S. N. Grigor'ev, V. N. Ermolin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 5. — P. 416–419.
5. Кузин, В. В. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней

нагрузки. Часть 3. Влияние распределенной силовой нагрузки / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, В. Н. Ермолин // Новые огнеупоры. — 2014. — № 1. — С. 42–46.

Kuzin, V. V. Stress inhomogeneity in a ceramic surface layer under action of an external load. Part 3. Effect of a distributed force load / V. V. Kuzin, S. N. Grigor'ev, V. N. Ermolin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 1. — P. 36–39.

4. Григорьев, С. Н. Напряженно-деформированное состояние инструментов из нитридной керамики с покрытием / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, М. А. Волосова // Вестник машиностроения. — 2012. — № 6. — С. 64–69.

Grigor'ev, S. N. Stress-strain state of a coated nitride-ceramic tool / S. N. Grigor'ev, V. V. Kuzin, M. A. Volosova // Russian Engineering Research. — 2012. — Vol. 32, № 7/8. — P. 561–566.

5. Волосова, М. А. Влияние покрытия из нитрида титана на структурную неоднородность напряжений в оксидно-карбидной керамике. Часть 1. Методика исследования / М. А. Волосова, С. Н. Григорьев, В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2014. — № 8. — С. 28–31.

6. Кузин, В. В. Микроструктурная модель керамической режущей пластины / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2011. — № 5. — С. 72–76.

Kuzin, V. V. Microstructural model of ceramic cutting plate / V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2011. — Vol. 31, № 5. — P. 479–483.

7. Кузин, В. В. Математическая модель напряженно-деформированного состояния керамической режущей пластины / В. В. Кузин, В. И. Мяченков // Вестник машиностроения. — 2011. — № 10. — С. 75–80.

Kuzin, V. V. Stress-strain state of ceramic cutting plate / V. V. Kuzin, V. I. Myachenkov // Russian Engineering Research. — 2011. — Vol. 31, № 10. — P. 994–1000.

8. Григорьев, С. Н. Автоматизированная система термомпрочностных расчетов керамических режущих пла-

стин / С. Н. Григорьев, В. И. Мяченков, В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2011. — № 11. — С. 26–31.

Grigor'ev, S. N. Automated thermal-strength calculations of ceramic cutting plates / S. N. Grigor'ev, V. I. Myachenkov, V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2011. — Vol. 31, № 11. — P. 1060–1066.

9. Kuzin, V. Method of investigation of the stress-strain state of surface layer of machine elements from a sintered nonuniform material / V. Kuzin, S. Grigoriev // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 486. — P. 32–35. ■

Получено 30.05.14

© М. А. Волосова, С. Н. Григорьев,
В. В. Кузин, 2014 г.

Д. Т. Н. С. А. Ляпцев, д. т. н. В. Я. Потапов, д. т. н. С. Я. Давыдов (✉),
к. т. н. В. В. Потапов, Л. А. Семериков, Е. А. Васильев

ФБГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 622.77.091: 622.567.6

КЛАССИФИКАЦИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ УДАРЕ О РАЗДЕЛИТЕЛЬНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Приведено основное уравнение динамики, характеризующее поведение частиц при ударе о разделительную поверхность. Представлены результаты расчета угла и скорости отражения, времени и абсциссы падения после удара частиц некоторых материалов (угольных сланцев, асбеста).

Ключевые слова: методика, фрикционные характеристики, дифференциальные уравнения, графические зависимости.

В последние годы в практике разработки конструкций строительных и горных машин для разделения и классификации руд используют различие в трении и упругости минералов. Машины этого принципа действия применяют в основном для разделения неметаллических полезных ископаемых, таких как доломит, гранит, асбест, слюда, а также могут быть использованы для очищения глин от твердых включений при производстве огнеупоров и керамики [1–6].

Основной недостаток существующих машин, основанных на эффектах взаимодействия горной массы с рабочей поверхностью аппаратов, — разделение горных пород не по комплексу физико-механических свойств, а по одному наиболее контрастному признаку: трению, упругости, форме или твердости. Внедрение новых аппаратов

по одному признаку разделения лишь частично обеспечивает возможности качественного разделения горных пород.

Наиболее перспективным направлением в совершенствовании и проектировании разделительных аппаратов является создание конструкций, в которых при разделении учитывается комплекс физико-механических свойств горных пород, что обеспечивает более полное разделение полезных ископаемых в одном аппарате.

Физико-механические характеристики пород в литературе представлены в основном одним статическим коэффициентом трения, а сведения об упругих свойствах минералов практически отсутствуют. В разных источниках одни те же минералы имеют разные значения коэффициентов: трения, восстановления и мгновенного трения при ударе, формы и твердости. В настоящей статье рассмотрено поведение частиц при ударе о наклонную поверхность.

При ударе частицы об упругую шероховатую плоскость происходит изменение величины и направления скорости частицы из-за ударного и фрикционного воздействия. Частицы с разными



С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@mail.ru

коэффициентами трения и восстановления при ударе имеют различные величины и направления скорости после удара, поэтому коэффициенты восстановления при ударе и трения могут служить разделительными признаками [1].

На рис. 1 изображена схема взаимодействия частицы с наклонной плоскостью при ударе. Если частицы падают на наклонную плоскость вертикально, то угол α падения частицы (с нормалью к плоскости) равен углу наклона плоскости. Основное уравнение динамики при ударе [2] записываем в проекциях на касательную τ и нормаль n :

$$\begin{cases} mU \sin\beta - m V \sin\alpha = -S_{\text{тр}}, \\ mU \cos\beta + m V \cos\alpha = -S_n, \end{cases} \quad (1)$$

где β — угол отражения, град.

При этом, согласно гипотезе Пауса [2]:

$$S_{\text{тр}} = f S_n, \quad (2)$$

где f — коэффициент трения при ударе.

Кроме того, из определения коэффициента восстановления при ударе k [2] следует, что

$$U \cos\beta = k V \cos\alpha. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1)–(3), получим

$$\beta = \arctg \left[\frac{1}{k} (\tg\alpha - f) - f \right], \quad (4)$$

$$U = \frac{k V \cos\alpha}{\cos\beta}.$$

Дальнейшее движение частицы после отражения, пренебрегая сопротивлением воздуха, полагаем свободным падением. В системе координат xy (см. рис. 1) уравнения свободного падения имеют вид

$$\begin{cases} x = U t_n \sin(\alpha + \beta), \\ y = \frac{1}{2} g t_n^2 - U t_n \cos(\alpha + \beta), \end{cases} \quad (5)$$

где t_n — время падения частицы после удара, с.

Частица упадет на горизонтальную плоскость при $y = h$, поэтому для определения времени падения имеем квадратное уравнение

$$\frac{1}{2} g t_n^2 - U t_n \cos(\alpha + \beta) - h = 0, \quad (6)$$

где h — расстояние до горизонтальной плоскости, м.

Откуда

$$t_n = \frac{U \cos(\alpha + \beta) + \sqrt{U^2 \cos^2(\alpha + \beta) + 2gh}}{g}. \quad (7)$$

Подставляя время падения в первое уравнение системы (5), получим дальность полета частицы в виде

$$x_{\text{max}} = U t_n \sin(\alpha + \beta). \quad (8)$$

В работе [3] приведены некоторые значения коэффициентов восстановления k_n и трения f_n , полученные экспериментально. В частности, для из-

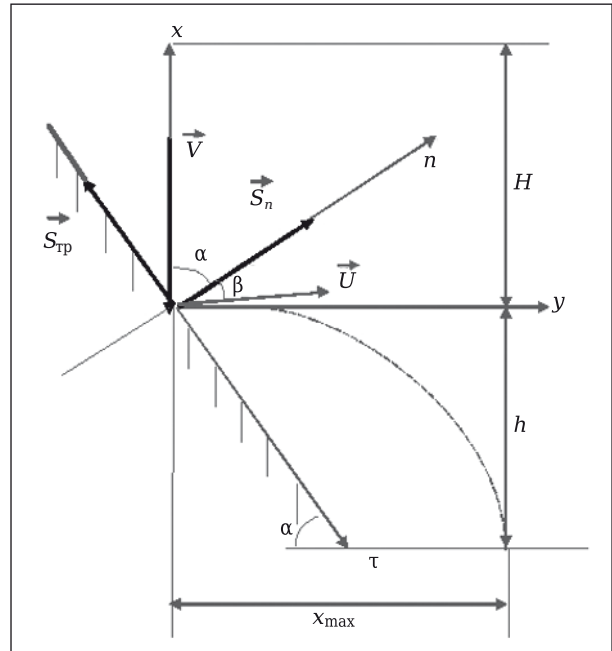


Рис. 1. Схема удара частицы о наклонную плоскость: V и U — скорости частицы перед ударом и после удара; S_n и $S_{\text{тр}}$ — импульсы нормальной реакции и трения

верженных пород $k_n = 0,52$, $f_n = 0,16$, а для сланцев $k_c = 0,32$, $f_c = 0,27$. Произведем вычисления по формулам (4), (5), (7), (8) для данных значений коэффициентов (см. таблицу). Для сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными используем представленные в выборке [3, с. 27] значения: высота, с которой бросают частицы, $H = 0,5$ м, угол наклона разделительной плоскости $\alpha = 35^\circ$. Получим в обоих случаях $V = \sqrt{2gH} = 3,13$ м/с. В результате расчетов установлено, что разница между абсциссами точек падения изверженных пород и сланцев составит 0,19 м.

Как показывают экспериментальные исследования [4], фактический разброс агрегатов волокон асбестовых горных пород на плоскости падения значительно больше. Основной причиной значительного рассеяния дальности отскока агрегатов волокон является их вытянутая форма, приводящая к косому удару. В этом случае центр тяжести частицы значительно смещен от линии удара. У частиц породы, имеющих округлую форму, относительное среднеквадратичное отклонение дальности их отражения при углах наклона плоскости $20\text{--}30^\circ$, как правило, составляет 30–40 %.

Результаты расчета угла, скорости, времени и абсциссы падения частицы после удара

Сырье	Угол отражения β , град	Скорость отражения U , м/с	Время падения t_n , с	Абсцисса падения x_{max} , м
Изверженные породы	41,3	1,77	0,29	0,50
Сланцы	47,1	1,20	0,26	0,31

Упругие свойства вмещающей породы, которые можно оценивать величиной отскока $\chi_{\max}$ частицы от плиты, в незначительной мере зависят от крупности частиц. Для интервала крупности $d = 35 \div 63$ мм зависимость между ними аппроксимируется уравнением $\chi_{\max} = 44 + 83,2 / d$ с корреляционным отношением 0,864 (рис. 2).

Как для породных частиц, так и для нераспущенного асбестового волокна эффект взаимодействия с поверхностью разделения зависит от высоты подачи продукта и угла наклона поверхности к горизонту (рис. 3).

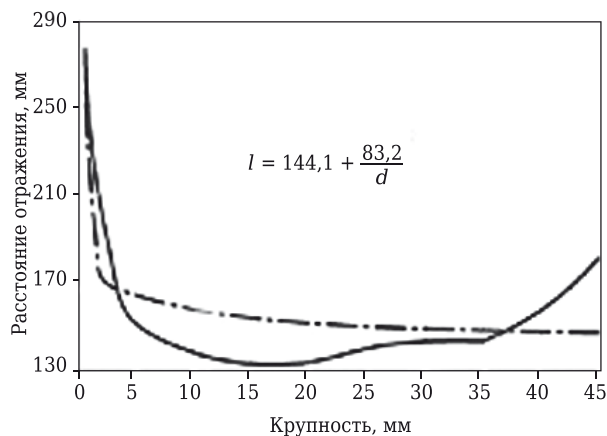


Рис. 2. Зависимость расстояния отражения частиц породы от их крупности после взаимодействия с наклонной плоскостью: — экспериментальная кривая; --- расчетная кривая

Библиографический список

1. **Потапов, В. Я.** Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В. Я. Потапов, Е. Ф. Цыпин, С. А. Ляпцев, А. И. Афанасьев // Изв. вузов. Горный журнал. — 1998. — № 5/6. — С. 103–108.
2. **Вебер, Г. Э.** Дополнительные главы механики для горных инженеров / Г. Э. Вебер, С. А. Ляпцев. — Свердловск : УрГУ, 1989. — 199 с.
3. **Ляпцев, С. А.** Аппараты для разделения горных пород по упруго-фрикционным свойствам / С. А. Ляпцев, В. Я. Потапов, А. И. Афанасьев. — Саарбрюкен : LAPLAMBERT Academic Publishing, 2014. — 90 с.
4. **Потапов, В. Я.** Совершенствование конструкции сепаратора с неподвижной разделительной поверхностью / В. Я. Потапов, П. И. Радаев // Материалы Уральской горнопромышленной декады. — Екатеринбург : УГГУ-УПИ, 3–13 апреля 2011. — С. 365–366.

В ходе экспериментов уточнены физические характеристики частиц асбестовых и углеродсодержащих формаций, в частности значения коэффициентов трения при ударе, характеризующих относительное снижение проекции скорости частиц на плоскость удара.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические закономерности, описанные выше. Это позволяет при наличии минерального состава руды проводить оптимизацию процесса разделения на разделительной плоскости [5, 6].

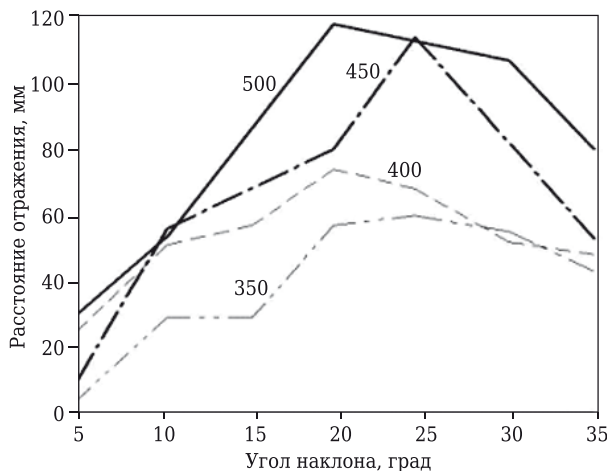


Рис. 3. Зависимость расстояния отражения частиц породы крупностью $-35 \div 20$ мм при различных высотах подачи и угла наклона плоскости. Высота подачи указана на кривых, мм

5. **Потапов, В. Я.** Выделение твердых включений из глинистого сырья по трению и упругости / В. Я. Потапов, С. Я. Давыдов, В. В. Потапов // Новые огнеупоры. — 2013. — № 8. — С. 10–12.
- Potapov, V. Ya.** Separation of solid inclusions from clay stock on the basis of friction and elasticity / V. Ya. Potapov, S. Ya. Davydov, V. V. Potapov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 54, № 4. — P. 278–280.
6. **Потапов, В. Я.** Использование фрикционных сепараторов для выделения твердых включений из глиноземов / В. Я. Потапов, С. Я. Давыдов, В. В. Потапов // Новые огнеупоры. — 2013. — № 3. — С. 5. ■

Получено 04.07.14

© С. А. Ляпцев, В. Я. Потапов,
С. Я. Давыдов, В. В. Потапов, Л. А. Семериков,
Е. А. Васильев, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



9-я Международная конференция по высокотехнологичной керамике (CICC)

4-7 ноября 2015 г.

г. Гуйлинь, Китай

www.ccs-cicc.com/CICC-9

Б. Ма (✉), И. Ли (✉), Г. Лиу, Ч. Ли

Факультет материаловедения и металлургии Северо-Восточного университета, г. Шеньян, Китай

УДК 666.762.1-127

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРОИЗВОДСТВО И СВОЙСТВА ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ Al_2O_3

Пористая керамика на основе Al_2O_3 (АРС) с успехом изготавливается методом реплики полимерной губки (polymeric sponge replica method)*. При этом в качестве основного сырьевого материала используется порошок белого плавленного корунда. Исследовано влияние содержания диоксида циркония (0–12 мас. %), температуры спекания (1450–1550 °С) и продолжительности выдержки (2–6 ч) на фазовый состав, макроструктуру, микроструктуру, свойства после спекания, предел прочности при сжатии и термостойкость АРС. Пористую керамику на основе Al_2O_3 , обладающую сверхтонкой микроструктурой, можно получить путем добавки ZrO_2 . Было обнаружено, что свойства АРС в большой степени зависят от параметров технологического процесса. АРС, обладающую большой пористостью (88,9 %), высоким показателем предела прочности при сжатии (0,52 МПа) и хорошей термостойкостью (19 теплосмен) можно изготовить путем обжига образца, содержащего 8 мас. % ZrO_2 , при 1500 °С и выдержке 2 ч.

Ключевые слова: пористая керамика, Al_2O_3 , ZrO_2 , метод реплики полимерной губки, измельчение зерен.

ВВЕДЕНИЕ

Поскольку пористая керамика с заданными характеристиками обладает такими свойствами, как высокая температура плавления, хорошая стойкость к коррозии и износу, ей уделяется все большее внимание и ее широко применяют в качестве фильтров для расплавленного металла и горячего коррозионного газа, а также в условиях каталитических реакций, в горелках и др. [1, 2]. В производстве пористой керамики используются различные методы: реплики полимерной губки [3–5], ледового шаблона (ice-templated process) [6, 7], формования с помощью геля (gel casting process) [8, 9], формования замораживанием (freeze casting process) [10, 11], с использованием веществ, образующих поры (pore forming agent process) [12, 13], рекристаллизации (recrystallization process) [14], и др. Кс. В. Жу и др. (X. W. Zhu et al.) [3] изготовили пенокерамику из $SiC-Al_2O_3$ с помощью метода реплики полимерной губки. При этом показатель предела прочности при сжатии такой керамики, спеченной при 1350 °С с выдержкой 1 ч, достиг 2,89 МПа. С. Девиль и др. (S. Deville et al.) [6] получили многослойные пористые структуры из

Al_2O_3 , обладающие однородным хорошо структурированным строением, с помощью метода ледового шаблона. А. Прайс и др. (A. Preiss et al.) [11] изготовили пористую $Al_2O_3-ZrO_2$ -керамику с упорядоченными открытыми порами с помощью метода формования замораживанием (cooling freeze casting method). Технология реплики полимерной губки была впервые предложена К. Зеврцальдером (K. Schwrtzalter) [15] в 1963 г. С того времени она широко применяется в производстве пористой керамики из Al_2O_3 , SiC , муллитовой пористой керамики [3–5, 16, 17].

В нашем исследовании для изготовления пористой керамики на основе Al_2O_3 применен метод реплики полимерной губки. Диоксид циркония добавляли в керамический шлам из Al_2O_3 , чтобы улучшить микроструктуру и свойства керамики. Было исследовано влияние содержания ZrO_2 , температуры спекания и продолжительности выдержки на фазовый состав, макроструктуру, микроструктуру, открытую пористость, кажущуюся плотность, линейную усадку, предел прочности при сжатии и термостойкость пористой керамики на основе Al_2O_3 .

ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

Сырьевые материалы

В качестве сырья использовали имеющиеся в продаже порошки плавленного белого корунда (Al_2O_3 >99,55 мас. %, средний диаметр частиц 0,85 мкм) и диоксида циркония (ZrO_2 >99,0 мас. %, средний диаметр частиц 0,33 мкм). Для улучшения свойств керамических шламов и полимерной губки исполь-

* Полимерная губка пропитывается керамическим шламом, высушивается и спекается при определенной температуре. (Примеч. переводчика).

✉
Б. Ма
E-mail: maby@smm.neu.edu.cn
И. Ли
E-mail: liying@mail.neu.edu.cn

зовали добавки некоторых химических реагентов: каолинита (средний диаметр частиц 0,63 мкм), натриевой карбоксиметилцеллюлозы (СМС), полиакрилата натрия (РААС), поливинилового спирта (POVAL), трибутилфосфата (ТВР) и гидроксида натрия (NaOH). Каолинит обладает хорошей пластичностью и сочетаемостью и способен улучшить свойства керамических шламов таким образом, что они деформируются без излома во время экструзии, а прочность их после сушки значительно возрастает. СМС, РААС, POVAL и ТВР использовали, соответственно, для модификации поверхности, улучшения реологии, дисперсии, адгезионного связывания при высоких температурах, уменьшения образования пены. Полимерную губку (размер пор 25 рр) применяли в качестве реплики для производства АРС. Предварительно полимерную губку обрабатывали раствором NaOH, чтобы улучшить шероховатость поверхности и еще более увеличить количество осевшего на губку шлама.

Предварительная обработка полимерной губки

Были изготовлены полимерные губки размерами $(50 \pm 1) \times (50 \pm 1) \times (10 \pm 1)$ мм. Губки помещали в раствор NaOH (6,5 моль/л), нагревали до 60 °С, выдерживали при этой температуре в течение 8 ч, затем тщательно отмывали и высушивали на воздухе. Далее была проведена модификация поверхности с помощью раствора СМС (1 мас. %) в течение 12 ч. Остатки раствора, прилипшие к поверхности полимерных губок, отмывали, затем губки снова тщательно просушивали на воздухе.

Подготовка керамических шламов

Керамические шламы на основе Al_2O_3 (содержание твердого вещества 50 мас. %) были приготовлены следующим образом: сначала белый плавленный корунд в виде порошка, диоксид циркония, каолинит и прочие добавки взвешивали в количестве, приведенном в таблице. Затем нагревали POVAL на водяной бане до растворения, после чего переливали его в лабораторный стакан с определенным количеством дистиллированной воды. В лабораторный стакан добавляли СМС и РААС и растворяли их, затем добавляли ТВР, который растворился с образованием пузырьков. В подготовленный раствор вводили порошок белого плавленого корунда, диоксид циркония и каолинит и перемешивали смесь в течение 10 ч до образования керамического шлама. Керамический шлам измельчали в течение 12 ч.

Количество сырьевых компонентов для изготовления керамического шлама, мас. %

Образец	Порошок белого плавленого корунда	Диоксид циркония	Каолинит	Массовая доля СМС, РААС, POVAL и ТВР
Z0	87	0	10	3
Z4	83	4	10	3
Z8	79	8	10	3
Z12	75	12	10	3

Изготовление образца

Полимерные губки после предварительной обработки помещали для смачивания в заранее подготовленный керамический шлам (содержание твердого вещества 50 мас. %). Излишки шлама удаляли методом экструзии с помощью двух стеклянных стержней. Затем губки были тщательно высушены в течение 12 ч и спечены при 1450, 1500 и 1550 °С с выдержкой 2, 4 и 6 ч соответственно.

Показатели свойств образцов

Были определены следующие показатели спеченных образцов керамики АРС: фазовый состав, микроструктура, линейная усадка, открытая пористость, кажущаяся плотность, предел прочности при сжатии, термостойкость. Фазовый состав образцов был исследован методом рентгеновской порошковой дифракции (CuK_{α} -излучение, 30 кВт, 30 мА), микроструктура исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM).

Линейная усадка ΔL , %, спеченных образцов была рассчитана согласно уравнению

$$\Delta L = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \cdot 100 \%. \quad (1)$$

Открытая пористость P_a , %, и кажущаяся плотность D_b , г/см³, спеченных образцов были определены методом погружения в воду в условиях вакуума, т. е. согласно закону Архимеда. Расчеты произведены по уравнениям [18]:

$$P_a = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

$$D_b = \frac{m_1 d}{m_3 - m_2}, \quad (3)$$

где L_0 и L_1 — высота образца до и после спекания, мм; m_1 — масса высушенного на воздухе образца, г; m_2 — масса образца в воде, г; m_3 — масса образца с пузырьками на поверхности, г; d — плотность воды, г/см³.

Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ был определен с помощью универсального измеряющего устройства марки СМТ5105. Скорость нагружения составила 0,5 мм/мин. Размеры образца: $(50 \pm 1) \times (50 \pm 1) \times (10 \pm 1)$ мм. Предел прочности при сжатии CS , МПа, рассчитывали по уравнению [18]:

$$CS = \frac{P}{A}, \quad (4)$$

где P — максимальная нагрузка, необходимая для разрушения образца, Н; A — площадь сжатой зоны образца, мм².

Испытания на термостойкость проводили в высокотемпературной печи сопротивления [18]. Печь сначала нагревали до 800 °С в течение определенного времени, затем в нее на 15 мин помещали образец, после чего образец вынимали из печи и охлаждали на воздухе в течение 15 мин. Цикличе-

ское температурное воздействие оказывалось до появления заметных трещин. Число циклов характеризовало термостойкость пористой керамики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние содержания диоксида циркония

На рис. 1–3 представлены графики рентгеновской дифракции и структурные изображения образцов из пористой керамики с содержанием диоксида циркония 0 (образец Z0), 4 (Z4), 8 (Z8) и 12 мас. % (Z12). Образцы были спечены при 1500 °C и выдержке 2 ч. Спеченная пористая керамика состоит из α - Al_2O_3 и m - ZrO_2 . Никаких новых фаз там не появилось (см. рис. 1). Согласно фазовой диаграмме двухкомпонентного вещества Al_2O_3 – ZrO_2 [19], ZrO_2 не может сосуществовать с Al_2O_3 , а их общая точка плавления достигла 1710 °C. С повышением содержания ZrO_2 в образце дифракционная интенсивность α - Al_2O_3 ослабла, а интенсивность m - ZrO_2 усилилась.

В образцах наблюдается много больших открытых пор, причем по диаметру они распределены хорошо. Небольшое количество пор заполнено керамическим шламом (см. рис. 2). Не было обнаружено распирающих трещин (strut cracks) и очень тонких распирающих трещин (struts). На фотографиях микроструктуры видно, что частицы ZrO_2 белого цвета равномерно распределены по матрице из Al_2O_3 серого цвета (см. рис. 3). Рост зерен Al_2O_3 можно успешно ограничить с помощью добавки ZrO_2 . Средний размер зерен Al_2O_3 удалось постепенно уменьшить, увеличивая количество добавки ZrO_2 от 0 до 8 мас. %. Однако при добавке 12 мас. % ZrO_2 размер зерен матрицы больше не уменьшается, происходит агломерация некоторого количества микрочастиц. Средний размер зерна Al_2O_3 в образцах Z0 и Z8 достиг 5–10 и 1–5 мкм соответственно. Уменьшение среднего размера зерен Al_2O_3 , происходящее в результате добавки ZrO_2 , было замечено также В. Х. Туаном (W. H. Tuan et al.) [20] и Э. Гойценсом (E. Geuzens et al.) [21].

На рис. 4–6 показано воздействие диоксида циркония на предел прочности при сжатии, линейную усадку, открытую пористость, кажущуюся плотность и термостойкость образцов из пористой керамики на основе Al_2O_3 , спеченных при 1500 °C с выдержкой 2 ч. Было обнаружено, что предел прочности при сжатии, линейная усадка, открытая пористость и термостойкость образцов Z0, Z4 и Z8 постепенно повышаются по мере увеличения содержания ZrO_2 от 0 до 8 мас. %. Однако при пористости, определенной в образце Z12, показатели вышеперечисленных свойств снизились. Кажущаяся плотность образцов Z0–Z12 также снизилась по мере увеличения содержания ZrO_2 . При добавке 8 мас. % ZrO_2 показатели

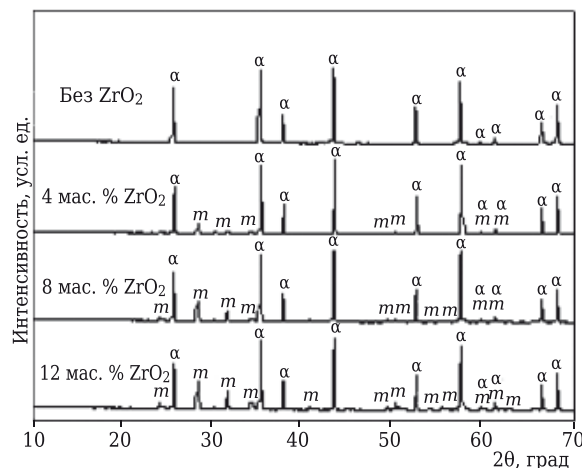


Рис. 1. Графики рентгеновской дифракции образцов Z0–Z12 из пористой керамики на основе Al_2O_3 . Образцы спечены при 1500 °C с выдержкой 2 ч

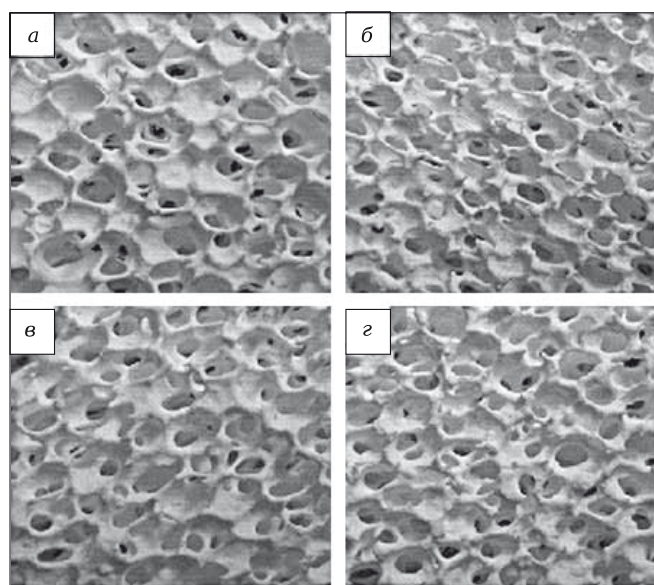


Рис. 2. Макроструктура образцов Z0–Z12 пористой керамики на основе Al_2O_3 , спеченной при 1500 °C с выдержкой 2 ч. Содержание ZrO_2 , мас. %: а – 0; б – 4; в – 8; г – 12

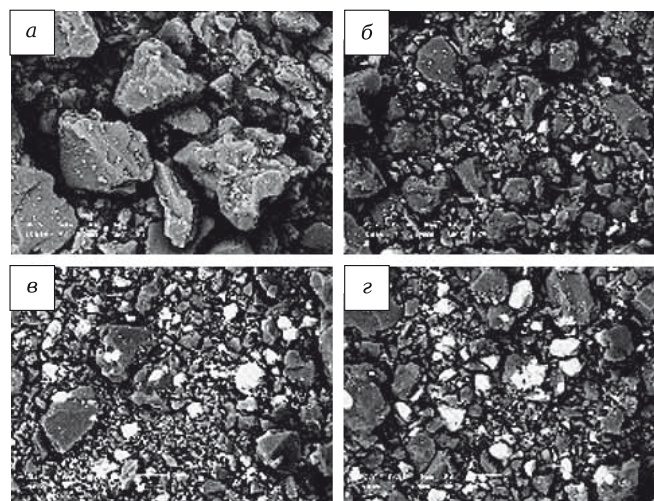


Рис. 3. Микроструктура образцов Z0–Z12 пористой керамики на основе Al_2O_3 , спеченной при 1500 °C с выдержкой 2 ч. Содержание ZrO_2 , мас. %: а – 0; б – 4; в – 8; г – 12

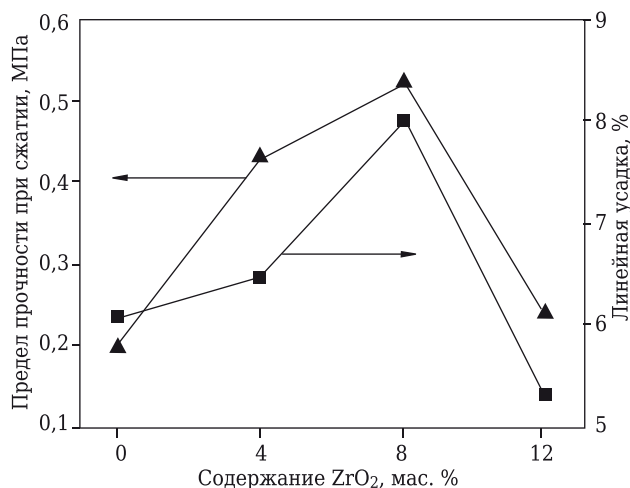


Рис. 4. Зависимость предела прочности при сжатии и линейной усадки образцов Z0-Z12, спеченных при 1500 °С с выдержкой 2 ч, от содержания ZrO₂

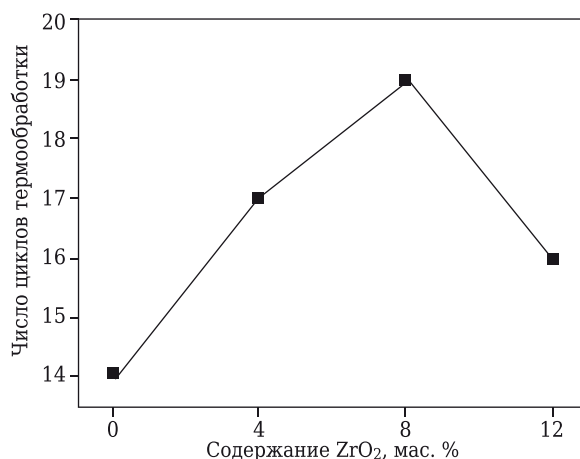


Рис. 6. Зависимость термостойкости образцов Z0-Z12, спеченных при 1500 °С с выдержкой 2 ч, от содержания ZrO₂

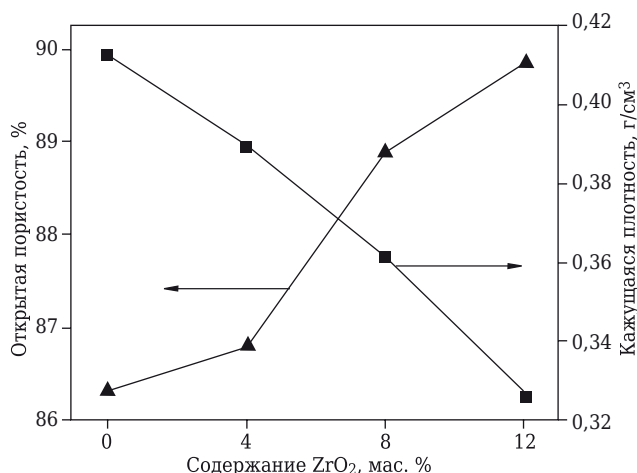


Рис. 5. Зависимость открытой пористости и кажущейся плотности образцов Z0-Z12, спеченных при 1500 °С с выдержкой 2 ч, от содержания ZrO₂

предела прочности при сжатии, линейной усадки и термостойкости образцов достигли максимальных величин, а именно: 0,52 МПа, 8,0 % и 19 циклов (см. рис. 4 и 6). При содержании ZrO₂ 12 мас. % открытая пористость образца Z12 достигла 89,9 %, а соответствующий минимум кажущейся плотности составил 0,33 г/см³ (см. рис. 5).

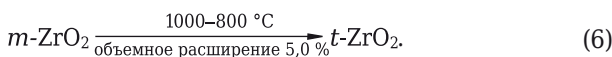
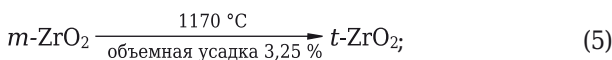
По данным рис. 1–6 можно сделать вывод, что самым подходящим содержанием диоксида циркония при производстве пористой керамики, спеченной при 1500 °С с выдержкой 2 ч, является 8 мас. %.

Многие исследователи пытались улучшить механические свойства Al₂O₃-керамики путем добавления ZrO₂ [20–25]. Э. Гойценс и др. (E. Geuzens et al.) [21] обнаружили, что твердость, трещиностойкость и предел прочности при изгибе плотной нанокерамики на основе Al₂O₃ можно улучшить с помощью добавки YSZ. Ж. Й. Ю и др. (J. Y. Yu et al.) [22] изготовили Al₂O₃- и Al₂O₃-ZrO₂-пористую керамику методом центробежного шликерного

литья (centrifugal slip casting method). По сравнению с пористой керамикой из чистого Al₂O₃ пористая керамика из Al₂O₃-ZrO₂ имеет более высокий предел прочности при сжатии. При открытой пористости 75,6 % предел прочности при сжатии этих видов керамики достигает максимальных величин, а именно 3,2 и 3,8 МПа соответственно.

При проведении исследований предел прочности при сжатии керамики APC заметно возрос после добавки оптимального количества ZrO₂. Увеличение прочности можно объяснить улучшением микроструктуры в результате добавки ZrO₂. Кроме того, на прочность керамики APC влияли трещины критических размеров и сжимающие нагрузки на поверхностный слой [21].

Во время процессов нагрева и охлаждения произошла обратимая фазовая трансформация ZrO₂ (уравнения (5) и (6)) [23], что сопровождалось изменением объема на 3–5 %:



Изменение объема способствует образованию микротрещин, которые способны полностью устранить концентрацию напряжений или уменьшить ее [24]. В зависимости от количества микротрещин и их формы края и кончики трещин можно «обезвредить» и помешать таким образом дальнейшему быстрому распространению трещин, т. е. еще более улучшить термостойкость APC.

Однако показатели, зависящие от спекания керамики, — предел прочности при сжатии и термостойкость — значительно снизились при добавлении ZrO₂ в количестве более 8 мас. % (см. рис. 4–6). Причина может заключаться в том, что распространение микротрещин невозможно эффективно предотвратить добавкой излишнего количества ZrO₂, в результате чего возникают трещины большего размера, что ведет к уменьшению

спекаемости, предела прочности при сжатии и термостойкости. Кроме того, в результате добавки ZrO_2 происходят разрыхление микроструктуры и снижение степени чистоты зерен Al_2O_3 , что также оказывает отрицательное воздействие на свойства керамики APC.

Влияние температуры спекания

На рис. 7 и 8 показано влияние температуры спекания на макро- и микроструктуру керамики APC (образец Z8 с 8 мас. % ZrO_2) при продолжительности выдержки 2 ч. Температура спекания оказала сильное влияние на структуру образца Z8. На рис. 7 четко видно, что количество больших открытых пор и распределение диаметров пор в об-

разце, спекшем при 1500 °С, значительно больше, чем в образцах, спекших при 1450 и 1550 °С. По сравнению с образцом, спекшем при 1450 и 1550 °С, количество заполненных пор образца, спекшего при 1500 °С, явно уменьшилось. Интересно отметить, что средний размер зерен Al_2O_3 (см. рис. 8, б) был меньше, чем в образцах, спекших при 1450 и 1550 °С. Размер зерен составляет соответственно примерно 1–5 мкм (см. рис. 8, б) и 5–10 мкм (см. рис. 8, а и в). Было обнаружено, что микроструктура керамики APC в значительной мере зависит от температуры спекания, причем наиболее благоприятна температура 1500 °С.

На рис. 9 и 10 показано влияние температуры спекания на предел прочности при сжатии, ли-

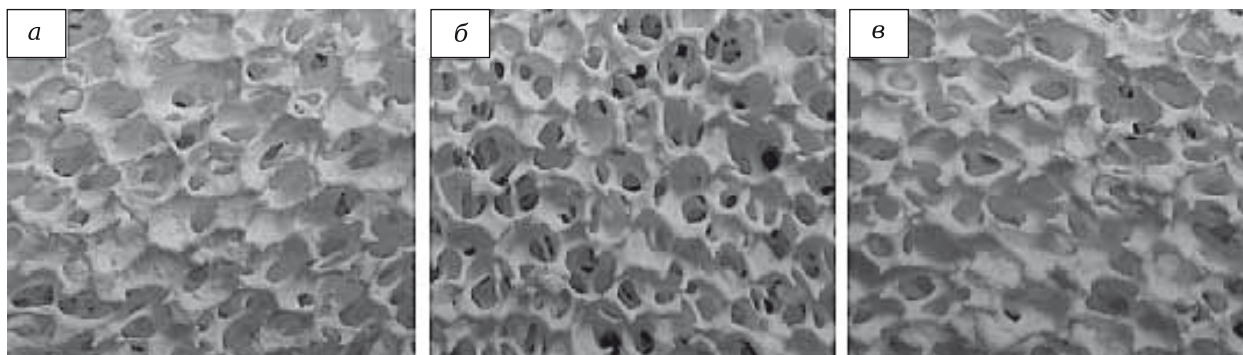


Рис. 7. Макроструктура образцов пористой керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2), спекших при 1450 (а), 1500 (б) и 1550 °С (в) с выдержкой 2 ч

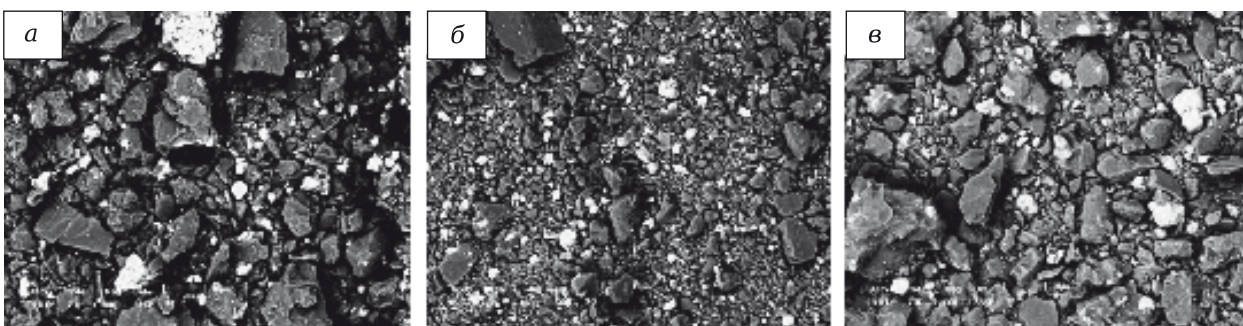


Рис. 8. Микроструктура образцов пористой керамики APC (Z8, 8 мас. % ZrO_2), спекших при 1450 (а), 1500 (б) и 1550 °С (в) с выдержкой 2 ч

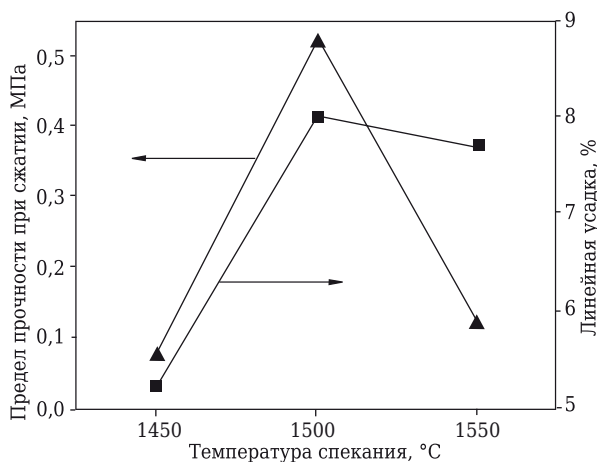


Рис. 9. Зависимость предела прочности при сжатии и линейной усадки керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2) от температуры спекания (выдержка 2 ч)

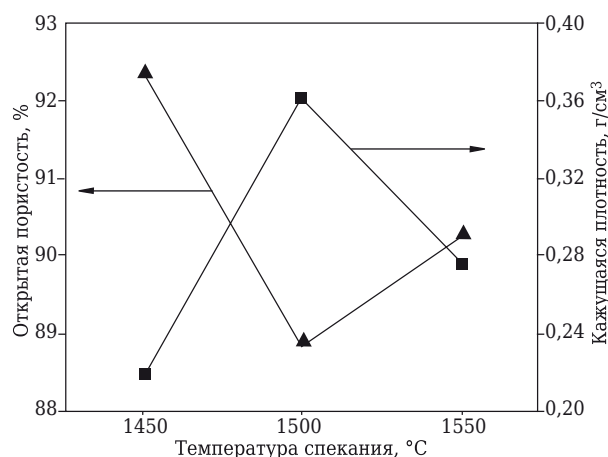


Рис. 10. Зависимость открытой пористости керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2) от температуры спекания (выдержка 2 ч)

нейную усадку, открытую пористость и кажущуюся плотность образца Z8 при продолжительности выдержки 2 ч. Было обнаружено, что предел прочности при сжатии, линейная усадка и кажущаяся плотность образца Z8 сначала увеличиваются, а затем уменьшаются по мере повышения температуры спекания. Показатель открытой пористости обнаруживает противоположную тенденцию. При обжиге образца при 1500 °С с выдержкой 2 ч показатели предела прочности при сжатии, линейной усадки и кажущейся плотности достигли максимальных величин 0,52 МПа, 8,0 % и 0,36 г/см³, а соответствующий показатель пористости составил 88,9 %.

Во время обжига зерна Al_2O_3 еще более увеличились [25], хотя воздействие ZrO_2 также наблюдалось. Когда образец был спечен при 1500 °С, воздействие ZrO_2 пересилило рост зерен Al_2O_3 , поэтому была получена микроструктура с хорошо распределенными зернами, что способствовало укреплению матрицы Al_2O_3 зернами ZrO_2 . Когда температура обжига достигла 1550 °С, произошел неравномерный рост зерен, в результате чего образовалась более рыхлая микроструктура и свойства APC ухудшились. Снижение температуры спекания до 1450 °С не дает более плотной структуры образца (рис. 8, а), поэтому показатели, зависящие от степени спекания, ухудшились, снизился предел прочности при сжатии (см. рис. 9 и 10).

Влияние продолжительности выдержки

На рис. 11 и 12 показано влияние продолжительности обжига на макро- и микроструктуру керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2), обожженной при 1500 °С. По количеству пор и распределению диаметра пор между ними не обнаруживается значительной разницы. Образцы, спеченные при 1500 °С с различной продолжительностью выдержки, имеют одинаковую макроструктуру с постоянной шириной распирающих трещин (struts thickness) и трехмерной сетчатой кубической структурой (см. рис. 11). Более того, некоторые поры были наполнены керамическим шламом. На рис. 12 можно заметить, что зерна Al_2O_3 и ZrO_2 растут постепенно по мере увеличения продолжительности выдержки. Средний размер зерна Al_2O_3 составил соответственно 1–5 мкм (см. рис. 12, а) и 5–10 мкм (см. рис. 12, б и в). Кроме того, как видно на рис. 12, б и в, значительная агломерация частиц ZrO_2 обнаружилась в образцах, спеченных при 1500 °С с выдержкой 4 и 6 ч.

На рис. 13 и 14 показано влияние продолжительности выдержки на предел прочности при сжатии, линейную усадку, открытую пористость и кажущуюся плотность образца Z8, который был спечен при 1500 °С. Предел прочности при сжатии, линейная усадка и кажущаяся плотность образца Z8 заметно снижаются по мере увеличения продолжительности выдержки с 2 до 6 ч. Для показателя открытой пористости наблюдает-

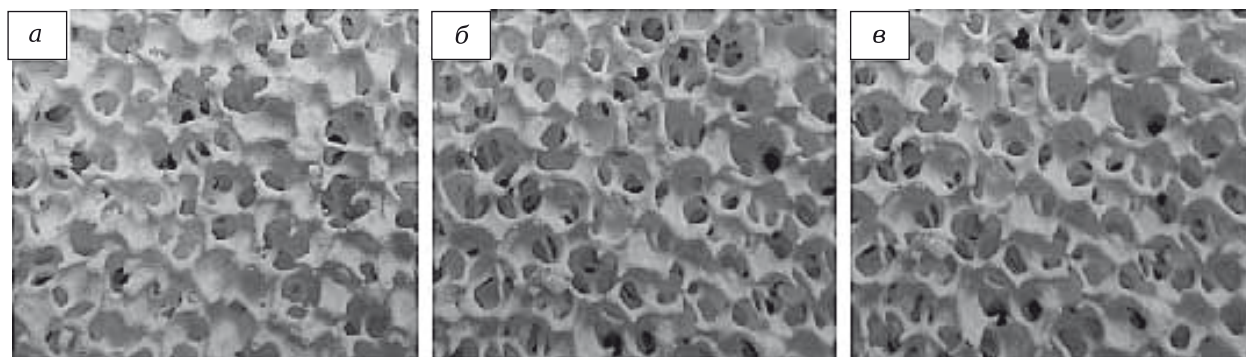


Рис. 11. Макроструктура пористой керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2), спеченной при 1500 °С с выдержкой 2 (а), 4 (б) и 6 (в) ч

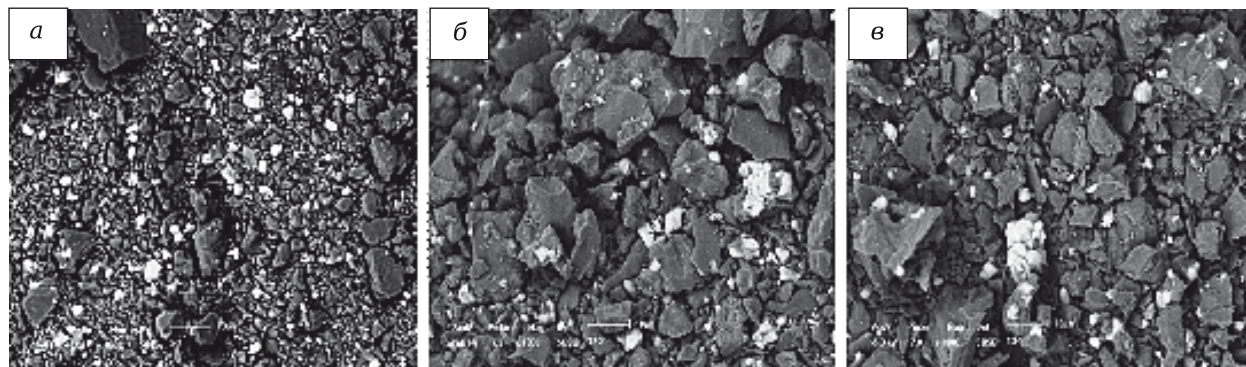


Рис. 12. Микроструктура пористой керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2), спеченной при 1500 °С с выдержкой 2 (а), 4 (б) и 6 (в) ч

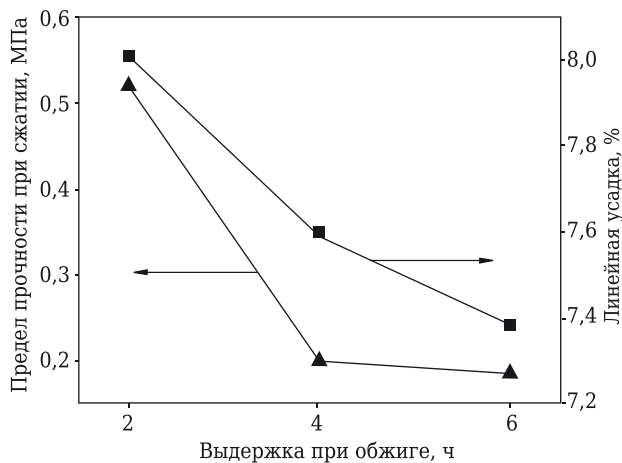


Рис. 13. Зависимость линейной усадки и предела прочности при сжатии керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2), спеченной при 1500 °С, от продолжительности обжига

ся противоположная тенденция. При увеличении продолжительности выдержки с 2 до 6 ч предел прочности при сжатии, линейная усадка и кажущаяся плотность уменьшились с 0,52 до 0,19 МПа, с 8,0 до 7,4 %, с 0,36 до 0,32 г/см³ соответственно. Открытая пористость увеличилась с 88,9 до 92,0 %. Полученные данные указывают на то, что предел прочности при сжатии, линейная усадка, открытая пористость и кажущаяся плотность образцов пористой керамики, обожженных при 1500 °С, в значительной мере зависят от продолжительности выдержки при обжиге.

Из-за неравномерного роста зерен Al_2O_3 и ZrO_2 (см. рис. 12, б и в) при обжиге образцов в течение более продолжительного времени (4 и 6 ч) структура получалась рыхлой. В результате снижалась спечаемость и уменьшались предел прочности при сжатии образца (как это представлено на рис. 13 и 14). При продолжительности выдержки 2 ч частицы Al_2O_3 и ZrO_2 мелкие и равномерно распределены (см. рис. 12, а). Это способствует получению более плотной структуры. Отсюда можно сделать вывод, что частицы ZrO_2 играют большую роль в укреплении Al_2O_3 -матрицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью метода реплики полимерной губки была успешно изготовлена пористая керамика на основе Al_2O_3 . В качестве сырья использован порошок белого плавленного корунда. Было изучено воздействие таких технологических параметров,

Библиографический список

1. **Stuart, A. R.** Processing routes to macroporous ceramics: a review / A. R. Stuart, U. T. Gonzenbach, E. Tervoort [et al.] // J. Amer. Ceram. Soc. — 2006. — Vol. 89, № 6. — P. 1771–1789.
2. **Han, Y. S.** The effect of sintering temperature on porous silica composite strength / Y. S. Han, J. B. Li, B. Chi [et al.] // J. Porous Mater. — 2003. — Vol. 10, № 1. — P. 41–45.

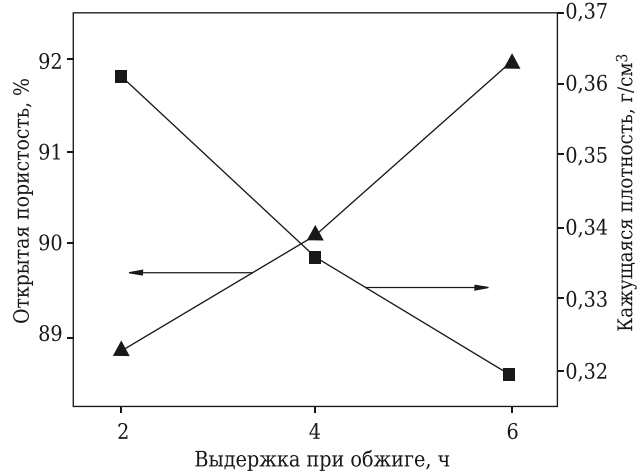


Рис. 14. Зависимость открытой пористости и кажущейся плотности керамики APC (образец Z8, 8 мас. % ZrO_2), спеченной при 1500 °С, от продолжительности обжига

как содержание диоксида циркония, температура обжига и продолжительность выдержки на производство и свойства керамики. По результатам исследования можно сделать следующие выводы:

- благоприятными параметрами при изготовлении пористой керамики на основе Al_2O_3 являются содержание диоксида циркония в количестве 8 мас. %, температура обжига 1500 °С и продолжительность выдержки 2 ч;
- в фазовый состав изготовленной керамики входят $\alpha-Al_2O_3$ и $m-ZrO_2$. Керамику со сверхтонкой микроструктурой можно получить путем добавления 8 мас. % ZrO_2 . Размер частиц зерен Al_2O_3 матрицы достиг 1–5 мкм;
- свойства изготовленной керамики в значительной мере зависят от технологических параметров. Показатели свойств керамики можно заметно улучшить путем введения добавки ZrO_2 , что позволяет повысить температуру спекания и его продолжительность.

Работа выполнена благодаря поддержке Фонда фундаментальных исследований центральных университетов (грант № 120402006), Комиссии по образованию провинции Ляонин (грант № L2012079), Национального фонда естественных наук (грант № 51274057) и Национальной программы по высоким технологиям и научным исследованиям (программа 863 Program) Китая (грант № 2013AA030902).

3. **Zhu, X. W.** Reaction bonding of open cell SiC– Al_2O_3 composites / X. W. Zhu, D. L. Jiang, S. H. Tan // Mater. Res. Bull. — 2001. — Vol. 36, № 11. — P. 2003–2015.
4. **Wei, W.** The influence of Si distribution and content on the thermoelectric properties of SiC foam ceramics / W. Wei, X. M. Cao, C. Tian [et al.] // Micropor. Mesopor. Mat. — 2008. — Vol. 112, № 1–3. — P. 521–525.

5. **Akpınar, S.** Effects of SiC addition on the structure and properties of reticulated porous mullite ceramics / *S. Akpınar, I. A. Altun, K. Onel* // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2010. — Vol. 30, № 13. — P. 2727–2734.
6. **Deville, S.** Ice-templated porous alumina structures / *S. Deville, E. Saiz, A. P. Tomsia* // *Acta Mater.* — 2007. — Vol. 55, № 6. — P. 1965–1974.
7. **Zhang, Y.** Effects of rheological properties on ice-templated porous hydroxyapatite ceramics / *Y. Zhang, K. C. Zhou, Y. X. Bao* [et al.] // *Mater. Sci. Eng. C*, — 2013. — Vol. 33, № 1. — P. 340–346.
8. **Zhang, F. Z.** Gelcasting fabrication of porous ceramics using a continuous process / *F. Z. Zhang, T. Kato, M. Fuji* [et al.] // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2006. — Vol. 26, № 4/5. — P. 667–671.
9. **Yang, F. K.** Effects of sintering temperature on properties of porous mullite/corundum ceramics / *F. K. Yang, C. W. Li, Y. M. Lin* [et al.] // *Mater. Lett.* — 2012. — Vol. 73. — P. 36–39.
10. **Li, D. Y.** Porous Y_2SiO_5 ceramic with low thermal conductivity / *D. Y. Li, M. S. Li* // *J. Mater. Sci. Technol.* — 2012. — Vol. 28, № 9. — P. 799–802.
11. **Preiss, A.** Tailored graded pore structure in zirconia toughened alumina ceramics using double-side cooling freeze casting / *A. Preiss, B. Sua, S. Collins* [et al.] // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2012. — Vol. 32, № 8. — P. 1575–1583.
12. **Efavi, J. K.** Development of porous ceramic bodies from kaolin deposits for industrial applications / *J. K. Efavi, L. Damoah, D. Y. Bensah* [et al.] // *Appl. Clay Sci.* — 2012. — Vol. 65/66. — P. 31–36.
13. **Bai, J. G.** Fabrication of directional SiC porous ceramics using Fe_2O_3 as pore-forming agent / *J. G. Bai, X. H. Yang, Y. G. Shi* [et al.] // *Mater. Lett.* — 2012. — Vol. 78. — P. 192–194.
14. **Kim, Y.** Formation of porous SiC ceramics via recrystallization / *Y. Kim, K. Min, J. Shim* [et al.] // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2012. — Vol. 32, № 13. — P. 3611–3615.
15. **Pat. 3090094 US.** Method of manufacturing Porous Ceramic / *Schwartzalder K., Somers A. V.*, 1963.
16. **Nangrejo, M. R.** Preparation of silicon carbide-silicon nitride composite foams from pre-ceramic polymers / *M. R. Nangrejo, X. J. Bao, M. J. Edirisinghe* // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2000. — Vol. 20, № 11. — P. 1777–1785.
17. **Yao, X. M.** Effect of recoating slurry compositions on the microstructure and properties of SiC reticulated porous

ceramics / *X. M. Yao, Y. Yang, X. J. Liu* [et al.] // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2013. — Vol. 33, № 15/16. — P. 2909–2914.

18. **Chen, M.** Refractories and fuel combustion (in Chin.) / *M. Chen, J. K. Yu, N. Wang.* — Beijing : Metallurgical Industry Press, 2005.
19. **Chen, Z. Y.** Chemical thermodynamics of refractories (in Chin.) / *Z. Y. Chen.* — Beijing : Metallurgical Industry Press, 2005.
20. **Tuan, W. H.** Mechanical properties of Al_2O_3/ZrO_2 composites / *W. H. Tuan, R. Z. Chen, T. C. Wang* [et al.] // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2002. — Vol. 22, № 16. — P. 2827–2833.
21. **Geuzens, E.** Synthesis and mechanical and tribological characterization of alumina-yttria stabilized zirconia (YSZ) nanocomposites with YSZ synthesized by means of an aqueous solution-gel. method or a hydrothermal route / *E. Geuzens, S. Mullens, J. Cooymans* [et al.] // *Ceram. Inter.* — 2008. — Vol. 34, № 5. — P. 1315–1325.
22. **Yu, J. Y.** Preparation of Al_2O_3 and $Al_2O_3-ZrO_2$ ceramic foams with adjustable cell structure by centrifugal slip casting / *J. Y. Yu, X. D. Sun, Q. Li* [et al.] // *Mater. Sci. Eng. A*. — 2008. — Vol. 476, № 1/2. — P. 274–280.
23. **Wang, C. X.** ZrO_2 Composite Refractories (in Chin.) / *C. X. Wang, Y. X. Zhang, Q. Yu.* — Beijing : Metallurgical Industry Press, 2003.
24. **Zhou, Z. H.** Experimental study on impact resistance and mechanical characteristics of low-temperature sintered $Al_2O_3-ZrO_2$ composites with anti-sandwich structure / *Z. H. Zhou, Z. H. Wang, Y. Yi* [et al.] // *Powder Technol.* — 2014. — Vol. 256. — P. 239–243.
25. **Pabst, W.** Preparation and characterization of porous alumina-zirconia composite ceramics / *W. Pabst, E. Gregorová, I. Sedlářová* [et al.] // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 2011. — Vol. 31, № 14. — P. 2721–2731.
26. **Han, J. K.** Microstructures of porous $Al_2O_3 - 50$ wt. % ZrO_2 composites using in-situ synthesized $Al_2O_3-ZrO_2$ composite powders / *J. K. Han, F. Saitob, B. T. Lee* // *Mater. Lett.* — 2004. — Vol. 58, № 16. — P. 2181–2185. ■

Получено 18.04.14

© Б. Ма, И. Ли, Г. Лу, Ч. Ли, 2014 г.

© Пер. С. Н. Клявлиной

(ОАО «Комбинат «Магнезит»), 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

CALL FOR PAPERS

Abstracts due December 10th

Hyatt Regency Vancouver

ceramics.org/11cmcee

11th International Symposium on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications

CMCEE

June 14–19, 2015



11-й Международный симпозиум по керамическим материалам и компонентам для энергетики и экологии

14-19 июня 2015 г.

г. Ванкувер, Канада

<http://ceramics.org/>

Д. т. н. **И. Н. Логачёв**, д. т. н. **К. И. Логачёв** (✉), к. т. н. **О. А. Аверкова**

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

УДК 533.6:628.5

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СИСТЕМ АСПИРАЦИИ. Часть 5. Расчет объемов аспирации при перегрузках порошкообразных аутогезионных материалов*

Разрабатывается метод расчета объемов аспирации при перегрузках порошкообразных материалов с повышенными аутогезионными свойствами. Рассматриваются свободно падающая струя конгломератов и их поток в непроницаемом желобе. Полученные результаты полезны при проектировании эффективных аспирационных систем сниженной энергоемкости.

Ключевые слова: аспирационное укрытие, перегрузка сыпучих материалов, снижение энергоемкости аспирационных систем.

Увеличенный расход воздуха, отсасываемого из аспирационных укрытий, улучшает санитарно-гигиенические условия труда в производственных помещениях, но приводит к перерасходу электроэнергии и значительным потерям дорогостоящих порошков за счет повышенного уноса пылевидных фракций аспирируемым воздухом. Поэтому в практике в качестве необходимого объема удаляемого воздуха принимается минимальный объем аспирации [1–11], при котором исключается поступление запыленного воздуха в помещение. Устанавливающееся при этом в укрытии разрежение является оптимальным. Величина этого разрежения определяется, как правило, в результате обобщения натурных испытаний и зависит как от конструктивных параметров укрытия, так и от вида перерабатываемого материала. В части 5 настоящей статьи рассматриваются результаты разработки метода расчета оптимальных объемов аспирации в условиях перегрузки слипающихся порошков.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Общая производительность аспирационной системы Q_a при отсутствии тепломассообмена определяется расходом воздуха, поступающего через неплотности всех аэродинамически связанных укрытий:

* Окончание. Части статьи 1–4 опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 2, 4, 6 и 8 за 2014 г. В данной части статьи продолжается нумерация рисунков и формул с учетом представленных в частях 1–4.



К. И. Логачёв
E-mail: kilogachev@mail.ru

$$Q_a = \sum_{i=1}^N Q_{ni},$$

где Q_{ni} — расход воздуха, поступающего через неплотности и рабочие проемы аэродинамически связанного укрытия, м³/с,

$$Q_{ni} = S_i \sqrt{\frac{2P_i}{\zeta_i \rho}}, \quad (44)$$

где S_i — площадь неплотностей i -го укрытия, м²; P_i — разрежение в i -м укрытии, Па; ζ_i — коэффициент местного сопротивления неплотностей (чаще всего принимается равным $\zeta_i = 2,4$); ρ — плотность воздуха в помещении, кг/м³; N — общее число аэродинамически связанных между собой укрытий, обслуживаемых аспирационной установкой.

Величина разрежения в аспирируемом укрытии P_i принимается равной величине оптимального разрежения P_{oi} . Однако это допустимо для укрытий, которые подключены непосредственно к аспирационной системе. Для неаспирируемых укрытий $P_i \neq P_{oi}$, поскольку оно определяется расходом воздуха, перетекаемого по каналам, аэродинамически связывающим это укрытие с аспирируемым укрытием. Так, для классической перегрузки ненагретого материала с конвейера на конвейер аспирируемым является нижнее укрытие (укрытие места загрузки принимающего конвейера), верхнее укрытие (укрытие приводного барабана подающего конвейера) не подключается к аспирационной системе. Разрежение в нем поддерживается за счет перетекания воздуха по желобу. В практике проектирования поэтому объем аспирации Q_a определяется по формуле воздушного баланса

$$Q_a = Q_{ch} + Q_n, \quad (45)$$

где Q_{ch} — расход воздуха, поступающего в аспирируемое укрытие по желобу под действием P_i и за счет эжектирующих свойств потока перегружаемо-

го материала, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_n — расход воздуха, поступающего в аспирируемое укрытие через неплотности (определяется по формуле (44)), $\text{м}^3/\text{с}$.

Эжектирующие свойства потока твердых частиц зависят от многих факторов, главные из них расход материала, крупность частиц и скорость их падения. Поток порошкового материала характеризуется движением конгломератов, размер которых в процессе их падения изменяется. Этим он отличается от потоков сыпучих минералов, размер и масса которых в процессе их падения не изменяются. Аэродинамический процесс эжектирования воздуха такими потоками в России хорошо изучен [12–14]. В основу этих исследований положены уравнения динамики двухкомпонентного потока частицы – воздух.

Конгломераты, образующиеся при сбрасывании порошков с ленточных питателей или конвейеров за счет аутогезии, имеют малую прочность, и поэтому масса и размер их изменяются в результате эрозии. Первоначальные размеры конгломератов определяются условиями деформирования слоя порошка при сбрасывании с барабана конвейера. При подходе слоя порошка к приводному барабану верхнего конвейера в результате перехода от желобчатой формы слоя к плоской образуются продольные трещины, а при сбрасывании — поперечные. На основании условия прочности получена следующая формула для начального размера d_0 , м, конгломерата [15]:

$$d_0 = 0,027 \sqrt{h},$$

где h — глубина слоя порошка на ленте, м.

Полагаем, что масса падающего конгломерата вследствие эрозии изменяется пропорционально его поверхности:

$$\frac{dm}{dt} = -\omega F,$$

где m — масса конгломерата, кг; $m = Q_k \cdot \rho_n$; Q_k — объем конгломерата, м^3 ; ρ_n — плотность порошка, $\text{кг}/\text{м}^3$; F — поверхность конгломерата, м^2 ; ω — интенсивность эрозии конгломерата, $\omega = \alpha (V - U)^2$, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$; V — скорость падения конгломератов, $\text{м}/\text{с}$; U — скорость воздушного потока, $\text{м}/\text{с}$; α — коэффициент эрозии, $\text{кг} \cdot \text{с}/\text{м}^4$.

Рассмотрены два случая: свободный поток конгломератов и поток конгломератов в закрытом желобе (канале).

СВОБОДНЫЙ ПОТОК КОНГЛОМЕРАТОВ

Для определения эжектирующей способности рассматриваемого потока частиц запишем уравнение динамики свободно падающего конгломерата:

$$m \frac{dV}{dt} = mg - R$$

и уравнение изменения количества движения для воздуха в струе конгломератов в проекции на вертикальную ось OX (направленную сверху вниз по оси струи):

$$d(\rho US \cdot U) = n_k \cdot S dx \cdot R + P_w \cdot S dx, \quad (46)$$

где ρ — плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; S — площадь поперечного сечения струи конгломератов, м^2 ; n_k — счетная концентрация конгломератов, $1/\text{м}^3$; R — аэродинамическая сила конгломерата, Н; P_w — масса витающих частиц порошка в единице объема, $\text{Н}/\text{м}^3$.

В силу эрозии конгломератов их массовый расход изменяется. Предположим, что частицы порошка, покинувшие поверхность конгломерата, будут падать со скоростью

$$V_p = U + C,$$

где C — скорость витания частиц порошка, $\text{м}/\text{с}$.

Таким образом, поток порошка состоит из потока конгломератов и потока витающих частиц порошка, т. е.

$$G_k + M_w = G_0,$$

где G_k , M_w — расходы, $\text{кг}/\text{с}$, соответственно конгломератов и витающих частиц в сечении, удаленном на расстояние x от точки сбрасывания конгломератов размером d_0 ; G_0 — начальный расход порошка, $\text{кг}/\text{с}$.

Аэродинамическую силу конгломерата выразим через коэффициент лобового сопротивления ψ :

$$R = \psi \cdot S_k \frac{(V - U)^2}{2} \rho,$$

где S_k — площадь миделева сечения конгломерата, м^2 .

Таким образом, изменение скорости эжектируемого воздуха в струе свободно падающих конгломератов переменной массы можно определить интегрированием следующей системы безразмерных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{U}^2}{dz} = W \left[\frac{S_k (\bar{V} - \bar{U})^2}{S_0 \bar{V}} + \frac{1 - m}{U + C} \right], \\ \frac{d\bar{V}}{dz} = \frac{1}{\bar{V}} \left[1 - \frac{S_k (\bar{V} - \bar{U})^2}{S_0 \bar{m}} \right], \\ \frac{d\bar{m}}{dz} = -M \frac{F}{F_0} \frac{(\bar{V} - \bar{U})^2}{\bar{V}}, \end{cases} \quad (47)$$

где S_0 , F_0 — площадь миделева сечения и поверхность конгломерата размером d_0 , м^2 ;

$$\bar{U} = \frac{U}{C_0}; \quad \bar{V} = \frac{V}{C_0}; \quad \bar{C} = \frac{C}{C_0}; \quad z = \frac{x}{l_\infty};$$

$$\bar{m} = \frac{m}{m_0}; \quad l_\infty = \frac{C_0^2}{g}; \quad W = \frac{G_0}{\rho C_0 S}; \quad M = \frac{\alpha C_0 l_\infty F_0}{m_0};$$

C_0 — скорость витания исходного конгломерата диаметром d_0 , $\text{м}/\text{с}$; g — ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$; m_0 — масса исходного конгломерата, кг; S — площадь поперечного сечения струи конгломератов (принята постоянной), м^2 .

При небольшой высоте падения конгломератов (при $z = 0,5$) удалось получить приближенное решение системы (47):

$$\begin{cases} V^* = \frac{\varphi^3}{(1-\varphi)(1-\varphi^2)} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{(2\varphi + \varepsilon)(1-\varphi^2)}{\varphi^3}} \right), \\ \varepsilon = M^* \frac{V^{*2}}{\varphi^2} \left[2 - \frac{V^*(1-\varphi)(3-\varphi)}{\varphi^2} \right] - M^{*2} \frac{2V^{*4}}{\varphi^5}, \end{cases} \quad (48)$$

где $\varphi = U/V$ — коэффициент эжекции; V^* и M^* — параметры,

$$V^* = \frac{3}{8} \cdot \frac{\psi_0 G_0}{d_0 \rho_n S g} V, \\ M^* = \alpha \left(\frac{8}{3\psi_0} \right) \cdot \frac{\rho_n g S d_0}{\rho G_0}.$$

Проанализируем полученные результаты. Прежде всего оценим роль эрозии и влияние сопротивления воздуха. Численное интегрирование системы (47) при начальных условиях $\bar{U}(0) = 0,0001$; $\bar{V}(0) = 0,001$; $\bar{m}(0) = 1$ в области $0,2 < W < 20$ и $0 < M < 1$ (характерной для практики огнеупорных заводов), показало, что роль эрозии заметно проявляется лишь при $M > 0,03$, особенно при значительных высотах падения ($z > 0,1$) и небольших величинах параметра W . Масса конгломерата при этих параметрах заметно уменьшается, частицы порошка, покинувшие его поверхность, оказывают все большее влияние на скорость эжектируемого воздуха. Сила динамического воздействия на воздух витающей частицы достигает своего максимального значения, равного силе веса частицы.

Еще меньшее значение имеет сила сопротивления воздуха. Она проявляется при $z > 0,5$. Скорость частиц (конгломератов) при учете сил сопротивления воздуха меньше скорости равноускоренного падения. Как следствие этого, уменьшаются скорость эжектируемого воздуха и коэффициент эжекции φ . При малой высоте падения $z < 0,5$, как и при малых значениях комплексного параметра V^* ($V^* < 0,5$), влияние сопротивления воздуха на величину коэффициента φ незначительно. В этом случае удовлетворительно работает упрощенная модель, описываемая уравнением (48).

ПОТОК КОНГЛОМЕРАТОВ В ЗАКРЫТОМ ЖЕЛОБЕ

Изменение количества движения для эжектируемого воздуха в канале постоянного сечения S описывается уравнением

$$d(\rho U S \cdot U) = S \cdot dp - \lambda \frac{dx}{D_g} \cdot \frac{U^2}{2} \rho \cdot S + n_k \cdot S dx \cdot R + P_w \cdot S dx,$$

отличающимся от уравнения (46) наличием градиента статического давления и потерь давления на трение. Здесь λ — коэффициент аэродинамического сопротивления стенок канала; D_g — гидравлический диаметр канала, м; p — статическое давление, Па.

Интегрируя это уравнение для равноускоренного потока конгломератов, получаем следующее расчетное соотношение для определения коэффициента эжекции $\varphi = U/V_k$:

$$\begin{cases} \varphi^2 = Eu + 4V^* \frac{1-\varphi^3 - |n-\varphi|^3}{3} + 4V^{*2} M^* A_\varphi, \\ A_\varphi = \frac{1}{\varphi + \bar{C}} \left[\frac{1-\varphi^5 - |n-\varphi|^5}{5} + \varphi \frac{1-\varphi^4 - |n-\varphi|^4}{4} - (n-\varphi)^3 \frac{1-n^3}{2} \right], \end{cases} \quad (49)$$

где

$$Eu = \frac{P_0}{\left(\sum \zeta \frac{V_k^2}{2} \rho \right)}; \quad V^* = \frac{3}{8} \cdot \frac{\psi_0 G_0 V_k}{d_0 \rho_n S g \sum \zeta};$$

$$n = V_n/V_k; \quad \bar{C} = C_0/V_k;$$

V_n , V_k — скорости падения конгломератов в начале и конце канала, м/с; $\sum \zeta$ — сумма коэффициентов аэродинамического сопротивления канала.

Как видно из полученных уравнений, заметную роль эрозия конгломератов играет лишь при $M^* \geq 0,02$, и то при больших параметрах V^* . При нагрузках $V^* < 1$ эрозию конгломератов при расчете объемов эжектируемого воздуха можно не учитывать. Заметное отклонение наблюдается при сопоставлении с результатами эжекции воздуха свободной струей конгломератов. Коэффициент эжекции потока частиц в канале намного меньше, что можно объяснить наличием зоны торможения в начале канала при малой начальной скорости падения. Ограничение свободной струи непроницаемыми стенками снижает эжектирующие свойства потока частиц.

Определив в соответствии с расчетными соотношениями (49) и (48) коэффициент эжекции, можем найти первое слагаемое уравнения (45):

$$Q_{ch} = \varphi V_k S,$$

что дает возможность определять необходимую производительность аспирационных установок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод снижения энергоемкости аспирационных укрытий и пылевых выбросов за счет уменьшения объема эжектируемого воздуха при перегрузках сыпучих материалов. Аналитически обоснована эффективность создания загрузочного устройства в виде вертикальной перфорированной трубы с байпасной камерой. Устройство комбинированной камеры с транзитным обменом воздуха между верхним неаспирируемым укрытием и приемной камерой нижнего аспирируемого укрытия повышает энергосберегающий эффект. Расход нагнетаемого в аспирируемое укрытие эжектируемого воздуха можно существенно уменьшить путем организации двойного циркулирования воздуха по внешнему кольцу с использованием торцевых отверстий байпасной камеры и по внутреннему кольцу, обеспечивающему перетекание воздуха через отверстия перфорации по всей длине желоба. Так, на конкретном примере при небольшой эжектирующей способности потока сыпучего материала, даже при одном внутреннем кольце рециркуляции, расход нагнетаемого воздуха был в 1,35 раза меньше по сравнению с расходом при перегрузке этого

же потока материала в желобе с непроницаемыми стенками и отсутствием байпасной камеры, при двойном кольце рециркуляции расход нагнетаемого воздуха был уменьшен в 1,78 раза. При больших числах эжекции эффект снижения расхода еще выше. При одном внешнем кольце циркуляции этот же расход при том же сопоставлении уменьшается в 1,72 раза, с двумя кольцами — в 4,29 раза.

На основе произведенных расчетов разработаны рекомендации для проектирования эффективных аспирационных систем при перегрузках сыпучих материалов с помощью телескопических погрузочных устройств.

Предложены новые конструкции пылелокализирующих устройств с закрученными воздушными потоками во внутренней полости корпуса. Теоретически обоснован метод повышения эффективности аспирационных укрытий за счет использования закрученных потоков. Предложена программно-алгоритмическая поддержка для исследования процессов пылеуноса в аспирационную сеть от локализирующих пылевыделения устройств и исследованы процессы динамики пылевых аэрозолей в за-

Библиографический список

1. **Аверкова, О. А.** Численное моделирование воздушных течений на входе в щелевые неплотности аспирационных укрытий / О. А. Аверкова, В. Ю. Зоря, И. Н. Логачёв [и др.] // Новые огнеупоры. — 2010. — № 5. — С. 31–36.
2. **Аверкова, О. А.** Numerical simulation of air currents at the inlet to slot leaks of ventilation shelters / O. A. Averkova, V. Yu. Zorya, I. N. Logachev [et al.] // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010. — Vol. 51, № 3. — P. 177–182.
3. **Логачёв, К. И.** Расчеты щелевых отсосов, экранированных тонкими козырьками / К. И. Логачёв, Н. М. Анжеуров // Новые огнеупоры. — 2002. — № 7. — С. 38–41.
4. **Логачёв, К. И.** Flow analysis of slit-type suction ports shielded with slender visors / K. I. Logachev, N. M. Anzheurov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2003. — Vol. 44, № 3. — P. 145–148.
5. **Анжеуров, Н. М.** Комплекс компьютерных программ для расчета пылевоздушных течений в системах аспирации / Н. М. Анжеуров, О. А. Аверкова // Новые огнеупоры. — 2008. — № 5. — С. 53–58.
6. **Анжеуров, Н. М.** Software for computing dusty air flows in ventilation systems / N. M. Anzheurov, O. A. Averkova // Refractories and Industrial Ceramics. — 2008. — Vol. 49, № 3. — P. 229–234.
7. **Аверкова, О. А.** Моделирование отрыва потока на входе в щелевые неплотности аспирационных укрытий / О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв // Новые огнеупоры. — 2012. — № 10. — С. 56–60.
8. **Логачёв, И. Н.** Способы и средства снижения энергоемкости аспирационных систем при перегрузках сыпучих материалов / И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова // Новые огнеупоры. — 2013. — № 6. — С. 66–70.
9. **Логачёв, И. Н.** Моделирование отрывных течений вблизи всасывающей щели / И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, В. Ю. Зоря [и др.] // Вычислительные методы и программирование. — 2010. — Т. 11, № 1. — С. 43–52.
10. **Логачёв, И. Н.** Математическое моделирование отрывных течений при входе в экранированный плоский канал / И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова // Вычислительные методы и программирование. — 2010. — Т. 11, № 2. — С. 160–167.

крученных аспираруемых течениях. Показано, что значительного уменьшения пылеуноса в аспирационную сеть вплоть до полного осаждения пыли на конвейерную ленту можно достичь использованием вращающегося ротора или цилиндра-отсоса. Его положение, размеры, скорость вращения выбираются с помощью разработанной программно-алгоритмической поддержки.

Разработан метод расчета объема аспирации при перегрузках порошкообразных материалов с повышенными аутогезионными свойствами. Реализация технических решений позволила на ряде предприятий металлургического профиля, в частности в ОАО «Семилукский огнеупорный завод» (Россия, Воронежская область), получить устойчивый санитарный эффект — концентрация пыли в цехах снижена до уровня предельно допустимой, а также заметный экономический результат — мощность системы аспирации снижена в 1,3–1,5 раза.

* * *

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МК-103.2014.1) и программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова (проект № А-10/12).

11. **Аверкова, О. А.** Закономерности отрывного течения при входе в выступающий канал с экранами / О. А. Аверкова, И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв [и др.] // Ученые записки ЦАГИ. — 2013. — Т. 44, № 2. — С. 33–49.
12. **Афанасьев, И. И.** Обеспыливание воздуха на фабриках горно-обогатительных комбинатов / И. И. Афанасьев, И. Н. Логачёв, В. А. Минко [и др.]. — М.: Недра, 1972. — 184 с.
13. **Нейков, О. Д.** Аспирация и обеспыливание воздуха при производстве порошков / О. Д. Нейков, И. Н. Логачёв, В. А. Минко [и др.]. — М.: Металлургия, 1981. — 192 с.
14. **Ординани, В.** Эффективность отсоса запыленного воздуха из укрытий / В. Ординани // Черные металлы (пер. с нем.). — 1975. — № 4. — С. 24, 25.
15. **Анжеуров, Н. М.** Оптимальные объемы аспирации перегрузок слипающихся порошков / Н. М. Анжеуров, И. Н. Логачёв // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — 2003. — С. 10–15. ■

Получено 14.01.14

© И. Н. Логачёв, К. И. Логачёв, О. А. Аверкова, 2014 г.

ОБЗОР ПАТЕНТОВ РФ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ОГНЕУПОРАМ



ОГНЕУПОРНЫЙ ПРОДУКТ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Кунтц М., Шрётер П., Яшинский В., Зоммер Ф.

Патент RU 2502705

МПК C04B35/119

Изобретение относится к керамическим материалам, которые пригодны для динамических нагрузок и могут быть использованы для изготовления брони и плит при обстреле. Технический результат изобретения — повышение устойчивости к трещинам и повреждениям, повышение твердости материала.

1. Керамический материал, отличается тем, что он содержит от 24,0 до 25,5 мас. % ZrO_2 , от 0,26 до 0,35 мас. % Cr_2O_3 , от 0,50 до 0,60 мас. % Y_2O_3 по отношению к ZrO_2 , от 0,7 до 0,85 мас. % SrO , от 0 до 0,5 мас. % TiO_2 и от 0 до 0,5 мас. % MgO , а также Al_2O_3 в дополнение до 100 мас. %.

2. Керамический материал по п. 1 отличается тем, что материал дополнительно пронизан монокристаллами стержневой формы и/или волокнами или сетчатыми структурами или тканями из подходящих материалов, которые не вступают с керамическим материалом каким-либо способом во взаимодействие, так что не наступает ухудшение его свойств.

3. Спеченное формованное изделие получают из керамического формованного материала по п. 1 или 2.

4. Спеченное формованное изделие по п. 3 отличается тем, что измеренный в 4 точках предел прочности при изгибе составляет более 1000 МПа.

5. Спеченное формованное изделие по п. 3, отличается тем, что ударная вязкость при разрыве K_{Ic} составляет более $5,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$.

6. Спеченное формованное изделие по п. 3 отличается тем, что модуль Вейбулла более 7.

7. Спеченное формованное изделие по п. 3 отличается тем, что твердость HV_{10} более 1740.

8. Спеченное формованное изделие по п. 3 отличается тем, что плотность ED2000 более $4,360 \text{ г/см}^3$.

9. Спеченное формованное изделие по п. 3 отличается тем, что в матрицу из оксида алюминия включены оксид циркония и алюминат стронция.

10. Спеченное формованное изделие по п. 3 отличается тем, что алюминат стронция находится в форме пластинчатых кристаллитов, бляшек.

11. Спеченное формованное изделие по одному из пп. 3–10 применяют для изготовления дета-

лей со способностью к поглощению энергии при динамической нагрузке.

12. Спеченное формованное изделие по одному из пп. 3–10 применяют для изготовления брони, в частности плит при обстреле.

Бюллетень «Изобретения. Полезные модели».
— 2013. — № 36.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЦЕРИЯ И ЦЕРАТА БАРИЯ

Медведев Д. А., Мурашкина А. А.,
Сергеева В. С., Дёмин А. К.

Патент RU 2506246

МПК C04B35/50, C04B35/64

Способ получения газоплотной керамики на основе оксида церия и церата бария, включающий спекание порошков состава $0,3BaCe_{0,8}Gd_{0,2}O_{2-6} - 0,7Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{2-6}$, отличается тем, что перед спеканием в порошки добавляют 1 мол. % Ba_2CuO_3 . При этом спекают порошки, синтезированные методом сжигания нитратов и лимонной кислоты или методом твердофазного синтеза. Введение 1 мол. % Ba_2CuO_3 обеспечивает в процессе обжига образование жидкой фазы купрата бария и быстрое спекание и уплотнение керамики при пониженных температурах. Технический результат: снижение температуры спекания и уменьшение времени выдержки порошков и связанных с этим энергозатрат без ухудшения электрических свойств получаемой керамики.

«Бюллетень». — 2014. — № 4.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Гынгазов С. А.

Патент RU 2506247

МПК C04B35/64, C04B35/486

Способ получения циркониевой керамики заключается в том, что порошковый материал на основе диоксида циркония компактируют, размещают компакт на подложке из тугоплавкого материала.

* В дальнейшем приводится сокращенное название «Бюллетень».

ла в вакуумной камере, создают в ней давление остаточных газов от 5 до 20 Па, нагревают компакт и подложку электронным излучением до температуры от 1300 до 1350 °С, выдерживают под действием излучения при этой температуре в течение не менее 20 мин. Во время нагрева и выдержки в нагретом состоянии постоянно измеряют температуру компакта со стороны воздействия электронного излучения и с противоположной. Обеспечивают разницу измеряемых температур не более 5 °С регулировкой дозы электронного излучения, попадающего на компакт, посредством изменения положения плоской заслонки из тугоплавкого материала, размещенной между источником электронного излучения и компактом, устанавливая при этом заслонку в вертикальное или горизонтальное положение. Технический результат — получение керамики с равномерно твердыми поверхностями и равномерными механическими свойствами. Изобретение может быть использовано в производстве высокопрочных конструктивных и инструментальных материалов и изделий, например волоочильных инструментов.

«Бюллетень». — 2014. — № 4.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩЕГОСЯ СЛОЯ НА ДЕТАЛИ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА УГЛЕРОД / УГЛЕРОД

Дисс П., Лявассери Э.

Патент RU 2506251

МПК C04B41/87, C04B35/83

1. Способ получения самовосстанавливающегося слоя на детали из композитного материала, включающий нанесение на деталь композиции, содержащей:

- суспензию коллоидного диоксида кремния,
- бор или соединение бора в виде порошка,
- карбид кремния в виде порошка,
- по меньшей мере один огнеупорный оксид,

причем композиция дополнительно содержит кремний в виде порошка.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что композиция дополнительно содержит боросиликатную смесь в виде порошка.

3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что композиция дополнительно содержит по меньшей мере один модифицирующий стекло оксид.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что средний размер частиц порошка карбида кремния от 5 до 50 мкм.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно включает этап сушки нанесенной композиции.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что композиция, нанесенная на деталь, после сушки представляет собой слой средней толщины от 50 до 250 мкм с поверхностной плотностью от 15 до 60 мг/см².

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что композицию наносят на деталь в несколько последовательных слоев с промежуточной сушкой.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что после этапа нанесения композиции дополнительно содержит этап нанесения слоя углеродсодержащего полимера или полимера — предшественника керамики и полимеризации этого полимера.

9. Способ по п. 1, отличающийся тем, что дополнительно после этапа нанесения композиции выполняется термообработка для поверхностного стеклования при температуре от 600 до 1000 °С в инертной атмосфере.

10. Деталь из композитного материала, снабженная покрытием для защиты от окисления, полученного с использованием способа по любому из пп. 1–9, где покрытие формирует первую самовосстанавливающуюся фазу, образованную преимущественно боросиликатной системой, отличающаяся тем, что покрытие дополнительно формирует вторую самовосстанавливающуюся фазу на основе силиката и дополнительно содержит наполнитель, образованный частицами карбида кремния, причем вторая самовосстанавливающаяся фаза на основе силиката содержит по меньшей мере один огнеупорный оксид: Y₂O₃, HfO₂, Al₂O₃, ZrO₂.

11. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что покрытие дополнительно содержит кремний в виде порошка.

12. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что покрытие дополнительно содержит боросиликатную смесь в виде порошка.

13. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что покрытие дополнительно содержит по меньшей мере один модифицирующий стекло оксид.

14. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что средний размер частиц карбида кремния от 5 до 50 мкм.

15. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что покрытие для защиты от окисления дополнительно содержит поверхностный слой механической защиты.

16. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что представляет собой фрикционную деталь из композитного материала углерод/углерод.

17. Деталь по п. 10, отличающаяся тем, что снабжена защитным покрытием на поверхностях иных, чем поверхность или поверхности трения.

18. Деталь по п. 10, представляющая собой выполненный из композитного материала углерод/углерод диффузор сопла ракетного двигателя, причем по меньшей мере внутренняя поверхность диффузора снабжена покрытием для защиты от окисления.

Технический результат изобретения — получение самовосстанавливающегося покрытия для эффективной защиты от окисления при температурах выше 1450 °С.

«Бюллетень». — 2014. — № 4.

Обзор подготовлен редакцией журнала «Новые огнеупоры»

УДК 666.1

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА «InterGlass 2015»

Международная выставка «InterGlass 2015», организуемая Союзом архитекторов России, состоится 27–29 апреля 2015 г. в павильоне № 75 ВДНХ в Москве. Концепция нового выставочного проекта была разработана Союзом архитекторов России с учетом многолетнего опыта проведения выставок, с учетом мнений и пожеланий постоянных участников и партнеров. Новый подход к организации выставки, дополнительные бонусы и возможности для участников обеспечат широкие перспективы для бизнеса. Дизайн, разработанный новой командой, призван сделать выставку интересной для специалистов из России и за ее пределами.

ТЕМАТИКА

На выставке будет представлено сырье, оборудование, огнеупоры, комплектующие для всех сфер стекольного бизнеса — листового и тарного, новые виды стекла и стеклоизделий, декоративное и художественное стекло.

Демонстрация продукции всех сфер стекольной отрасли даст представление о ее состоянии в целом и в большой степени определит пути и перспективы ее развития.

СТЕКЛО И АРХИТЕКТУРА

Тема применения стекла в архитектуре и строительстве будет одной из приоритетных. В отличие от других выставок, на «InterGlass 2015» планируется продемонстрировать весь спектр продукции для архитектуры и строительства — начиная с демонстрации оборудования для производства стеклопакетов, изготовления и монтажа профильных систем из металла, пластика, дерева, систем крепления стекла, герметизации, монтажа и эксплуатации зданий. Особое внимание будет уделено вопросам инженерных и конструктивных решений остекления фасадов, зимних садов, атриумов и т. д., применению строительных материалов с использованием стекла, в том числе пеностекла, пеностеклокерамики, стекловолокна, стеклопрофилита, стеклокомпозитов.

Комитет по архитектуре и градостроительству Правительства Москвы не только официально поддержал этот проект, но и гарантирует участие своих специалистов в работе выставки.

ОБОРУДОВАНИЕ

Традиционно, самое большое внимание обращает на себя раздел оборудования. Это — оборудование для производства листового стекла, выпуска стеклотары, производства стеклопакетов, резки и обработки стекла, а также программное обеспечение и автоматизация производственных процессов, комплектующие и сервисное обслуживание. Повышенный интерес к этому разделу выставки особенно актуален в настоящее время, когда остро стоят вопросы модернизации экономики и инновационного развития страны.

ПЕЧАТЬ НА СТЕКЛЕ

Для архитектурных объектов печать на стекле является одним из перспективных

направлений, как при фасадном остеклении, так и в интерьерах зданий, что можно будет увидеть не только на стендах участников, но и в проектах конкурса «Стекло в архитектуре». Технологии печати на стекле будут также представлены в разделе международной выставки «PrintExpo 2015», которая будет проходить одновременно с выставкой «InterGlass 2015».

ДНИ АРХИТЕКТУРЫ, ДНИ ГЕРМАНИИ И ИТАЛИИ

Одним из главных событий на выставке станет День архитектуры, планируется проведение Дней Германии и Италии — стран, занимающих лидирующие позиции в стекольной отрасли. Приглашаются сотрудники коммерческих отделов посольств, руководители ведущих компаний стекольной отрасли. Предварительные переговоры по участию в этих мероприятиях были проведены с руководством Messe Dusseldorf и GIMAV. На экране, установленном в павильоне, экспоненты смогут продемонстрировать видеоматериалы о деятельности своих компаний. Такие презентации должны привлечь внимание и максимально широко представить специалистам, посетителям выставки весь спектр стекольной индустрии. Также планируется организовать консультационный центр для посетителей, который обеспечит помощь в поиске необходимой продукции и услуг.

КОНКУРС «СТЕКЛО В АРХИТЕКТУРЕ»

В дни работы выставки будет организована экспозиция 4-го конкурса «Стекло в архитектуре», в котором традиционно принимают участие ведущие российские архитекторы. Конкурс проводится по двум разделам: реализованные объекты и проекты. Особый интерес для коммерческих компаний представляют работы в разделе «Проекты», авторам которых экспоненты смогут предложить свою продукцию и услуги еще на стадии проектирования. Авторы — архитекторы, представители строительных организаций, заказчики и инвесторы будут приглашены на торжественную церемонию награждения лауреатов конкурса «Стекло в архитектуре» и вручения «Национальной премии за лучший проект с применением стекла». Церемония состоится в дни работы выставки.

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

В деловой программе выставки предусмотрено обсуждение наиболее актуальных вопросов развития стекольной отрасли, профессиональной подготовки специалистов, разработки нормативной базы. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации планирует принять активное участие в ее деловой программе, которая будет универсальной дискуссионной площадкой, способствуя расширению профессиональных горизонтов.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ТЕМЫ:

- Совместные разработки и согласованность действий проектировщиков, конструкторов и производителей стекла в процессе проектирования.
- Документы нормативно-технического регулирования в проектировании и строительстве. Применение еврокодов. Гармонизация российских и европейских стандартов.
- Внедрение инновационных строительных материалов и технологий.
- Программное обеспечение и автоматизация производственных процессов.
- Печать на стекле как одно из перспективных направлений в архитектуре.
- Технологии декорирования и «индивидуализации» стеклотары.
- Внедрение энергоэффективных технологий при проектировании зданий и сооружений. Пути решения.
- Основные ошибки при проектировании зданий с широким применением стекла и светопрозрачных конструкций.
- Специальные образовательные программы по изучению специфики работы со стеклом для архитектурных и строительных вузов, курсов повышения квалификации для проектировщиков.
- Подготовка профессиональных кадров. Сотрудничество российских вузов с производственными предприятиями и научными объединениями.

СОСТАВ ПОСЕТИТЕЛЕЙ

Профессиональный состав посетителей обеспечивается за счет собственной базы контактов российских и зарубежных специалистов стекольной отрасли, созданной за 15 лет проведения выставки «Мир стекла», базы Союза архитекторов России, насчитывающей 11000 членов, и широкой рекламной кампании выставки в профильных СМИ.

Благодаря гибкой ценовой политике и индивидуальному подходу к участникам, «InterGlass 2015» станет эффективным инструментом достижения ваших бизнес-целей.

Союз архитекторов России
+7 495 691 8660
Interglass-expo.com
info@interglass-expo.com

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ «НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ» В 2014 г.

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
<i>Поздравляем юбиляров</i>		
К 50-летию Юрия Николаевича Лебедева	2	12
К 75-летию Владимира Алексеевича Перепелицына	6	18
<i>55 лет ОАО «ОНПП «Технология»</i>		
Создание и развитие ОАО «ОНПП «Технология».....	10	3
Суздальцев Е. И. Керамические радиопрозрачные материалы: вчера, сегодня, завтра.....	10	5
Русин М. Ю., Василенко В. В., Ромашин В. Г., Степанов П. А., Атрощенко И. Г., Шуткина О. В. Композиционные материалы для радиопрозрачных обтекателей летательных аппаратов.....	10	19
Рогов Д. А., Коваленко П. В. Задача многопараметрической оптимизации конструкции соединения керамической оболочки с металлическим корпусом летательного аппарата.....	10	24
Чевыкалова Л. А., Келина И. Ю., Михальчик И. Л., Плясункова Л. А., Аракчеев А. В., Загоржевский В. В., Лорян В. Э. Керамический материал на основе отечественных композиционных порошков нитрида кремния, полученных методом СВС.....	10	31
Антонова Е. С., Голубева Н. А., Келина И. Ю., Плясункова Л. А., Стахровская Т. Е., Нечепуренко А. С. Влияние фракционного состава исходных порошковых смесей и их дисперсности на физико-механические свойства реакционно-связанного карбида кремния.....	10	37
Голубева Н. А., Плясункова Л. А., Келина И. Ю., Антонова Е. С., Журавлев А. А. Исследование свойств реакционно-связанного карбида бора.....	10	42
Кораблёва Е. А., Майзик М. А., Саванина Н. Н. Формирование пленочных структур твердых электролитов.....	10	47
Миронов Р. А., Забейжайлов М. О., Бородай С. П. Расчетно-экспериментальное определение температурной зависимости интегральной излучательной способности алюмооксидной керамики.....	10	51
Келина И. Ю., Голубева Н. А., Чевыкалова Л. А., Плясункова Л. А. Исследования структуры и свойств керамического материала комбинированных бронепанелей.....	10	55
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ (3–4 МАРТА 2014 г.). ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ.....	3	9
<i>Общие вопросы</i>		
Александров Б. П., Алексеева Н. В., Травицкова А. Н. Ассоциации «СПб НТЦ» --- 10 лет работы.....	3	12
Беляков А. В., Церман С. И. Современные схемы структурирования композиционного рабочего слоя алмазного инструмента для обработки огнеупорных материалов.....	3	12
Борзов А. Н., Заболоцкий А. В., Турчин М. Ю. Методы компьютерного моделирования для оптимизации огнеупорной футеровки.....	3	13
Драбик А. Н. Крепежные элементы монолитной футеровки.....	3	13
Коварская Е. З., Московенко И. Б., Потапов А. И. Разработка рекомендаций по освоению неразрушающих методов контроля физико-механических свойств и качества огнеупоров.....	3	14
Кононов В. А. Кризис в огнеупорной отрасли.....	3	14
Небген Г., Клаас Т., Серебрякова Р. Стратегические решения фирмы «Vhi GmbH» при взаимодействии с российскими производителями.....	3	15
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Пономаренко З. Г., Речнева Л. А. Дилатометрия коксового динаса.....	3	15
Перепелицын В. А., Куталов В. Г., Арзамасцев Н. Н., Остряков Л. В. Повышение износоустойчивости периклазоуглеродистых огнеупоров.....	3	16
<i>Сырьевые материалы</i>		
Абызов В. А., Рытвин В. М., Речкалов Д. А., Черногорлов С. Н. Быстротвердеющие глиноземистые огнеупорные цементы на основе дисперсных отходов переработки шлака безуглеродистого феррохрома.....	3	17
Аксельрод Л. М., Назмиев М. И., Семенцов А. А. Плавленный периклаз Группы «Магнезит».....	3	18

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Апакашев Р. А., Давыдов С. Я. Абразивный материал на основе глиноземной пыли.....	3	18
Белов В. А., Голотвин А. Д., Давыдов С. Я. Определение повышенного горного давления в осадочных породах глинистой формации.....	3	19
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Павлова И. А., Баяндина М. А. Исследование спекания каолина.....	3	20
Перепелицын В. А., Острякова И. В. Графитовые месторождения Урала.....	3	20
Перепелицын В. А., Рытвин В. М., Гильварг С. И. Получение плавленной шпинели с использованием шлака металлического хрома.....	3	21
Повшук В. В., Семченко Г. Д., Евдокимова Н. В. Флюс для повышения стойкости футеровки конвертеров.....	3	22
Соколов В. А. О получении плавленного стабилизированного диоксида циркония.....	3	24
Стенин Ю. В., Арефьев С. А., Ганиев Р. С. Взаимосвязь карьерных автодорог с технологическими параметрами открытой разработки.....	3	24
Стенин Ю. В., Ганиев Р. С., Арефьев С. А. Влияние риска расхождения плановых и фактических условий работы на производительность карьеров ОАО «Ураласбест».....	3	25
Юнусов Р. И. Факторы, влияющие на количество коксового остатка в связующем на основе пульвербакелитов.....	3	26
<i>Производство огнеупоров</i>		
Аксельрод Л. М., Донич Р. А., Привалов И. В., Марясов И. Г., Данилова Ю. В. Изделия для футеровки горизонтального конвертера плавки никелевых штейнов.....	3	26
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Пицик О. Н., Киселёва Е. А. Повышение эксплуатационных показателей составных плит шибберных затворов.....	3	27
Аксельрод Л. М., Хурматуллин А. Р., Пицик О. Н., Устинов В. А. Применение новых марок периклазошпинельных огнеупоров Группы «Магнезит».....	3	27
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В. Периклазоуглеродистые ковшевые огнеупоры Группы «Магнезит» с использованием собственного высококачественного периклаза и обновленной технологии.....	3	28
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Марясов И. Г., Латкин М. Ю. Оптимизация структуры коксового остатка и ее влияние на эксплуатационную стойкость огнеупоров.....	3	29
Ахтямов Р. Р., Трофимов Б. Я. Разработка и применение жаростойкого бетона на шлакощелочном вяжущем, шамотном и шлаковых заполнителях.....	3	29
Дикарёва Р. И., Макаренко А. Г., Коротеев С. А. Освоение производства высокомагнезиальных флюсов на Пантелеймоновском огнеупорном заводе.....	3	30
Донич Р. А., Привалов И. В., Данилова Ю. В. Карбидкремнийсодержащий бетон для агрегатов разлива меди.....	3	30
Казанцева Н. Н., Мамаев А. В. Расширение ассортимента выпускаемой продукции на Сухоложском огнеупорном заводе в условиях современного рынка.....	3	31
Лаптев А. П., Аксельрод Л. М., Марченко Д. А., Донич Р. А. Pre-cast огнеупоры основного и алюмосиликатного составов производства НПК «Магнезит». Опыт применения.....	3	31
Назмиев М. И., Ряшин В. В., Могильникова Е. С. Торкрет-масса для полусухого торкретирования сталеразливочных ковшей.....	3	32
Образцов А. Н., Поспелова Е. И., Ряшин В. В. Торкретирование — метод оперативного горячего ремонта сталеразливочных ковшей.....	3	32
Смертин В. В., Пицик О. Н., Беспалова И. Г., Крохин А. А. Периклазовые огнеупоры с форстеритовой связью для регенераторов стекловаренных печей.....	3	35
Турчин М. Ю., Пицик О. Н., Найман Д. А. Оптимизация формата огнеупоров Группы «Магнезит», применяемых для горелочного пояса высокотемпературной шахтной печи.....	3	36
Яговцев А. В., Кобелев Д. Б., Гороховский А. М. Цирконистографитовый материал для шлакового пояса погружаемого стакана.....	3	37
Ярушина Т. В., Сладков Е. М., Дикарёва Р. И. Периклазоуглеродистые изделия производства Пантелеймоновского огнеупорного завода.....	3	37
<i>Оборудование для современных процессов производства огнеупоров</i>		
Глухов А. В., Matthias Jan. Оборудование для подачи аргона и кислорода при производстве металла. Немецкие технологии.....	3	39
Давыдов С. Я., Шварев В. С. Использование прорезиненных лент общепромышленного назначения для трубчатых ленточных конвейеров.....	3	41

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Давыдов С. Я., Юсупова А. С. Использование системы грузопассажирского пневмотранспорта с повышенной пропускной способностью.....	3	41
Золотухин В. И., Головкин А. Г., Гордеев Е. И., Провоторов Д. А. Новая концепция построения современных сталеразливочных систем и огнеупоров к ним на основе инновационных решений..	3	42
Полянский Л. И., Добродородный А. Н., Хромов В. А., Кобелев М. В., Ветошкин А. В. Оборудование для селективного дробления отработанных огнеупорных материалов.....	3	43
Прибора В. Н. Современный рентгеновский анализ в огнеупорной промышленности.....	3	43
<i>Научные исследования и разработки</i>		
Апакашев Р. А., Давыдов С. Я. Исследование контактного взаимодействия расплавленного алюминия с огнеупорными материалами.....	3	46
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Плотные огнеупоры из карбидизированных гранул.....	3	47
Галахов А. В., Зеленский В. А., Коваленко Л. В., Алымов М. И. Синтез оксинитрида алюминия СВС-методом в азотсодержащих алюмогелях.....	3	47
Гурин В. Н., Гринь Ю., Буркхардт У., Веремчук Ю., Деркаченко Л. И. Синтез тугоплавких соединений на поверхности прессуемого порошка Al_2O_3 при спекании в СПАРК-плазме.....	3	48
Данилова О. Ю., Довгаль А. Н., Лукин А. В., Юрков А. Л., Дороганов В. А., Евтушенко Е. И., Гоголевская О. В. Карбид кремния на нитридной связке — оптимизация свойств, концентраций и структуры.....	3	48
Дороганов В. А., Перетокина Н. А., Гоголевская О. В., Евтушенко Е. И., Данилова О. Ю. Керамические композиционные материалы на основе системы $Al_2O_3-SiO_2-SiC$	3	49
Конаков В. Г., Голубев С. Н., Новик Н. Н., Ушаков В. М. Влияние условий сушки гелей, полученных золь-гель синтезом, на образование твердых растворов в нанокерамическом прекурсор состава $87ZrO_2-5HfO_2-8Y_2O_3$	3	50
Конаков В. Г., Курапова О. Ю., Голубев С. Н., Ушаков В. М. Получение наноразмерных керамических прекурсоров с низкой степенью агломерации методами «мягкой химии»...	3	52
Костицын М. А., Зайцева А. А., Казаков В. И., Митрофанов А. В., Кузнецов Д. В. Структура и свойства наномодифицированных муллитокорундовых огнеупоров.....	3	53
Лысова Г. А., Боровик С. И. Влияние температуры обработки сырца на механическую прочность углеродсодержащих огнеупоров.....	3	53
Милявский В. В., Акопов Ф. А., Лукин Е. С., Боровкова Л. Б., Бородин Т. И., Вальяно Г. Е., Попова Н. А., Зиборов В. С. Структурно-фазовые изменения в керамике на основе упрочненного частично стабилизированного диоксида циркония при различных воздействиях.....	3	54
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Дунаева М. Н. Термостойкий муллитокордиеритовый бетон.....	3	55
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Федоровцева А. В., Карпец Л. А. Повышение термостойкости плавящихся легированных материалов системы $MgO-Al_2O_3$	3	56
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Савина Л. К., Привалова Н. Г. Синтезированные корундсиалонсодержащие огнеупоры с добавкой ферросилиция.....	3	58
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Хончик И. В., Никулина Л. Н. Муллитокорундовая набивная масса с добавкой пылевидного кварца для футеровки металлургических агрегатов.....	3	58
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Гальченко Т. Г., Процак Е. Б. Применение в установках выращивания монокристаллов высокоогнеупорных изделий из плавящего диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия.....	3	58
Семченко Г. Д., Повшук В. В., Бражник Д. А., Борисенко О. Н., Евдокимова Н. В., Литовченко А. А. Использование наночастиц в технологии $MgO-C$ -материалов.....	3	59
Соков В. Н., Сокова С. Д., Солнцев А. А. Модифицированный метод самоуплотняющихся масс на основе выгорающей добавки растительного происхождения.....	3	60
Суворов С. А., Козлов В. В. Структурные характеристики периклазоуглеродистых огнеупоров.....	3	61
Суворов С. А., Румянцев В. И., Кораблёва Н. Ю. Термостойкие циркониевые изделия из ЧСДЦ.....	3	61
Суворов С. А., Туркин И. А., Сперанская К. А. Наноструктурированные корундоциркониевые огнеупоры.....	3	62
Суворов С. А., Фищев В. Н., Игнатъева А. Н., Арбузова Н. В. Высокоглиноземистые титаномуллитовые огнеупоры с лабильной микроструктурой.....	3	63
Хмельёв А. В. Муллитокорундовая керамика, полученная плазменно-искровым спеканием.....	3	63

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Шахметов У. Ш., Мурзакова А. Р., Хайдаршин Э. А. Технология огнеупорных профильных керамических изделий.....	3	64
<i>Огнеупоры в тепловых агрегатах черной и цветной металлургии</i>		
Абызов В. А., Рывтин В. М., Гильварг С. И., Ряховский Е. Н. Жаростойкие бетоны и растворы на фосфатных связующих и заполнителях из шлака алюминотермического производства металлического хрома.....	3	66
Афанасьев И. Г., Абдрахманов Р. И., Корнев Н. Н. Внедрение торкрет-масс для сухого торкретирования рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей ККЦ ОАО ММК.....	3	66
Афанасьев И. Г., Корнев Н. Н., Абдрахманов Р. И. Опыт применения периклазоуглеродистой футеровки кислородного конвертера изделиями компании «Dufenco» в условиях ККЦ ОАО ММК..	3	67
Бажин В. Ю., Сырков А. Г., Кванин А. Л. Технологии защиты углеграфитовой футеровки и электродов металлургических агрегатов.....	3	67
Ботников С. А. Влияние геометрии металлопроводки промежуточного ковша и технологических параметров разливки на работу сортовых МНЛЗ.....	3	68
Бурмистрова Е. В., Корнев Н. Н., Абдрахманов Р. И. Огнеупоры для продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах ОАО ММК.....	3	68
Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Марочкин О. А., Умнов В. И. Основные направления при конструировании огнеупорных элементов для защиты от вторичного окисления при разливке стали на МНЛЗ.....	3	69
Можжерин А. В., Маргишвили А. П., Мусевич В. А., Дука А. П., Ефимов С. В., Кузнецов С. Н., Симонов С. В., Афанасьев С. Ю., Яценко В. К. Опыт эксплуатации огнеупорных материалов ОАО БКО в сталеразливочных ковшах ООО «ОМЗ-Спецсталь».....	3	69
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Кущенко П. А. Опыт применения вибролитых тиглей из стабилизированного диоксида циркония для индукционной плавки металлов платиновой группы.....	3	71
Прошкин А. В., Михалёв Ю. Г., Пингин В. В., Исаева Л. А. К вопросу о механизме повреждения бортовой карбидкремниевой футеровки современных электролизеров.....	3	71
Сатбаев Б. Н., Жарменов А. А., Кокетаев А. И., Шалабаев Н. Т., Баитов К. К. Огнеупоры нового поколения с улучшенными эксплуатационными свойствами и их применение в металлургии..	3	72
Харин И. В., Турчин М. Ю., Чепиков С. Н. Опыт проведения футеровочных работ регенеративной известковой печи.....	3	73
Кононов В. А. Размышления о кризисе в огнеупорной отрасли.....	3	75
ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ		
Апакашев Р. А., Давыдов С. Я. Образование алюмоматричного композиционного материала при высокотемпературном взаимодействии компонентов системы Al-SiO ₂	3	91
Бажин В. Ю., Фещенко Р. Ю., Саитов А. В., Кузнецова Е. А. Защита углеграфитовой футеровки алюминиевого электролизера интеркаляционным слоем лития.....	3	87
Ботников С. А. Влияние геометрии металлопроводки промежуточного ковша и технологических параметров разливки на работу сортовых МНЛЗ.....	7	10
Бурмистрова Е. В., Абдрахманов Р. И. Огнеупоры для продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах ОАО ММК.....	7	5
Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Абдрахманов Р. И., Марочкин О. А., Умнов В. И. Сравнительный анализ применения различных систем быстрой замены стаканов-дозаторов при разливке стали на сортовых МНЛЗ.....	10	62
Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Марочкин О. А. Применение пластичных огнеупоров усовершенствованной конструкции для защиты струи металла при разливке на сортовых МНЛЗ.....	1	3
Дзюзер В. Я. Энергоэффективная структура кладки высокотемпературного регенератора стекловаренной печи.....	2	3
Калугин К. А., Мишутин М. П. Энергоэффективность и безопасность металлургических агрегатов при эксплуатации инновационных микропористых материалов компании «PROMAT».....	9	7
Коростелёв А. А., Съёмщиков Н. С., Чернышев А. А., Домова С. Ю., Иванов М. Ю., Бельмаз К. Н. Применение новых разработок компании «Corwintec Europe Ltd» для разливки стали в ОАО «Таганрогский металлургический завод».....	9	10
Кузин В. И. Способы повышения энергоэффективности футеровки тепловых агрегатов.....	11	5
Кушнарёв А. В., Вислогузова Э. А., Миронов К. В., Баранов Е. Н. Огнеупоры для футеровки желобов литейных дворов доменных печей.....	5	5

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Можжерин А. В., Маргишвили А. П., Мусевич В. А., Дука А. П., Ефимов С. В., Кузнецов С. Н., Симонов С. В., Афанасьев С. Ю., Яценко В. К. Опыт эксплуатации огнеупорных материалов ОАО БКО в сталеразливочных ковшах ООО «ОМЗ-Спецсталь».....	9	4
Сатбаев Б. Н., Жарменов А. А., Кокетаев А. И., Шалабаев Н. Т. Перспективы использования метода СВС в производстве огнеупоров для утепления чугуновозных ковшей и зеркала чугуна...	4	3
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективные высокостойкие футеровки для вельц-печей..	8	3
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективная комбинированная футеровка печей для выплавки кобальта.....	12	3
Смирнов А. Н., Ефимова В. Г., Кравченко А. В. Разработка конструкции кольцевого пористого огнеупорного продувочного блока для рафинирования стали в промежуточном ковше МНЛЗ.....	6	3
СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ		
Вакалова Т. В., Хабас Т. А., Ревва И. Б., Павлова И. А. Теплоизоляционные керамические материалы с нанопористой структурой, изготовленные с использованием золосодержащих отходов ТЭЦ	12	6
Давыдов С. Я., Апакашев Р. А., Корюков В. Н. Утилизация пыли печей кальцинации глинозема, содержащей наночастицы.....	8	10
Кашцев И. Д., Земляной К. Г., Доронин А. В., Козловских Е. Ю. Новые возможности кислотного способа получения оксида алюминия.....	4	6
Кийко В. С. Состояние сырьевой базы и необходимость производства в России керамики на основе оксида бериллия.....	2	7
Намираниан А., Калантар М. Обогащение и муллитизация андалузита Mishdovan.....	8	14
Склярова Г. Ф. Альтернативные виды нетрадиционного огнеупорного сырья на территории Дальнего Востока РФ.....	1	6
Соколов В. А. Плавка циркона в электродуговой печи — метод получения огнеупорных материалов и сырьевых полуфабрикатов.....	5	8
Юнусов Р. И. Факторы, влияющие на количество коксового остатка в связующем на основе пультвербакелитов.....	8	8
ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ		
Ал-джоубори Кассим. Производство карбидкремниевых изделий на Si ₃ N ₄ -связке с методом динамического ударного прессования.....	1	14
Беляков А. В., Церман С. И. Структурирование алмазоносного слоя в инструменте путем агрегации режущих зерен.....	12	14
Бочегов А. А., Ермаков А. В., Никифоров С. В., Вандышева И. В. Особенности технологического цикла изготовления муфеля печи для вакуумно-термической обработки гранулированного порошка МОКС-топлива.....	4	13
Воронина О. Б., Мелихов А. А., Полубесов С. Г., Агишева М. В., Власов А. В. Разработка бетонов для производства виброформованных изделий специалистами ООО «ТПП «Феррокомплекс» и ООО «Промресурс».....	5	15
Воронов Г. В., Антропов М. В., Глухов И. В. Газодинамика в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи.....	11	23
Воронов Г. В., Антропов М. В., Порох О. В. Особенности аэродинамики в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи.....	7	19
Головко А. Г., Гордеев Е. И., Золотухин В. И., Провоторов Д. А. Сталеразливочные системы для металлургических и литейных производств.....	2	14
Горбунов В. В., Кирпищикова И. Н. Огнеупорные изделия и футеровки из бетонных смесей для сталеразливочных и промежуточных ковшей.....	12	12
Гороховский А. М., Беклемышев Е. В. Неформованные огнеупоры производства ОАО «Динур»	11	15
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г. Пневмоподъемник со свободным истечением сыпучего материала с повышенной надежностью работы.....	6	9
Давыдов С. Я., Шварев В. С. Использование лент общепромышленного назначения для трубчатых ленточных конвейеров.....	4	16
Драбик А. Н. Крепежные элементы монолитных футеровок.....	9	29
Замятин С. Р., Гельфенбейн В. Е., Журавлёв Ю. Л., Бабакова О. Л. Бонитовый огнеупорный теплоизоляционный бетон.....	5	11
Золотухин В. И., Головко А. Г., Гордеев Е. И., Провоторов Д. А. Новая концепция построения современных сталеразливочных систем и огнеупоров к ним на основе инновационных решений..	9	26
Кашцев И. Д., Земляной К. Г., Рылов А. Н., Райков А. Ю., Алёшин А. П., Трубачёв М. В., Вохменцев С. А. Футеровка реактора для получения лигатур алюмотермическим методом.....	9	17

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Кашеев И. Д., Поморцев С. А., Ряплова А. А. Разработка огнеупорных бетонов алюмосиликатного и глиноземистого составов для тепловых агрегатов черной металлургии.....	7	15
Кондратьев Е. А., Валиулина М. А. Перспективные технологии неформованных огнеупоров, выпускаемых в Богдановичском ОАО «Огнеупоры».....	9	14
Кондратьев Е. А., Горбунов В. В. Новые виды продукции Богдановичского ОАО «Огнеупоры».....	11	11
Кормина И. В., Турлова О. В., Савченко Е. А. Применение новых связующих Термопласт при производстве шамотных изделий.....	3	95
Московчук В. Телескоп ТБР для безопасной и быстрой замены футеровки конвертера.....	1	19
Непомнящий В. В., Мосина Т. В., Волощенко С. М., Гогаев К. А., Аскеров М. Г. Зависимость режущей и полирующей способности магнитно-абразивных порошков от формы частиц и структуры	6	14
Орфанов П. Л. Новое средство для измерений теплофизических и теплотехнических параметров материалов и конструкций.....	7	22
Пилипенко Р. А., Пилипенко А. В., Логвиненко Д. М., Таукчи Ф. Г., Новиков А. И., Зубашенко В. М., Тимошенко Д. А. Реконструкция малогабаритной туннельной печи для обжига огнеупорных изделий.....	3	101
Полянский Д. И., Добродородный А. Н., Хромов В. А., Кобелев М. В., Ветошкин А. В. Оборудование для селективного дробления отработанных огнеупорных материалов.....	8	22
Полянский Л. И., Кобелев М. В., Ветошкин А. В. Оборудование для брикетирования отсева металлургической извести.....	3	99
Пономарёв В. Б. Разделение шамотных порошков методом воздушной сепарации.....	10	68
Юрков А. В., Кондратьев Е. А., Горбунов В. В. Новая линейка модификаторов шлака производства Богдановичского ОАО «Огнеупоры».....	10	65
ТЕПЛОТЕХНИКА		
Дзюзер В. Я. Основы разработки теплоизолированного пода стекловаренной печи.....	9	31
Дзюзер В. Я. Особенности расчета двухоборотного регенератора стекловаренной печи.....	5	17
Дзюзер В. Я. Разработка теплоизолированного свода высокопроизводительной стекловаренной печи	7	27
Кутузов С. В., Буряк В. В., Деркач В. В., Панов Е. Н., Карвацкий А. Я., Васильченко Г. Н., Лелека С. В., Чирка Т. В., Лазарев Т. В. Повышение эффективности теплоизоляционной шихты печей графитации Ачесона.....	2	17
Нургалиев Д. Ф., Сизяков В. М., Утков В. А. Исследование теплопроводности новых жаропрочных бетонов с пористыми наполнителями.....	7	25
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ		
Аксельрод Л. М., Марясев И. Г., Платонов А. А., Мельникова Д. Р. Совершенствование методов определения размеров кристаллов плавленного периклаза.....	11	50
Бамборин М. Ю., Воронцов В. А., Колесников С. А. Исследование формирования физического взаимодействия на границе структурных фаз углеродная матрица – углеродное волокно электрофизическими методами в углерод-углеродных композиционных материалах с различным уровнем плотности	2	22
Бамборин М. Ю., Колесников С. А. Исследование влияния высокотемпературной обработки на окислительную стойкость углерод-углеродных композиционных материалов.....	6	46
Беляков А. В., Церман С. И. Процесс резания алмазным инструментом хрупких неорганических нематаллических материалов с позиций синергетики.....	3	105
Борис Р., Антонович В., Спудулс Э., Волочко А., Стонис Р. Воздействие углеродного волокна на свойства среднецементного жаростойкого бетона.....	8	45
Борисова Н. В., Конаков В. Г., Новик Н. Н. Параметры высокотемпературного топливного элемента с мембраной, изготовленной из наноразмерного прекурсора.....	2	35
Вакалова Т. В., Кравченко В. В., Горбатенко В. В. Физико-химические особенности синтеза муллита в смесях кварцпиррофиллитовой породы со фторирующим компонентом.....	4	27
Васин А. А., Тарасовский В. П., Рыбальченко В. В., Омаров А. Ю. Пористая керамика из порошков, полученных методом химического диспергирования сплава Al–Mg (20 мас. %).....	11	47
Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Марочкин О. А., Умнов В. И. Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разливе на МНЛЗ.....	7	41
Волосова М. А., Григорьев С. Н., Кузин В. В. Влияние покрытия из нитрида титана на структурную неоднородность напряжений в оксидно-карбидной керамике. Часть 1. Методика исследования	8	28
Волосова М. А., Григорьев С. Н., Кузин В. В. Влияние покрытия из нитрида титана на структурную неоднородность напряжений в оксидно-карбидной керамике. Часть 2. Действует сосредоточенная сила	10	77
Волосова М. А., Григорьев С. Н., Кузин В. В. Влияние покрытия из нитрида титана на структурную неоднородность напряжений в оксидно-карбидной керамике. Часть 3. Действует распределенная силовая нагрузка.....	12	35

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Галахов А. В. Структура порошкового компакта. Часть 1. Неоднородность упаковки частиц.....	5	22
Галахов А. В. Структура порошкового компакта. Часть 2. Методы повышения однородности упаковки частиц	6	34
Галахов А. В. Структура порошкового компакта. Часть 3. Теоретический анализ процесса спекания в порошковых компактах с неоднородной пористостью.....	9	35
Галахов А. В. Структура порошкового компакта. Часть 3. Теоретический анализ процесса спекания в порошковых компактах с неоднородной пористостью.....	10	83
Галахов А. В., Зеленский В. А., Шелехов Е. В., Коваленко Л. В. Влияние воды на кристаллизацию $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в алюмогелях.....	1	24
Галахов А. В., Зеленский В. А., Шелехов Е. В., Коваленко Л. В. Влияние затравки на кристаллизацию $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в алюмогелях.....	2	48
Гаршин А. П., Шумячер В. М., Пушкарёв О. И. Керамический композиционный материал на основе карбида кремния и корунда с корундовой матрицей.....	1	31
Григорьев С. Н., Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Салаи Тибор, Фаркаш Балаж. Технологические особенности электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в высокоплотной керамике. Часть 1	7	52
Григорьев С. Н., Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Салаи Тибор, Фаркаш Балаж. Технологические особенности электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в высокоплотной керамике. Часть 2	9	49
Григорьев С. Н., Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Салаи Тибор, Фаркаш Балаж. Технологические особенности электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в высокоплотной керамике. Часть 3	11	56
Гуламова Д. Д., Шевченко В. П. Синтез керамических материалов с использованием энергосберегающей экологически чистой солнечной энергии.....	3	123
Гуляева А. В. Влияние влаги на прочностные характеристики огнеупора магнезиального состава и методы, увеличивающие влагостойкость огнеупора.....	2	45
Демидова-Буйзинене И., Пундиене И. Влияние количества дефлокулянта на изменения физико-механических свойств среднецементных жаростойких бетонов в процессе сушки и термообработки	3	134
Демидова-Буйзинене И., Пундиене И. Исследования влияния композиционного дефлокулянта на изменения физических и механических характеристик жаростойкого бетона в процессе термической обработки	10	70
Дзя Лю, Хуебин Чжан, Хайцзюнь У, Цзисян Ху, Цзэлинь Вань, И Фэн. Оценка кинетики спекания пористой SiC-керамики.....	11	62
Дороганов В. А., Перетокина Н. А., Дороганов Е. А., Евтушенко Е. И., Данилова О. Ю. Исследование наномодифицированных вяжущих карбида кремния и композитов на их основе.....	9	44
Евтушенко Е. И., Дороганов В. А., Перетокина Н. А., Зайцева Т. И. Теплоизоляционные материалы, модифицированные нанодисперсным кремнеземом.....	8	25
Кажикенова С. Ш. Новые технологии получения огнеупорных материалов.....	3	119
Кашцев И. Д., Земляной К. Г. Влияние способов измельчения на состав поверхности и спекание хромита	12	18
Кашцев И. Д., Земляной К. Г. Диффузия углерода в периклаз при плавке.....	11	26
Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б., Галганова А. Л., Резниченко А. В. Теплоизоляционный огнеупорный материал на основе полых корундовых микросфер.....	12	29
Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Мосин Ю. М., Красный А. Б., Омаров А. Ю. Пористая проницаемая корундовая керамика из порошков гидроксидов алюминия. Часть 1. Исследование свойств порошков гидроксида алюминия различных марок.....	1	35
Кузин В. В., Григорьев С. Н., Волосова М. А. Тепловые и деформационные процессы в поверхностном слое детали из оксидно-карбидной керамики, контактирующей с деталью из никелевого сплава, при нагреве	4	53
Кузин В. В., Григорьев С. Н., Ермолин В. Н. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 3. Влияние распределенной силовой нагрузки.....	1	42
Кузин В. В., Григорьев С. Н., Ермолин В. Н. Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 4. Совместное действие силовых и тепловых нагрузок	2	29
Кукарцев В. А., Абкарян А. К., Бабкин В. Г. Исследование фазового состава отработанной кварцитовой футеровки индукционной тигельной печи промышленной частоты рентгеновскими методами	11	44
Кукарцев В. А., Трунова А. И., Кукарцев А. В. Термический анализ кварцита, используемого для футеровки индукционной тигельной печи промышленной частоты.....	5	33
Курапова О. Ю., Конаков В. Г., Голубев С. Н., Ушаков В. М. Взаимосвязь методики синтеза, фазообразования и дисперсности порошков-прекурсоров керамики итогового состава $9\text{CaO}-91\text{ZrO}_2$...	4	47
Ли С. С., Одум-Вубах Т., Цзэн Б. Й., Хуан Ц. Л. Простой метод синтеза нанопорошков алюмоиттриевого граната (Nd:YAG) путем продувки (барботирования) аммиаком.....	6	52
Ляпцев С. А., Потапов В. Я., Давыдов С. Я., Потапов В. В., Семериков Л. А., Васильев Е. А. Классификация сыпучих материалов при ударе о разделительную поверхность.....	12	41
Ма Б., Ли И., Лиу Г., Ли Ч. Влияние параметров технологического процесса на производство и свойства пористой керамики на основе Al_2O_3	12	43

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Милявский В. В., Акопов Ф. А., Лукин Е. С., Боровкова Л. Б., Бородин Т. И., Вальяно Г. Е., Попова Н. А., Зиборов В. С. Полиморфные переходы частично стабилизированного ZrO_2 на поверхностях разрушения образцов трансформационно-упрочненной керамики в результате различных силовых и термических воздействий.....	7	44
Могажи Пиус Бамиделе, Жамиру Тамба, Десай Давуд, Садику Ротими. Обзор механизмов упрочнения керамических материалов, применяемых для изоляции камеры сгорания блока цилиндров автомобильного двигателя.....	9	53
Мосина Т. В. Контактная прочность, трещиностойкость и абразивный износ композиционных материалов системы TiN–AlN.....	8	49
Мурзакова А. Р., Гончаренко Е. А., Хайдаршин Э. А. Влияние состава и структуры на технологические свойства и характеристики профилированных изделий из наноструктурированной многофункциональной композиционной керамики.....	4	24
Пивинский Ю. Е., Дякин П. В. Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавного кварца. Часть 1. Сопоставительная оценка и отличительные особенности технологий кварцевой керамики и огнеупоров.....	7	33
Семченко Г. Д., Шутеева И. Ю., Рыщенко М. И., Борисенко О. Н. Формирование заданного фазового состава материала из модифицированного алкоксидом кремния порошка тугоплавкого заполнителя и золь-гель композиций.....	6	29
Словиковский В. В., Гуляева А. В. Плавные огнеупоры магнизального состава повышенной термостойкости.....	6	50
Слюсарь О. А., Ястребинский Р. Н., Черкашина Н. И., Дороганов В. А., Ястребинская А. В. Влияние добавок на структурообразование дисперсной системы.....	12	32
Соков В. Н., Сокова С. Д. Термостойкий корундовый бетон, армированный волокнами оксида алюминия, синтезируемыми в матрице при обжиге. Часть 1. Термостойкость высокотемпературных материалов и пути ее повышения.....	5	37
Соков В. Н., Соков В. В. Термостойкий корундовый бетон, армированный волокнами оксида алюминия, синтезируемыми в матрице при обжиге. Часть 2. Теоретические предпосылки повышения термостойкости огнеупорных бетонов дисперсно армированных волокон.....	6	25
Соков В. Н., Сокова С. Д. Термостойкий корундовый бетон, армированный волокнами оксида алюминия, синтезируемыми в матрице при обжиге. Часть 3. Выбор рациональных компонентов для получения корундового бетона.....	7	49
Соков В. Н., Сокова С. Д. Термостойкий корундовый бетон, армированный волокнами оксида алюминия, синтезируемыми в матрице при обжиге. Часть 4. Подбор рационального состава корундового бетона.....	8	43
Суворов С. А., Козлов В. В. Экспериментальное измерение растворимости MgO в металлургических шлаках для управления шлаковой коррозией периклазоуглеродистого огнеупора.....	3	127
Суздальцев Е. И. Технологические особенности синтеза стеклокерамики β -сподуменового состава. Часть I. Исследование стабильности свойств стеклокерамики в условиях длительного повторного воздействия высоких температур.....	12	24
Суздальцев Е. И., Горелова Е. В. Модифицирование кварцевой керамики с повышенной излучательной способностью кремнийорганическим связующим.....	3	130
Суздальцев Е. И., Миронова Е. В. Влияние площади склейки на прочность клеевого соединения при сдвиге.....	4	44
Сюйзяю Тао, Сянюнь Вэй, Сяолань Чень, Ваньчжен Лу, Минь Ма, Тун Чжаю. Синтез нанокерамики из диоксида циркония с помощью метода прекерамического полимера.....	2	40
Уваров В. И., Лорян В. Э., Боровинская И. П., Пономарёв М. А., Качин А. Р. Высокотемпературные СВС-материалы в решении проблемы экологически чистой переработки и утилизации промышленных, бытовых и радиоактивных отходов.....	8	38
Хмелёв А. В. Влияние термоудара и добавки глины на свойства муллитоциркониевой керамики.....	8	32
Хмелёв А. В. Получение муллитоциркониевой керамики плазменно-искровым способом.....	4	33
Чэнь Го, Чэнь Цзинь, Чжи Сяоцзе, Шринивасаканнан С., Пэн Цзиньхуэй. Синтез и характеристики поглощения в сверхвысокочастотном диапазоне корундомуллитовых огнеупоров.....	5	41
Шарапова В. В. Физико-химические основы образования гарнисажа вращающейся печи при использовании техногенного материала шлама нормального электрокорунда.....	1	47
Шаяхметов У. Ш., Мурзакова А. Р. Высокотемпературная деформация и ползучесть наноструктурированной композиционной керамики на основе оксида алюминия.....	6	20
Шаяхметов У. Ш., Мурзакова А. Р. Эффективная многофункциональная наноструктурированная композиционная керамика.....	2	19
Шмурадко В. Т., Роман О. В., Ильющенко А. Ф., Судник Л. В., Киршина Н. В. Керамические изделия для дозирования алюминиевых расплавов.....	1	28

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Щекина Т. И., Батанова А. М., Курбыко Т. Н., Пыриков А. Н., Григорьев Б. Н. Сравнительное исследование устойчивости хромитопериклазовых и периклазоуглеродистых огнеупоров при их взаимодействии с расплавами никелевого производства (экспериментальные данные). 1. Поведение хромитопериклазовых огнеупоров в присутствии металлошлакового и шлакового расплава.....	11	31
Эндрюс Э., Гаву С. К. Й., Аппия М., Индоме А., Фудзи А., Абака Дж. Прочность огнеупоров на основе литомаржиковой глины после циклического температурного воздействия.....	4	39
ЭКОЛОГИЯ		
Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А., Крюков И. В. Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 1. Вывод гидродинамических уравнений эжекции воздуха потоком сыпучего материала в перфорированном желобе с байпасной камерой.....	2	51
Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А. Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 2. Определение эффективности использования рециркуляционных течений.....	4	60
Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А. Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 3. Расчет погрузочного устройства и предложения по его совершенствованию.....	6	57
Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А., Азаров В. Н., Уваров В. А. Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 4. Теоретические предпосылки создания пылеокалывающих устройств с закрученными воздушными потоками.....	8	53
Логачёв И. Н., Логачёв К. И., Аверкова О. А. Методы снижения энергоёмкости систем аспирации. Часть 5. Расчет объемов аспирации при перегрузках порошкообразных аутогезионных материалов.....	12	51
Романюк Е. В., Красовицкий Ю. В., Смирных А. А., Чугунова И. А. Комбинированные фильтровальные перегородки для очистки пылегазовых потоков в производстве огнеупоров.....	7	57
Пыриков А. Н., Черноусов П. И. Ресурсо-экологические и энергетические резервы предприятий горно-металлургической отрасли.....	9	61
КАЧЕСТВО И СЕРТИФИКАЦИЯ		
Буравов А. Д., Зима М., Коварская Е. З., Московенко И. Б. Разработка рекомендаций по контролю акустическим методом качества огнеупорных изделий на основе периклаза, в том числе периклазоуглеродистых.....	2	57
ЭКОНОМИКА И РЫНОК		
Прогноз развития мировой черной металлургии на 2014–2015 гг.	5	46
Ситуация с ключевыми видами огнеупорного сырья.....	8	59
Статистика		
Выпуск огнеупоров в Китае в 2013 г.	9	68
Мировая выплавка стали в июне 2013 г.....	1	53
Мировая выплавка стали в июле 2013 г.....	2	63
Мировая выплавка стали в августе 2013 г.	3	144
Мировая выплавка стали в октябре 2013 г.	4	67
Мировая выплавка стали в ноябре 2013 г.....	5	49
Мировая выплавка стали в декабре 2013 г.	6	64
Мировая выплавка стали в январе 2014 г.	7	64
Мировая выплавка стали в апреле 2014 г.	8	62
Мировое производство чугуна в июне 2013 г.....	1	52
Мировое производство чугуна в июле 2013 г.....	2	62
Мировое производство чугуна в августе 2013 г.	3	143
Мировое производство чугуна в октябре 2013 г.	4	66
Мировое производство чугуна в ноябре 2013 г.....	5	48
Мировое производство чугуна в декабре 2013 г.	6	63
Мировое производство чугуна в январе 2014 г.	7	63
Мировое производство чугуна в апреле 2014 г.....	8	61
Производство огнеупоров в Китае в 2012 г. в сравнении с 2011 г.	3	147
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в июне 2013 г.....	1	51
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в июле 2013 г.....	2	61
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в августе 2013 г.	3	142
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в октябре 2013 г.....	4	65
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в ноябре 2013 г.....	5	47
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в декабре 2013 г.....	6	62

Фамилии авторов и названия статей	Номер журнала	Стр.
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в январе 2014 г.	7	62
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в апреле 2014 г.	8	60
Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в мае 2014 г.	9	65
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в июне 2013 г.	1	51
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в июле 2013 г.	2	61
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в августе 2013 г.	3	142
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в октябре 2013 г.	4	65
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в ноябре 2013 г.	5	47
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в декабре 2013 г.	6	62
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в январе 2014 г.	7	62
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в апреле 2014 г.	8	60
Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в мае 2014 г.	9	65
Статистика по производству и потреблению огнеупоров в черной металлургии Японии в 2004–2013 гг. (апрель–сентябрь).....	9	66
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	1	55
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	2	65
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	3	146
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	4	69
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	5	51
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	6	66
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	7	66
Цены на некоторые виды огнеупорного сырья.....	8	64
ИЗОБРЕТЕНИЯ		
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	1	56
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	2	66
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	3	148
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	4	70
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	5	52
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	6	67
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	7	67
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	8	65
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	9	69
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	11	67
Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам.....	12	55
ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА		
Гаврик Г. Г. Международная конференция огнеупорщиков и металлургов (3–4 апреля 2014 г., Москва)	5	55
Кошкина Т. П. 19-я международная промышленная выставка «Металл-Экспо 2013».....	1	66
Международная выставка «InterGlass 2015» (пресс-релиз).....	12	57
Ромашин А. Г., Келина Р. П., Келина И. Ю. История научно-технических конференций ОАО «ОНПП «Технология»: 1967–2013 гг.	1	59
Тарасовский В. П. О сборнике «Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях».....	3	150
Термообработка-2014.....	11	70
* * *		
Памяти Александра Гавриловича Ромашина	10	60
Памяти Леонида Петровича Соркина	11	72

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

RULES OF DRAWING UP OF ARTICLES

- В статье следует сообщить цель проведения работы, привести фактические данные, их анализ и дать заключение (выводы). Текст статьи должен быть дополнен кратким рефератом и ключевыми словами. Реферат и ключевые слова желательно представлять также в английском варианте. Библиографический список следует оформлять в соответствии с ГОСТ 7.1-2003. На труднодоступные источники просьба не ссылаться. Рисунки должны быть четкими, упрощенными и не загроможденными надписями. На графики желательно не наносить масштабную сетку (за исключением номограмм).
- В статье должны быть указаны ученая степень, адрес и телефон каждого автора. Все материалы статьи редакция просит предоставлять в электронном виде.
- Если статья отправлена по e-mail, допускается оформление изображений только в виде отдельных файлов формата TIF (цветные и тоновые — 300 dpi, штриховые — 600 dpi), JPEG, CDR, EPS. Изображения (за исключением диаграмм Excel), внедренные в файлы формата DOC, в качестве оригиналов не принимаются, как не обеспечивающие стандартного качества полиграфического исполнения.
- Представляя рукопись в редакцию, авторы передают издателью авторское право на публикацию ее в журнале. Авторы могут получить в формате PDF копию своей статьи, которая высылается первому автору или любому другому (по указанию авторов). Направление в редакцию работ, опубликованных или посланных для печатания в редакции других журналов, не допускается.
- Статья, пришедшая в редакцию от зарубежных авторов, вначале отдается на рецензирование, редактируется, переводится на русский язык и публикуется в журнале «Новые огнеупоры». Затем статья отправляется на публикацию в журнал «Refractories and Industrial Ceramics» вместе с английской версией, присланной автором. Таким образом, конечный вариант статьи, опубликованный в журнале «Refractories and Industrial Ceramics», может немного отличаться от первоначального, присланного авторами. Статья, опубликованная в журнале «Новые огнеупоры», в формате PDF высылается авторам по e-mail.

- It is necessary to state in the article the aim of the research work, to cite factual data, to give their analysis and conclusions. The text of the article should be supplemented with a short abstract and key words. Both the abstracts and key words should be also presented in English. Bibliographical list should be drawn up in accordance to the standard GOST 7.1-2003. Please don't make references to sources which are difficult of access. Figures should be distinct, simplified and not overloaded with inscriptions. It is desirable not to scribe a graticule on the diagrams (with the exceptions of nomograms).
- Scientific degree, address and telephone of every author should be given in the article. All the materials of the articles are required to be presented to the editorial board in electronic form.
- If the article is sent by e-mail it is required to draw up the images only in the form of separate files in TIF format (tone images — 300 dpi, stroke images — 600 dpi), JPEG, CDR, EPS. Images (with the exception of Excel diagrams), introduced into files of DOC format are not accepted as originals because they don't ensure the required standard polygraphic quality.
- Providing the article to the Editorial office the authors thereby convey the copyright of publication to the publisher. The authors get a copy of the article in PDF format. It not allowed offering the Editorial office an article which has been published by other journals or was sent to other publishing houses.
- The article sent to the editorial office by foreign author is refereed firstly by an independent reviewer. Then it is edited and red-penciled, then it is translated into Russian and published in the journal «Novye Ogneupory». Further both the article and the original author's article are sent off to be published in the journal «Refractories and Industrial Ceramics». Thus the final article published in the journal «Refractories and Industrial Ceramics» can vary slightly from the original variant sent by the author. The article published in the journal «Novye Ogneupory» forwarded also to the author by e-mail in PDF format.

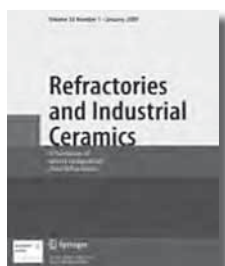
Технические требования к рекламе внутри журнала «Новые огнеупоры» (для каждой страницы)

Technical requirements to advertising in the journal «New Refractories» (for every page)

- Формат документа до обреза 215 × 300 мм, после обреза: ширина 205 мм, высота 290 мм. Необходимая прибавка (на обрез) по 5 мм со всех сторон.
- Значимые элементы (текст или изображение) должны отстоять не менее чем на 7 мм от края документа (205 × 290 мм). Разрешение, необходимое для печати, 300 dpi, формат документа TIF, JPEG, EPS цветовая модель CMYK.

- Format of a document to the edge 215 × 300 mm, after the edge: width 205 mm, height 290 mm. Necessary addition (for the edge) 5 mm on every side.
- Important elements (text or images) should be placed not less than 7 mm from the edge of document (205 × 290 mm). Resolution required for printing is 300 dpi, document format is TIF, JPEG, EPS color model CMYK.

ВНИМАНИЕ!



Просим в библиографическом списке статей, опубликованных в журнале «Новые огнеупоры», после русской версии дополнительно приводить библиографическое описание статьи в английской версии из журнала «Refractories and Industrial Ceramics» (информационно-издательский консорциум «Springer»), если она была в нем опубликована.

Содержание журнала «Refractories and Industrial Ceramics» с указанием авторов, названия статьи, года издания, номера выпуска, страниц, номера журнала публикуется в Интернете:

<http://link.springer.com/journal/11148>

Редакция

ABSTRACTS

UDC 666.762.32:669.253.2.6.6

Viable composite lining for cobalt furnaces

Slovikovskii V. V., Gulyaeva A. V. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 3–5.

The low stability reasons and the mechanisms of refractory wear are analyzed in the article for the cobalt furnace linings. The material composition and the design are developed for the refractory bricklaying of independent electric arc Culmann furnaces. The highly resistant periclase MP refractories based on fused grains are proposed to be used in these furnaces' linings. The lining of certain design was developed for MU and MP refractories. The measures taken made it possible to increase by 1,8–2 times the stability of Culmann's furnaces at «Uzhuralnickel» Works (town Orel). Ill. 2. Ref. 2. Tab. 4.

Key words: fired refractories, fused refractories, chemical reactions, thermal stability, rate of wear.

UDC 666.766:662.613.1

Heat insulating ceramic nanoporous materials manufactured with the use of Heat and power Plant's wastes

Vakalova T. V., Khabas T. A., Revva I. B., Pavlova I. A. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 6–11.

It was established that pore-forming effect of both fuel ash and ashy microspheres on clay rocks compounds is caused both by the structural features (the presence of the spherical shaped hollow particles), the ashy component composition, and the physical and chemical processes taking place in the clay – ash and clay – ashy microspheres systems, the latter processes preventing the shrinkage on sintering (owing to the anorthite and mullite synthesis occurring with molar volume increasing). Ill. 6. Ref. 14. Tab. 2.

Key words: technology-related wastes, ash and slag wastes, fly ash, ashy microspheres, firing, structure formation, pore forming, pore distribution, strength.

UDC 666.974.2+666.762.12]:621.746.328.3.047

Concrete mix refractories and linings for steel-teeming and intermediate ladles

Gorbunov V. V., Kirpishchikova I. N. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 12–13.

Certain items of the Bogdanovochi JSC «Refractory» production line are regarded in the article, the items being manufactured according to the concrete-based technology using the concrete mixes developed at the enterprise. The products and materials released are used when steel casting at CCMs. Ill. 3. Tab. 1.

Key words: concrete mixtures, steel teeming ladle, intermediate ladle, lining materials, products, concrete-base technology.

UDC 666.3/7:621.9

The diamond layer patterning by means of cutting grains aggregation

Belyakov A. V., Tserman S. I. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 14–17.

The cutting operations are regarded in the articles for the extra hard materials such as refractories, concretes, ceramics, single crystals, and for the comparatively soft refractories and natural stones. The operations being carried out by means of cutting wheels with two diamond-containing layers designs: the cluster type (fine aggregates with high-dense diamond distribution) and the fractionary type (large aggregates with considerably lower dense diamond distribution). The increasing of both cutting speed and durability was achieved comparing to these characteristics obtained for the wheels with conventional even diamond distributions. The cluster type design is viable for extra hard materials cutting, the fractional type design is more appropriate for the softer materials cutting. Ill. 6. Ref. 9. Tab. 1.

Key words: refractories, diamond cutting, segment structure, diamond aggregates.

UDC 666.762.43.022.2

The influence of grinding operations on the chromite surface composition and sintering

Kashcheev I. D., Zemlyanoi K. G. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 18–23.

The grinding operations for chromite concentrate are investigated for the grinders with various milling techniques and power ratings. It was established that the milling technique provides the different surface structure for the fine chromite particles, different kinds of the particle micro deformations as well as different chemical activity of the particles. The milling technique almost doesn't affect the chromite phase composition. In their surface layer of more than 50 nanometers thick the fine grounded chromite particles contain magnesium silicates which characterize the chromespinelide completely. Ill. 8. Ref. 8. Tab. 4.

Key words: chromite, power rating, fine grinding, micro deformations, coherent scattering region, surface composition, sintering.

UDC 666.266.6

Technological characteristics of β -spodumene glass-ceramics synthesis. Part I. The glass-ceramics stability investigation in course of long-term repeated exposure to the elevated temperatures

Suzdal'tsev E. I. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 24–28.

The results are given in the article for the property and phase composition change of β -spodumene glass-ceramics after the multiple long-term repeated exposure to elevated temperatures. Ref. 23. Tab. 5.

Key words: heat treatment, phase composition, density, strength, dielectric permeability.

UDC 666.762.11:666.3-127.7

Heat-insulating refractory material on base of hollow corundum micro spheres

Krasnii B. L., Tarasovskii V. P., Krasnii A. B., Galganova A. L., Reznichenko A. V. // *New Refractories*. — 2014. — No 12. — P. 29–31.

The influence of dispersion agents on the properties of both corundum hollow micro sphere mixtures and burnt materials was studied in the article. It was shown that the CASTAMENT FS10 and CASTAMENT FW10 additions allowed the obtaining the green ware with the ultimate compressing strength as much as 2 Megapascals. At the same time the fired material's porosity comparing to that of the material without dispersing additions doesn't decrease significantly. On base of hollow corundum micro spheres with poly-fraction composition after the burning at 1600 °C the heat-insulating ceramic materials were obtained having the open porosity at most 50,7 % and the ultimate compressing strength at most 35 Megapascals. The materials shrinkage at burning was no more than 0,2 %, providing the manufacturing the large-sized irregular shaped products out of this material and the handing them over to the customers. Ill. 2. Ref. 5. Tab. 3.

Key words: ceramics, structure, corundum, hollow micro spheres, thermal conductivity, strength, porosity.

UDC 691.434:666.3-183.2

The influence of the addition on the disperse system's structure formation

Slyusar' O. A., Yastrebinskii R. N., Cherkashina N. I., Doroganov V. A., Yastrebinskaya A. V. // New Refractories. — 2014. — No 12. — P. 32–34.

The investigating results of the composite addition influence on the critical concentration of the clay suspension structure formation are given in the article. The plots of the suspension's ultimate dynamic shear stress against both the solid state content and addition concentration are presented. It was found that when the addition concentrations are small, the complexes based on oxyphenil-furfural oligomers are most effective. Such complexes can be used as a fluidizing agent for clay suspensions. Ill. 1. Ref. 12.

Key words: composite additions, suspension, structure formation, ultimate dynamic stress, aggregative stability.

UDC 621.778.1.073:666.3]:669.018.25

The influence of titanium-nitride surface coating on the structure stress inhomogeneity of oxide-carbide ceramics. Part 3. The distributed loading action

Volosova M. A., Grigor'ev S. N., Kuzin V. V. // New Refractories. — 2014. — No 12. — P. 35–40.

The titanium nitride surface coating influence on the structure-stress inhomogeneity in the oxide-carbide ceramics under the distributed loading action is studied in the article. It was established that the coating defines the characteristics governing the structure stress inhomogeneity in ceramics. It was stated that the structural stress inhomogeneity should be taken into account when designing the products out of coated oxide-carbide ceramics. Ill. 7. Ref. 9. Tab. 1.

Key words: ceramics, coating, structural stress inhomogeneity, distributed loading, structural element.

UDC 622.77.091: 622.567.6

Classification of materials in relation to the impact on interface

Lyaptsev S. A., Potapov V. Ya., Davydov S. Ya., Potapov V. V., Semerikov L. A., Vasil'ev E. A. // New Refractories. — 2014. — No 12. — P. 40–42.

The basic dynamics equation governs the motion of particles on impact with interface is given in the article. The computed results for the angle and reflection velocity, as well as for the length and abscissa of descent after the impact are presented with respect to a number of substances (coal shale, asbestos). Ill. 3. Ref. 6. Tab. 1.

Key words: methodology, friction performance, differential equations, characteristic curves.

UDC 666.762.1-127

Effects of processing parameters on fabrication and properties of Al₂O₃ based porous ceramics

Ma B., Li Yi., Liu G., Li Zh. // New Refractories. — 2014. — No 12. — P. 43–50.

Al₂O₃ based porous ceramics (APCs) were successfully fabricated via a polymeric sponge replica method using fused white corundum powder as main raw material. The effects of zirconia content (0–12 wt. %), sintering temperature (1450–1550 °C) and holding time (2–6 h) on the phase composition, macrostructure, microstructure, sintering properties, cold crushing strength and thermal shock resistance of the APCs were investigated. The APCs with ultrafine microstructure could be obtained by doping ZrO₂. The properties of the APCs were found to depend greatly on the processing parameters. The APCs with high porosity (88,9 %), high crushing strength (0,52 MPa) and good thermal shock resistance (19 numbers of thermal cycling) could be fabricated when the sample containing 8 wt. % ZrO₂ was sintered at 1500 °C for 2 h. Ill. 14. Ref. 26. Tab. 1.

Key words: porous ceramics, Al₂O₃, ZrO₂, polymeric sponge replica method; grain refinement.

UDC 533.6:628.5

Reducing power consumption methods for aspiration systems. Part 5. Suction capacity calculation when reloading of powdered self-adhesion materials

Logachev I. N., Logachev K. I., Averkova O. A. // New Refractories. — 2014. — No 12. — P. 51–54.

The calculation method for the suction capacity during reloading of powdered materials with elevated self-adhesion properties is developed in the article. Both the free falling conglomerate jet and the conglomerate flow inside the impermeable chute are regarded. The results obtained are useful when designing of the effective aspiration systems with reduced power capacity. Ref. 15.

Key words: aspiration hood, reloading of the bulk materials, energy consumption reduction for aspiration systems.