

Новые огнеупоры. 2014. № 1



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

- ▲ **ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ**
- ▲ **СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ**
- ▲ **ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ**
- ▲ **НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ**
- ▲ **ЭКОНОМИКА И РЫНОК**
- ▲ **ИЗОБРЕТЕНИЯ**
- ▲ **ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА**

1

ЯНВАРЬ 2014

ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

• ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

• ФОРМОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ И НЕФОРМОВАННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
СЫРЬЕ, ПРОИЗВОДСТВО, СЛУЖБА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР — КОМПАНИЯ «АПМАТИС»

ПАРТНЕРЫ:

«ЕВРАЗХОЛДИНГ»

ОАО «МЕЧЕЛ»

ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

ОАО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ»

ОАО «ПЕРВОУРАЛЬСКИЙ ДИНАСОВЫЙ ЗАВОД»

ООО «КЕРАЛИТ»

«КОФЕРМИН РОШТОФФЕ ГмбХ»

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА —
ЖУРНАЛЫ «НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ», «СТАЛЬ»

КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОВОДИТСЯ
В РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РФ
МОСКВА, ПРОСПЕКТ ВЕРНАДСКОГО, 82

ПО ВСЕМ ВОПРОСАМ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
ООО «ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»
127006, МОСКВА, СТАРОПИМЕНОВСКИЙ ПЕР., 8,
СТР. 1-1А
ТЕЛ.: (495) 699-97-85, 755-90-91
ФАКС: (495) 755-90-40
E-MAIL: OGNEUPOR@IMET.RU, INFO@IMET.RU

**3-4 АПРЕЛЯ
2014 ГОДА**

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.	МИГАЛЬ В. П.
АНТОНОВИЧ В.	МОСИНА Т. В.
АНЦИФЕРОВ В. Н.	ОВСЯННИКОВ В. Г.
БАРИНОВ С. М.	ОЙСТРАХ А. В.
БЕЙЛИНА И. Ю.	ОРДАНЬЯН С. С.
БЕЛОУСОВА В. Ю.	ОЧАГОВА И. Г.
БЕЛЯКОВ А. В.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.
БУРАВОВ А. Д.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.
ВЕРЕЩАГИН В. И.	ПОМОРЦЕВ С. А.
ВИКУЛИН В. В.	ПРИМАЧЕНКО В. В.
ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	ПЫРИКОВ А. Н.
ВЯТКИН А. А.	СЕМЧЕНКО Г. Д.
ГУРИН В. Н.	СИЗОВ В. И.
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 **Н. Н. Жильцов**
 Компьютерная верстка **Н. Н. Жильцова**
 Корректор **Ю. И. Королёва**

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
 по делам печати, телерадиовещания
 и средств 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) 755-90-91, 699-97-85. **Тел./факс:** (495) 755-90-40
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, а также в каталог российских электронных периодических изданий

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 15.01.14. Формат 60×84 1/8.
 Бумага мелованная
 Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,00
 Уч.-изд. л. 8,82. Заказ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Вдовин К. Н., Tochilkin V. V., Marochkin O. A. Применение пластичных огнеупоров усовершенствованной конструкции для защиты струи металла при разливке на сортовых МНЛЗ. 3

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Склярова Г. Ф. Альтернативные виды нетрадиционного огнеупорного сырья на территории Дальнего Востока РФ 6

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Аль-Джоубори Кассим. Производство карбидкремниевых изделий на Si_3N_4 -связке методом динамического ударного прессования. . 14

Московчук В. Телескоп ТБР для безопасной и быстрой замены футеровки конвертера 19

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

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. 24

Шмурадко В. Т., Роман О. В., Ильющенко А. Ф., Судник Л. В., Киршина Н. В. Керамические изделия для дозирования алюминиевых расплавов. 28

Гаршин А. П., Шумячер В. М., Пушкарев О. И. Керамический композиционный материал на основе карбида кремния и корунда с корундовой матрицей. 31

Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Мосин Ю. М., Красный А. Б., Омаров А. Ю. Пористая проницаемая корундовая керамика из порошков гидроксидов алюминия. Часть I. Исследование свойств порошков гидроксида алюминия различных марок 35

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 42

Шарапова В. В. Физико-химические основы образования гарнисажа вращающейся печи при использовании техногенного материала шлама нормального электрокорунда. 47

ЭКОНОМИКА И РЫНОК

Статистика

Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в июне 2013 г. 51

Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в июне 2013 г. 51

Мировое производство чугуна в июне 2013 г. 52

Мировая выплавка стали в июне 2013 г. 53

Цены на некоторые виды огнеупорного сырья. 55

ИЗОБРЕТЕНИЯ

Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам 56

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

Ромашин А. Г., Келина Р. П., Келина И. Ю. История научно-технических конференций ОАО «ОНПП «Технология»: 1967–2013 гг. 59

Кошкина Т. П. 19-я международная промышленная выставка «Металл-Экспо'2013». 66

Abstracts 71

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Marochkin O. A. The application of pliable refractories of improved design for the metal stream shrouding in course of continuous casting process 3

RAW MATERIALS

Sklyarova G. F. Non-conventional refractory raw materials at the Far East of Russian Federation 6

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Al-Joubory Kassim. Formation of Si_3N_4 bonded SiC sidewall bricks by dynamic impact pressing. 14

Moskovchuk V. Telescope TBR for the safe and fast converter's relining 19

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Galakhov A. V., Zelenskii V. A., Shelekhov E. V., Kovalenko L. V. The influence of water on the $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ crystallizing within alumina gels . 24

Shmuradko V. T., Roman O. V., Il'yushchenko A. F., Sudnik L. V., Kirshina N. V. Ceramic product for aluminum melts metering out 28

Garshin A. P., Shumyacher V. M., Pushkarev O. I. Ceramic composition material on base of silicon carbide and corundum with corundum matrix 31

Krasnyi B. L., Tarasovskii V. P., Mosin Yu. M., Krasnyi A. B., Omarov A. Yu. Porous permeable corundum ceramics formed out of aluminum hydroxide powders. Part I. The investigation of aluminum hydroxide powders of various brands. 35

Kuzin V. V., Grigoriev S. N., Ermolin V. N. Strain inhomogeneity in the ceramics' surface layer under the external load. Part III. The influence of distributed loading 42

Sharapova V. V. The physics and chemistry of the scull formation in the rotary furnaces when using of the brown fused aluminum's slime's by-products. 47

ECONOMICS AND MARKET

Statistics

The manufacturing of specific groups of ferrous metallurgy products in Russia in June 2013 51

The manufacturing of specific groups of other nonmetallic mineral product in Russia in June 2013 51

World production of iron in June 2013 52

World production of steel in June 2013 53

Price-list for variety of refractory raw materials. 55

INVENTIONS

Review of patents of the Russian Federation for inventions in refractories 56

INFORMATION

Romashin A. G., Kelina R. P., Kelina I. Yu. The history of the scientific and technical conferences of JSC «Obninsk Research and Development Enterprise «Technology» for 1967–2013 59

Koshkina T. P. 19th International Industrial Exhibition «Metall-Expo'2013». 66

Abstracts 71

Д. Т. Н. К. Н. Вдовин, д. т. н. В. В. Точилкин, О. А. Марочкин (✉)

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.76:621.746.047

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ ОГНЕУПОРОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТРУИ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИВКЕ НА СОРТОВЫХ МНЛЗ

Рассмотрены технологии и оборудование управления потоками металла системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш сортовых МНЛЗ. Разработаны конструкции элементов устройства для защиты струи металла при разливке на сортовой МНЛЗ. Устройство исключает прохождение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивает рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы, что позволяет повысить качество разливаемого металла.

Ключевые слова: МНЛЗ, промежуточный ковш, огнеупоры, манипулятор, аргон.

Постоянно растущие требования к продукции металлургических предприятий заставляют производителей расширять марочный сортамент стали, разливаемой на МНЛЗ, улучшать качество непрерывнолитых слитков, увеличивать производительность и эффективность работы МНЛЗ [1–3]. В электросталеплавильном цехе ОАО ММК на сортовых МНЛЗ разливают сталь с широким марочным сортаментом. Для выполнения растущих требований по качеству проводится реконструкция действующих установок или сооружаются новые с учетом новейших разработок в области технологии непрерывной разливки стали. неотъемлемой частью соблюдения этих требований является разработка и совершенствование устройств и систем для защиты стали от вторичного окисления (рис. 1) [1, 2, 4]. В этой связи устройства для защиты струи металла от вторичного окисления различаются по принципу действия, манипуляторы — по видам привода. Используются различные принципы подвода-отвода защитных труб к отверстию в шиберном или ином затворе на сталеразливочном ковше.

Недостатком устройств для защиты струи металла является образование между внутренней поверхностью огнеупорной трубы и поверхностью стакана шиберного затвора зазора, возникающего в процессе разливки ста-

ли. В результате этого происходит интенсивное насыщение разливаемого металла газами (в частности, азотом), что приводит к снижению качества непрерывнолитой заготовки. Для сортовой МНЛЗ разработано устройство для защиты струи металла (рис. 2) [4]. Устройство включает огнеупорный стакан 1 с подводящим каналом 2 и наружной конусообразной поверхностью 3 и огнеупорную трубу 4. Верхняя часть 5 отверстия 6 трубы 4 выполнена в форме контактирующего с ней участка 7 конусообразной поверхности 3 стакана 1 и содержит кольцеобразную выемку 8 и отверстие 9 для подвода аргона, а также прокладку 10, расположенную

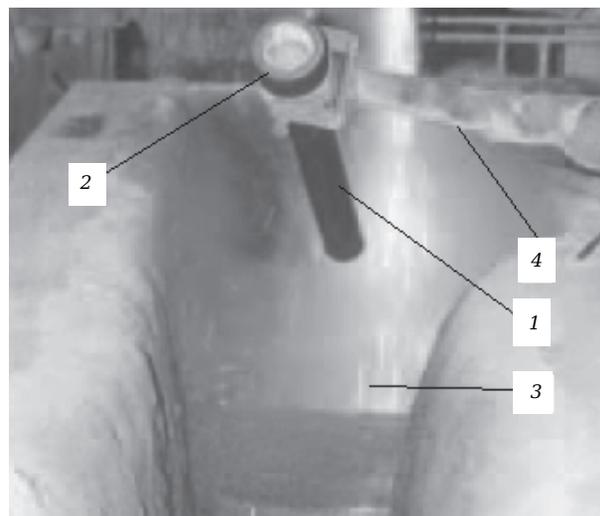


Рис. 1. Установка манипулятором защитной трубы сталеразливочного ковша в промежуточном ковше: 1 — защитная труба; 2 — уплотнительное устройство; 3 — приемная камера промежуточного ковша; 4 — манипулятор

✉
О. А. Марочкин
E-mail: m_a_r_chel74@mail.ru

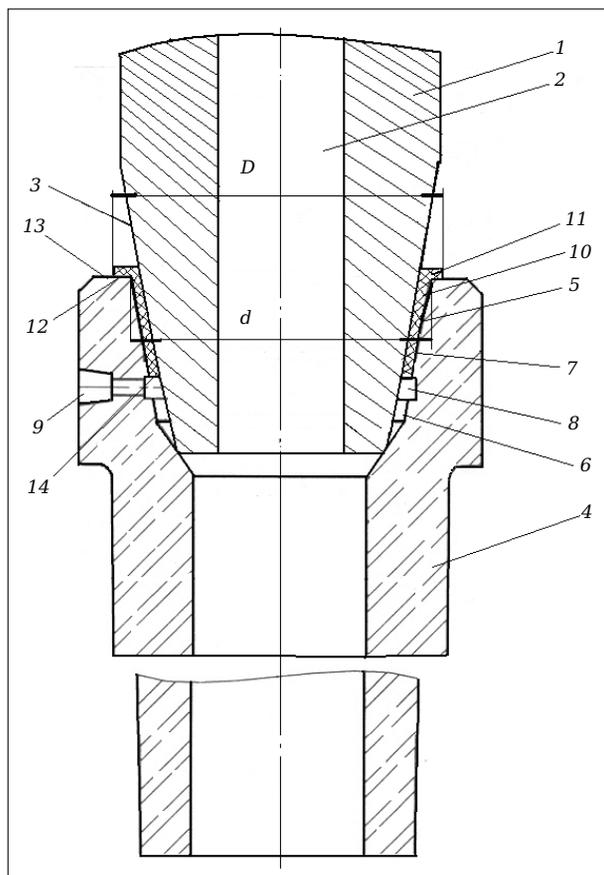


Рис. 2. Устройство для защиты струи металла при разливке на МНЛЗ

по контактирующему участку 7 стакана 1 и трубы 4. Верхняя часть 11 прокладки 10 имеет верхнюю торцевую поверхность 12, расположенную по торцевой поверхности 13 огнеупорной трубы 4. Нижняя торцевая поверхность 14 прокладки 10 расположена над кольцеобразной выемкой 8 огнеупорной трубы 4. Верхняя торцевая поверхность прокладки 10 выполнена с наружным диаметром D не менее 1,2 диаметра d отверстия огнеупорной трубы 4 в верхней своей части. Прокладка 10 изготовлена из пластичного огнеупорного материала.

Конструктивное выполнение прокладки 10 обеспечивает надежную фиксацию трубы 4 относительно стакана 1, исключение проникновения воздуха в струю металла и рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку 8 трубы 4. При этом надежная фиксация трубы 4 исключает возможность ее смещения относительно стакана 1 в процессе всего цикла разливки стали из сталеразливочного ковша, что также приводит к повышению качества разливаемого металла.

Выполнение верхней торцевой поверхности 12 прокладки 10 диаметром D менее 1,2 диаметра d отверстия огнеупорной трубы 4 в верх-

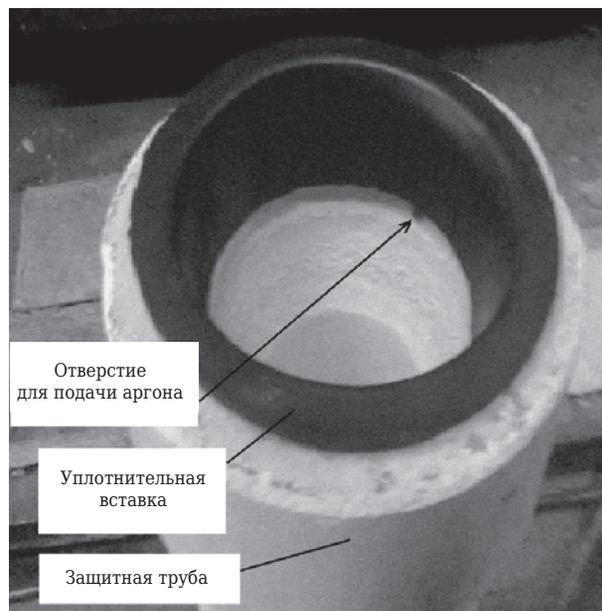


Рис. 3. Устройство для защиты струи металла

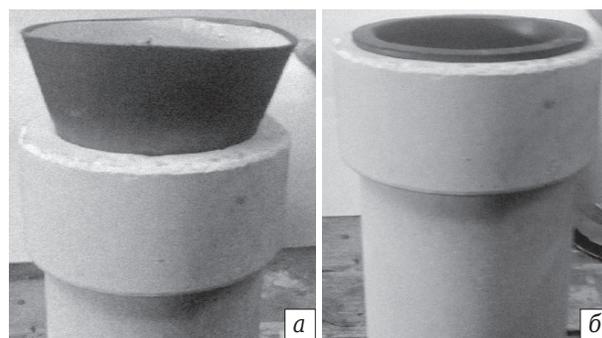


Рис. 4. Защитные трубы со вставками: а — ранее существующая конструкция; б — измененная конструкция

ней своей части нецелесообразно, так как при этом в процессе установки огнеупорной трубы 4 относительно конусообразной поверхности 3 стакана 1 происходит смещение нижней торцевой поверхности 14 прокладки 10, что обеспечивает частичное или полное перекрытие кольцеобразной выемки 8 и отверстия 9 для подачи аргона. В результате этого происходит подсос воздуха в струю металла при разливке. При этом наблюдается интенсивное насыщение разливаемого металла газами (в частности, азотом), что, соответственно, снижает качество непрерывнолитой заготовки.

Работает устройство для защиты струи металла следующим образом. Предварительно на трубу 4 в верхней части 5 отверстия 6 устанавливают прокладку 10. Используя манипулятор (на рис. 2 не показан), трубу 4 устанавливают на стакане 1. При этом форма выполнения сопрягаемых поверхностей и соответствие геометрических размеров конструктивных

элементов позволяют обеспечить надежную фиксацию трубы 4 в стакане 1. Затем из отверстия 9 подают аргон, а через подводящий канал 2 стакана 1 подают жидкий металл. Струя металла поступает в кристаллизатор МНЛЗ (на рис. 2 не показан). При этом рациональное расположение нижней торцевой поверхности 14 прокладки 10 над кольцевой выемкой 8 позволяет обеспечить подачу аргона по всей поверхности трубы в зоне кольцевой выемки 8 и оптимальную отсечку воздуха. Кроме того, надежная фиксация трубы 4 в стакане 1, а также осевая центровка их полостей обеспечивают в процессе разлива формирование струи металла технологически заданной конфигурации без нарушения ее сплошности, исключая при этом боковое смещение струи металла в трубе 4 и размывание огнеупора трубы 4.

Устройство для защиты струи металла при разливе на МНЛЗ отличается тем, что верхняя торцевая поверхность прокладки выполнена с наружным диаметром не менее 1,2 диаметра отверстия огнеупорной трубы в верхней своей части (рис. 3). Таким образом, заявляемая конструкция устройства исключает проникновение воздуха в струю металла при разливе,

обеспечивает рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы 4 и, соответственно, повышает качество разливаемого металла (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструкция устройства для защиты струи металла при разливе на МНЛЗ исключает проникновение воздуха в струю металла, обеспечивает рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы и, соответственно, стабильность процесса разлива стали.

Усовершенствована система защиты струи жидкой стали от воздействия внешних факторов, разработана принципиально новая система ограничения проникновения азота на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш, что позволило увеличить срок эксплуатации специальных устройств из огнеупорных материалов для прохождения жидкой стали, снизить норму расхода огнеупоров с 5,7 шт./тыс. т (2007–2010 гг.) до 3,2 шт./тыс. т (2011 г.). Снижение нормы расхода позволило получить экономию 7,74 руб./т.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вдовин, К. Н.** Разработка систем подачи аргона для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, С. Н. Ушаков, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин // Технология металлов. — 2013. — № 6. — С. 38–40.
2. **Точилкин, В. В.** Электромеханические манипуляторы для транспортирования и ориентации устройств, обеспечивающих защиту струи стали при разливе / В. В. Точилкин, К. Н. Вдовин // Изв. вузов. Электромеханика. — 2004. — № 2. — С. 111, 112.
3. **Ушаков, С. Н.** Развитие технологии разлива металла и оборудования промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / С. Н. Ушаков, А. А. Хоменко,

С. В. Шевченко [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2009. — № 1/2. — С. 25–29.

4. **Пат. 102552 РФ, МПК В 22 D 41/08.** Устройство для защиты струи металла при разливе на машине непрерывного литья заготовок / Бигеев В. А., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Кащеев Д. В., Великий А. Б., Марочкин О. А., Шевченко С. В., Хоменко А. А. Заявка 2010141323/02 ; заявл. 07.10.10; опубл. 30.10.11, Бюл. № 7. ■

Получено 07.10.13

© К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



HITHERM Prague 2014

18-я Международная конференция по огнеупорам

13–14 мая 2014 г.

г. Прага, Чехия

www.silikaweb.cz

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ НЕТРАДИЦИОННОГО ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РФ

Отражены перспективы использования природных нетрадиционных видов огнеупорного сырья — высокоглиноземистых пород, содержащих минералы группы силлиманита, дистена и андалузита, а также алунитов, анортозитов, цирконийсодержащих пород. По предварительным качественным и количественным характеристикам эти виды сырья удовлетворяют требованиям к качеству огнеупорного сырья.

Ключевые слова: нетрадиционное огнеупорное сырье, высокоглиноземистые породы, алунит, анортозит, цирконийсодержащее сырье, Дальний Восток.

В настоящее время мировая тенденция в производстве огнеупоров направлена на создание и применение изделий с высокими технологическими характеристиками. В металлургии планируется полностью исключить мартеновское производство и доводить выплавку стали в конвертерах и электропечах, что предъявляет повышенные требования к созданию высокотемпературной (>1650 °C) огнеупорной продукции. Предприятия черной и цветной металлургии, машиностроения, электротехнической, химической и других отраслей, потребляющие огнеупоры, испытывают острый дефицит в высококачественном глиноземистом сырье, содержащем более 45 % Al_2O_3 . В общем плане огнеупорное сырье прессуют из порошков крупностью до 3 мм под давлением 60–120 МПа и обжигают при температурах до 1500–1750 °C и выше, обеспечивающих превращение исходных минералов в новообразования [4, 5].

Альтернативными видами огнеупорного сырья для современной металлургии могут являться неметаллы, содержащие такие высокоглиноземистые минералы, как кианит, андалузит, силлиманит, нефелин, алунит, диаспор, а также цирконий (см. таблицу). Этим видам сырья в настоящее время уделяется повышенное внимание. В зарубежных странах высокоглиноземистые виды сырья добываются достаточно интенсивно. По данным за 1930–2002 гг., объем годового производства сырья к 1970 г. уве-

личился более чем в 23 раза, а с 1970 к 2003 г. еще возрос в 2 раза. Основными продуцентами являются ЮАР, США, Франция, Индия, а также Китай, Австралия. Мировой спрос на дефицитное высокоглиноземистое сырье возрастает, что подтверждается, в частности, межконтинентальными перевозками его на значительные расстояния (например, андалузит из ЮАР в США и Западную Европу, из Индии в Германию и Японию и т. д.). В ЮАР запасы алюмосиликатных руд (андалузит- и силлиманитсодержащих) оцениваются в 50 млн т.

В России доля производимых высокоглиноземистых огнеупоров составляет всего 2,5 %, а основным сырьем остается дефицитный и дорогостоящий технический глинозем, получаемый из маложелезистых бокситов и импортируемый в основном из Китая. По экономическим прогнозам, мировая потребность, в частности, в кианитовом концентрате для огнеупорной отрасли к 2010 г. при благоприятном развитии металлургии может достигнуть 125–150 тыс. т

Главные глиноземсодержащие минералы

Минерал	Химическая формула	Содержание глинозема, %
Корунд	Al_2O_3	100
Диаспор, бёмит	$Al_2O_3 \cdot H_2O$	85,0
Гиббсит (гидрагиллит)	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	65,4
Андалузит, силлиманит	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	63,0
Каолинит	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	39,5
Алунит	$K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$	37–45
Анортит	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	36,7



Г. Ф. Склярова
E-mail: sklyarova@igd.khv.ru

(в настоящее время 25–50 тыс. т) при возрастании цен на обожженный кианит до порядка 300 долл./т.

По ресурсам высокоглиноземистых минералов Россия занимает одно из первых мест в мире. К настоящему времени разведаны крупные запасы кианита (~600 млн т), территориально распределенные преимущественно в Северо-Западном регионе (Мурманская обл.), в меньших количествах — силлиманита в Восточно-Сибирском регионе, в Бурятии. Кроме разведанных месторождений проявления высокоглиноземистых пород известны и в других регионах — на Урале, в Красноярском крае, в Восточном Саяне, большей частью недостаточно изученные и практически не оцененные. Добыча и производство высокоглиноземистого сырья не производятся. В обзорной работе ЦНИИгеолнеруда [3] о перспективах и развитии нетрадиционных видов высокоглиноземистого сырья по регионам России Дальний Восток не охвачен. Вместе с тем Дальневосточным институтом минерального сырья на протяжении более 20 лет (1970–1992 гг.) при участии автора настоящей статьи проводились тематические и поисковые работы, выявившие и оценившие на территории Дальневосточного экономического района широкомасштабное развитие высокоглиноземистых пород различных минеральных видов. На территории Дальневосточного региона зафиксированы порядка ста месторождений и проявлений высокоглиноземистых пород, по химико-минеральному составу отнесенных к группе алюмосиликатных огнеупоров, включающей андалузит-, силлиманитсодержащие сланцы, алунитовые вторичные кварциты, нефелиновые сиениты, анортозиты, фарфоровые камни.

АНДАЛУЗИТ- И СИЛЛИМАНИТСОДЕРЖАЩИЕ СЛАНЦЫ

Андалузит, дистен и силлиманит являются полиморфными модификациями одинакового химического состава ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$), представляющими высококачественное высокоглиноземистое сырье. Для его электротермической переработки ВАМИ установлен состав концентратов, содержащих Al_2O_3 не менее 57 %, SiO_2 не более 37,5 %, Fe_2O_3 1,5 %, TiO_2 0,5 %, $(Na_2O + K_2O)$ 0,7 %, $(CaO + MgO)$ 0,6 %.

Андалузитовое сырье. По условиям образования на Дальнем Востоке выделяются андалузитсодержащие проявления двух типов: контактово-метаморфический и гидротермально-метасоматический.

Контактово-метаморфический тип андалузитовой минерализации локально проявлен на

контактах осадочных пород с различными интрузиями. Проявление *Гора Андалузитовая* и *Случайная* (в бассейне р. Ольдой) в Амурской обл. приурочено к двум останцам кровли (изолированные возвышенности, сохранившиеся от процессов денудации) в экзоконтактных частях интрузий одноименных гор, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Их образование связано с воздействием нижнемеловых интрузий на алевролитопесчанниковые образования. Площадь выхода андалузитовых роговиков 1350×850 м², мощность до 40 м. Содержание андалузитовых разноориентированных длинностолбчатых агрегатов в темно-серых и черных роговиках, аргиллитах составляет 10–50 %. Прогнозные запасы порядка 57,75 млн т. *Бирское* проявление (правобережье р. Биры, вблизи с. Лондоко) представлено слюдисто-андалузитовыми сланцами, содержащими андалузит (размер кристаллов от долей миллиметра до 3–4 мм) в количестве до 40–50 %. Параметры залежи в изученной части 240×900 м.

Гидротермально-метасоматический тип андалузитовых проявлений принадлежит к формации вторичных кварцитов и связан с андалузитовой, андалузит-серицитовой и андалузит-корундовой их фациями. *Джаоринское* проявление вскрыто буровыми скважинами в экзоконтактовой зоне гранодиоритов в пределах массива вторичных кварцитов. Вскрытая мощность андалузитсодержащих кварцитов достигает 34 м. Содержание андалузита в породах достигает 30–35 %. Более высокое содержание андалузита (до 50–60 %) фиксировалось в бассейне р. Мамын в *Полуночкинском* и *Елнинском* проявлениях, а также вблизи пос. Мариинского (*Хмуринское* проявление), где в экзоконтакте крупной интрузии гранитов выделяется полоса гидротермально измененных порфиринов протяженностью 3 км и шириной 300–600 м, представленных андалузитовыми, андалузит-серицитовыми, иногда с корундом, кварцитами. Кроме того, прогнозные ресурсы определены также по ряду андалузитовых проявлений (*Альтаирское*, *Октябрьское*, *Праводукукское*, *Моготское*), находящихся в аналогичных геологических условиях. Суммарные прогнозные ресурсы андалузитсодержащих руд на территории Дальнего Востока ориентировочно определены в количестве 8145 млн т. **Дистен-силлиманитовое сырье.** Дистен-силлиманитовые проявления относятся к регионально-метаморфическому типу и образуются за счет метаморфизма высокоглиноземистых первичных осадочных пород. Их проявления отмечаются в разрезах отложе-

ний на Алданском щите, в Становой области, Хингано-Буреинском и Ханкайском массивах, большей частью слабо изученных и не оцененных. Чимчанское месторождение и ряд проявлений дистенсодержащих пород установлены в бассейне среднего течения реки Гиллой. Площадь месторождения сложена в основном биотитовыми гнейсами, в составе которых выявлены линзовидные тела гранат-дистен-ставролитовых и гранат-дистен-ставролит-пиррофиллитовых гнейсов мощностью до 10 м прослеженной протяженностью до 3,5 км. Тела дистенсодержащих пород представлены часто переслаивающимися маломощными полосами (2–3 см) и гнездообразными скоплениями (0,5 × 0,3 м) крупнокристаллического дистена (до 0,5 см). Кроме того, гнездовые скопления крупнокристаллического дистена отмечаются в приконтактных частях кварцевых жил, пересекающих гнейсовый комплекс пород. Среднее содержание дистена по месторождению в рудных залежах составляет 20 %. Прогнозные ресурсы определены в количестве 432 тыс. т. *Веселовское* проявление: в линзах (400 × 1000 м) дистен-гранат-биотитовых гнейсов содержится в среднем 21 % дистена. Проявления силлиманит-дистеновых руд (*Лучинское, Некригское, Утанахское*) в составе архейских и нижнепротерозойских образований по мощности рудных пачек достигают 20–100 м протяженностью до 2 км. Содержание высокоглиноземистых минералов составляет 20–80 %. Кроме того, прогнозные ресурсы дистен-силлиманитовых руд определены по 13 проявлениям, находящимся в аналогичных условиях.

Суммарные ресурсы дистен-силлиманитового сырья определены в количестве 812,572 млн т. Для сравнения масштабов развития высокоглиноземистых образований в ЮАР, экспортирующей андалузиты: корунд-силлиманитовые тела в гранат-биотитовых сланцах системы Кейс содержат 4 млн т высокоглиноземистого сырья (месторождения Пелла, Кунабиб), кварц-силлиманитовые сланцы Намакваленда — 2,5 млн т руды с 20–30 % силлиманита (Камисберх). В роговиках и сланцах этой же серии (Восточный Трансвааль) разведаны 1,5 млн т андалузитового сырья, содержащего 8 % андалузита (месторождения Ансли, Стретам и др.).

АЛУНИТЫ

Алуниты — гидротермально-метасоматические образования, содержащие минерал алунит $K_3NaAl_3[(SO_4)_2(OH)_6]$. Теоретический состав алунита, %: Al_2O_3 36,93, SO_3 38,66, K_2O 11,37,

H_2O 13,04. Присутствие в химическом составе алунита в значительном количестве оксидов алюминия и калия, а также серы определяют этот вид сырья как комплексный с возможностью получения глинозема (алюминия), серной кислоты, сернокислого алюминия (коагулянта), сульфата калия (бесхлорное калийное удобрение) и других порядка 40 промпродуктов практического назначения.

Дальний Восток — единственный в России район уникального развития алунитового оруденения, в пределах которого выявлено более 100 алунитсодержащих месторождений и проявлений. Наиболее широко алунитоносность развита в Хабаровском крае в пределах вулканических зон Нижне-Амурской части Сихотэ-Алиньского вулканического пояса (Гряда Каменистая, Искинское, Шелеховское, Половинное и др.), в Охотском районе в пределах Ульинской металлогенической зоны (Наледное), в пределах полуострова Камчатка (Малетойваямское, Половинное) и в других районах [4]. Генетически алунитопроявления связаны с вулканогенно-метасоматическими образованиями (вторичными кварцитами) мелового, неогенового и современного возраста. Авторские запасы и прогнозные ресурсы месторождений алунитовых руд относятся к разряду крупных (от более 60 млн т до 5 млрд т) со средним содержанием алунитов порядка 30 % и более. К наиболее перспективным для дальнейшего освоения относятся Шелеховское (Комсомольский район) и Буриндинское (Амурская обл., ДВЖД — разъезд Буринда) месторождения. Суммарные запасы по разведанным семи месторождениям 1374 млн т, по семи проявлениям с установленными параметрами 1184 млн т.

Опыт промышленного использования алунитового сырья в глиноземном производстве накоплен в процессе работы на Гянджинском глиноземном комбинате, перерабатывающем алуниты Загликского месторождения (Азербайджан). По расчетам себестоимости получаемого глинозема алунитовые руды более конкурентоспособны, чем привозные гвинейские бокситы. Технологические исследования ведущих институтов страны (ВАМИ, Механобр, Гипроруда, ДВИМС и др.) проводились в разные годы с целью определения способов обогащения алунитсодержащих пород месторождений Дальнего Востока, получения из них промпродуктов, наиболее востребованными из которых для народного хозяйства являются глинозем, коагулянты для очистки воды и отходов производства, калийные удобрения, квасцы, серная кислота и др.

Среди распространенных способов обогащения наиболее эффективным и универсаль-

ным является флотационный, основанный на различии в поверхностных свойствах минералов алунита и его попутных постоянных спутников в руде — кварца, опала, каолинита, диккита и др. В качестве наиболее распространенных флотореагентов-собираателей применяют мыло дистиллированного таллового масла, окисленный рисайкл, а регуляторов среды — жидкое стекло, синтан (битумно-синтетический материал) и др.

Разработанные способы переработки алунитового сырья в основном подразделяются на два вида — кислотные и щелочные. Среди щелочных способов известно много разновидностей, из которых в промышленном масштабе реализован восстановительно-гидрохимический. Большую перспективу может иметь разработанный в последние годы в ВАМИ гидрохимический способ переработки невосстановленного сырого алунита совместно с нефелиновым сиенитом или сынныритовым концентратом. Заслуживает внимания новая технология комплексной переработки серно-алунитовых руд (Малетойваямское месторождение, Камчатка) методом термического восстановления, разработанным на кафедре химической технологии Львовского политехнического института совместно с ВНИИПИСера. Сернокислотный способ по сравнению со щелочным обладает преимуществами высокого извлечения полезных компонентов, небольшим количеством реагентов; к его недостаткам относятся необходимость использования кислотостойкого оборудования, двукратная термообработка, приводящая к высокому расходу топлива, отрицательное воздействие на экологию за счет улетучивания серы в атмосферу.

Промышленное получение алюминия из алунитовых руд технологически сложное, энергоемкое производство, требующее больших затрат на создание промышленно-производственной базы. Этот вопрос для Дальнего Востока может решаться лишь на федеральном уровне в отдаленной перспективе. Алунитовые руды, кроме сложных технологических схем полной комплексной переработки с получением глинозема, по упрощенным технологиям могут служить сырьем для получения дефицитных сульфатов алюминия и квасцов, в которые будет связываться весь глинозем, а также сульфатов калия. При этих способах руда используется в крупнодробленом виде, не подвергаясь энергоемкому процессу тонкого дробления, без предварительного обогащения [3].

В Дальневосточном институте минерального сырья проводили испытания по обогащению алунитовых руд Искинского месторождения

с использованием вместо дорогостоящей олеиновой кислоты дешевого гудронного флотореагента (ГФР), производимого на местном Уссурийском масложирокомбинате. Гудронный флотореагент состоит из жирового гудрона (кубового остатка от дистилляции жирных кислот, технического жира, жировых отходов), асидола или окисленного петролатума, омыленных натриевой щелочью. Технологические показатели ГФР: жировое гидран-кислотное с числом 40–50 мг КОН, число омыления 140–180 мг КОН, нафтенные кислоты (осидол) по ГОСТ 13301, едкий натр технологический по ГОСТ 2263, петролатум окисленный по МРТУ 12 Н № 64–63. Обогащению с применением ГФР подвергалась технологическая проба алунитовых руд Искинского месторождения массой 50 кг со средним содержанием алунита 30,3%. Реагент-собираатель подавали во флотации в виде 5%-ного раствора. Измельчение руды мокрое до получения 92% фракции мельче 0,074 мм. Соду в виде 10%-ного раствора подавали отдельно в измельченную руду и во флотацию. Расход ГФР 500 г/т, длительность флотации 10 мин. При pH 9,5 извлечение составило 91% с содержанием алунита в пенном продукте 52,84%. Суммарный пенный продукт перечистки и флотации содержит 61,59% алунита при извлечении 92,69%. В опытах по флотации алунита по принципу непрерывного процесса с учетом пенного продукта перечистой флотации и камерного продукта контрольной флотации был получен концентрат, содержащий 72–74% алунита с извлечением 93–94%. Несмотря на большой расход ГФР (500 г/т) по сравнению с количеством олеиновой кислоты (300 г/т), применение ГФР вместо олеиновой кислоты может дать экономию в расчете на 1 т руды более чем в 20 раз, учитывая значительно более низкую его стоимость.

По результатам опытных исследований технологических проб по обогащению алунитовых руд Шелеховского месторождения в лаборатории Тульского отделения ЦНИГРИ были получены концентраты с содержанием алунита 65–70% при извлечении 86–91%, пригодные для получения глинозема по щелочной и кислотной схемам. Кроме того, в алунитовых концентратах определены золото в количестве 0,4–0,7 г/т и серебро 2,8–3,1 г/т, в хвостах соответственно — 0,9–1,1 и 3,8–4,4 г/т. Для извлечения благородных металлов подготовленную для флотации измельченную руду подвергли цианированию. При расходе цианистого калия 0,64 кг/т, извести 3,7 кг/т при длительности цианирования 8 ч было извлечено 98% золота и порядка 63–83% серебра. Кучный метод

цианирования позволяет в один прием обрабатывать несколько миллионов тонн руды и, соответственно, позволяет, в принципе, извлекать из руд и эти металлы.

По степени изученности, географическому положению, состоянию инфраструктуры к наиболее перспективным для освоения относятся следующие месторождения алунитов: Шелеховское (0,5–1,1 млрд т), расположенное в экономически освоенном Комсомольском районе, Буриндинское месторождение (200 млн т) в Амурской обл. у разъезда Буринда, а также Нижнеамурские месторождения (Круглый Камень, Гряда Каменистая и др.).

Диаспоровая минерализация (HAlO_2) образует иногда автономные проявления в составе вторичных кварцитов, алунитовых кварцитов. Общие ресурсы диаспорового сырья гидротермально-метасоматического типа на Дальнем Востоке предварительно оценены в 430 млн т руды с разным содержанием диаспора — от нескольких процентов до 80–90 %. Диаспориты нередко в виде мощных (до 20 м) рудных тел (с содержанием глинозема 29–90 %) генетически связываются со вторичными кварцитами, широко развитыми в пределах вулканических зон. Состав диаспор-диккитовых кварцитов: кварц (10–70 %), диаспор (10–30 %). Известны примеры промышленного использования мелких месторождений диаспора в Японии (остров Гото, 35 тыс. т диаспора), из диаспоровых кварцитов Акташского месторождения (10 %, 778 тыс. т) получены высококачественные диаспоровые концентраты (61–64 % глинозема), пригодные для получения алюминия и высокоглиноземистых огнеупоров. Диаспоровая минеральная фация наиболее изучена и оценена в составе алунитового месторождения Гряда Каменистая (запасы диаспора 28,2 млн т при среднем содержании в руде 16,2 %). В Институте минерального сырья, г. Симферополь, выполнены 2 технологические пробы под руководством П. И. Андреева. Химический состав пробы, %: SiO_2 75,1, TiO_2 0,41, Al_2O_3 14,7, Fe_2O_3 3,2, CaO 0,1, сумма щелочей 0,11, SO_3 0,17, $\Delta m_{\text{прк}}$ 5. Диаспор в породе крупный — более 0,6 мм. По гравитационно-магнитным или флотационным схемам обогащения и разделением в тяжелых средах ($2,9 \text{ г/см}^3$) можно получить концентрат с содержанием Al_2O_3 35–45 %, но при низком извлечении 50–83 % (что, вероятно, объясняется связью части глинозема с каолинитом). Извлекаемость глинозема щелочным автоклавным способом при 260°C из диаспор-кварцевого концентрата составляет 96 %. Диаспориты — более качественное и рентабельное сырье по сравнению с алунитовым,

а по запасам диаспоровая залежь месторождения Гряда Каменистая равноценна запасам глинозема в таком крупном месторождении алунитов, как Искинское.

Изобретение В. Г. Моисеенко, В. С. Римкевич (пат. 2171226) относится к цветной металлургии и может быть использовано для получения глинозема, пригодного для электролитического восстановления алюминия из различных видов глиноземсодержащего сырья. Способ получения глинозема позволяет использовать в качестве сырья широкий спектр недорогих материалов: каолиновых глин и концентратов, дистен-силлиманит-андалузитовых пород и концентратов, анортозитов, нефелиновых сиенитов, высококремнистых бокситов и др. Сырье смешивают с гидродифторидом или фторидом аммония в массовом соотношении 1 : 2,5 – 1 : 3,3, смесь нагревают до $170\text{--}210^\circ\text{C}$, выдерживают в нагретом состоянии до полного фторирования всех порообразующих компонентов с образованием порошкообразного спека, из которого после возгонки в окислительной среде с продувкой водяным паром при температуре не ниже 400°C гексафторсиликата, гексафтортитаната и фторида аммония получают глинозем в качестве нелетучего остатка.

АНОРТОЗИТЫ

Анортозитовое сырье — магматические породы, состоящие из основных плагиоклазов, в разновидностях которых содержание глинозема может достигать 30 % и более. Как глиноземистое сырье практический интерес представляют наиболее основные разности состава плагиоклазов — лабрадоры и битовниты, характеризующиеся высоким содержанием глинозема и CaO .

Анортозиты на Дальнем Востоке пользуются широким распространением (сотни квадратных километров) в пределах южной окраины Алданского щита, в Становой складчатой области и локализованы вдоль разломов глубинного залегания в виде массивов автономного типа (Каларский, Лантарский, Геранский, Сехтагский, Чогарский, Кавактинский и др.). По содержанию глинозема, кремнезема и оксида кальция анортозиты близки к месторождениям Норвегии и США, которые обрабатывались для получения глинозема. ВАМИ выполнены технологические испытания по комплексной переработке канадских анортозитов (глинозема 27 %), в результате чего было установлено, что они могут быть переработаны на глинозем способом спекания анортозитов с известняками и содой.

Международные монополии, использующие для производства глинозема (алюминия, огнеупоров) импортные дорогостоящие бокситы, проводят большой комплекс технологических и геологических исследований анортозитов и других небокситовых источников глинозема для их использования в качестве алюминиевого и других видов глиноземного сырья. В частности, в штате Вайоминг, США, функционировал завод по переработке анортозитов с попутным получением цемента. Для этой цели Геологической службой США учтены запасы анортозитов с содержанием глинозема 25–30 %.

Для технологических испытаний в Иркутском филиале ВАМИ в западном Приохотье в пределах Лантарского массива была отобрана проба из лабрадоритов массой 200 кг. Химический состав пробы, %: SiO_2 53,7, Al_2O_3 28,1, CaO 11,3, Na_2O 4,6, Fe_2O_3 1,3. Породы аналогичного состава распространены на площади шириной 6 и длиной 10 км. Методом спекания лабрадорита с известняком при 1250 °С с 30-мин выдержкой был получен спек легкорастворимых алюминатов щелочей и нерастворимого двухкальциевого силиката $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ пористостью 57 % с извлечением Al_2O_3 до 91,9 %; сумма щелочей 78–79 %. Выщелачивание спеков проведено по двухстадийной схеме. Лабрадориты удовлетворяют почти всем требованиям, предъявляемым к нефелиновому сырью: Al_2O_3 более 21 %, SiO_2 менее 57 %, ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$) менее 5 %; лишь содержание щелочей в них более низкое. Более высокое содержание CaO благоприятно для сырья на алюминий, так как потребуются меньшая добавка известняка в шихту. Результаты анализа свидетельствуют о принципиальной возможности получения глинозема.

Таким образом, технологии переработки анортозитов практически разработаны. Они принципиально не отличаются от схем переработки нефелиновых пород, применяемых на действующих предприятиях, предусматривающих полную утилизацию сырья с получением кроме глинозема высокосортного портландцемента, соды, поташа, а также ряда редких элементов — галлия, рубидия, цезия. Лабрадориты — комплексное сырье. Рентабельная работа предприятий возможна при условии местной реализации цемента, выход которого составляет 10–14 т на 1 т глинозема. Ресурсы анортозитового сырья для строительства крупного предприятия по производству глинозема более чем достаточны (800 млрд т). Массивы лабрадоритов расположены в сравнительно благоприятных экономико-географических условиях — близ морского побережья или желез-

ных дорог. Анортозиты на ближайшее будущее могут рассматриваться как неисчерпаемый источник глиноземного сырья.

КАМЕНЬ ФАРФОРОВЫЙ

Под фарфоровыми камнями понимают гидротермально измененные кислые, реже средние вулканические породы, которые могут быть использованы без предварительного обогащения в качестве компонента фарфоровых масс. Основные породообразующие минералы: кварц, каолинит, диккит, пиррофиллит, мусковит, ортоклаз, санидин, микроклин, альбит. Обобщенный химический состав, %: SiO_2 60–81, Al_2O_3 9–19, TiO_2 0,1–0,9, Fe_2O_3 0,11–0,83, K_2O 0,1–4,0, Na_2O 0,15–6,5, H_2O 1,3–5,0. По содержанию суммы щелочей сырье подразделяют на бесщелочное (<0,6 %), умеренной щелочности (0,6–3,0 %), щелочное (>3 %). Наиболее ценными являются высококальциевые разновидности фарфоровых камней. По физико-механическим свойствам фарфоровые камни подразделяются на твердые (интенсивно окварцованные) и мягкие (обогащенные глинистыми минералами).

Промышленная переработка сырья включает дробление и измельчение, иногда отмучивание и отбеливание. Подготовленный материал для керамических изделий обжигают. По температуре обжига выделяют два сорта: высокотемпературный (1380–1410 °С) и низкотемпературный (1330–1350 °С). Основные требования промышленности к качеству фарфорового камня: мелкозернистость и однородность строения, выдержанность химического состава, низкое содержание хромофоров (Fe_2O_3 , FeO , TiO_2 и др.) и, как следствие, белый цвет спека, повышенное содержание щелочей и высокий калиевый модуль. Основное применение фарфоровых камней — производство фарфора и глазури, а также в качестве огнеупорного сырья и сырья для изготовления санитарно-технических изделий. Месторождения фарфорового камня крайне редки. Они известны в Японии, Китае, Корее, Канаде. На Дальнем Востоке выявлены месторождения фарфорового камня в Приморском крае (Гусевское, Сергеевское) и в Еврейской АО (проявления *Малый Хинган* и *Бомбинское*).

На Мало-Хинганских проявлениях в качестве сырья для фарфоровых камней представляются меловые вулканогенные породы кислого состава — липариты и дациты (пос. Малый Хинган), вторичные кварциты (поселение Бомбинское), образованные по субвулканическим риолитам позднего мела. Бомбинское проявление расположено в 1 км восточнее

с. Бирофельд и представляет останцовую сопку (гора Бомба) изометричной формы, возвышающуюся над равниной на 95 м, с диаметром по основанию 61 км. Вторичные кварциты сложены кварцем (до 70 %), каолинитом (25–35 %) с небольшими примесями пирита, пирротина, касситерита, эпидота. Химический состав вторичных кварцитов, %: кремнезем 72,5–81,8 (в среднем 73,2), глинозем 11,7–19,5 (в зонах катаклаза до 37,8), FeO 0,08–7,11 (0,5).

Запасы фарфорового камня Бомбинского проявления определены по категории С₂ в количестве 552 тыс. т, прогнозные ресурсы около 20 тыс. т. Технологические испытания фарфорового камня Бомбинского проявления проводились в лаборатории Владивостокского фарфорового завода. Из представленных проб, предварительно обожженных, были составлены рецепты фарфоровых масс, в которых кроме кварцитов (до 30 %) использовали пегматиты с Кольского полуострова (22 %), каолины с Украины и Амурской обл. (14 %), огнеупорные украинские светложгущиеся глины (26 %). Механическая прочность образцов из опытных масс после сушки и первого обжига при 800 °С указывает на технологичность масс при промышленном производстве. Механическая прочность всех образцов после второго обжига при 1380 °С удовлетворяет требованиям, предъявляемым к твердому фарфору. Содержание красящих оксидов выше 2,5 % несколько снижает белизну образцов из опытных масс, но по стандартам остается в допустимых пределах. Керамические свойства фарфоровых масс: влажность 19,6–19,8 %, усадка после обжига при 1380 °С 7,37–7,57 %, белизна глазурованных образцов 61,5–64,6 %. По заключению проведенных испытаний вторичные кварциты Бомбинского проявления пригодны для производства хозяйственного фарфора. Кроме того, на Владивостокском заводе испытания фарфорового камня горы Бомба произведены также в технологических массах со светложгущими глинами месторождения Дорожное (Архаринский район, Амурская обл.). В результате было получено заключение, что вторичные кварциты с глинами месторождения Дорожное также пригодны для производства хозяйственного фарфора, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 28390 «Изделия фарфоровые. Технические условия».

ЦИРКОНИЕВОЕ СЫРЬЕ

Основными потребителями циркониевого сырья (~85 %) являются металлургия, производство стекла, огнеупоров, керамики, литейное

производство. Цирконий — очень тугоплавкий (температура плавления 1852 °С), химически стойкий, вязкий, упругий и твердый металл. В подавляющем большинстве (85–90 % потребляемого циркониевого сырья) в различных сферах производства используется не металлический цирконий, а его природные соединения — цирконовые (60–67 % ZrO₂) и бадделейтовые концентраты.

Одной из наиболее емких областей применения цирконовых концентратов (21–35 %) является производство плавящихся огнеупоров для стекловаренных печей и других плавильных производств. Цирконовые огнеупоры изготавливают из концентрата или из смеси его с глиной, прессуя и обжигая их при 1500–1550 °С. Эти огнеупоры остаются стойкими при 1900–2000 °С. Цирконовые огнеупоры в виде стаканов, обмазочных масс, противопопригарных смазок применяют в высокотемпературных печах различного назначения, в виде тиглей для плавки тугоплавких металлов, при изготовлении жаропрочных деталей реакторов, в сталеразливочных ковшах для спецсталей, при непрерывной разливке стали и пр. В Японии и Франции основной объем (60–70 %) цирконовых концентратов идет на изготовление огнеупоров, что связано с развитием технологии непрерывной разливки стали и с потребностями стекловаренного производства.

Запасы циркония в развитых странах на 1997 г. составляли около 53 млн т. В связи с повышенным спросом, совершенствованием способов добычи и переработки рентабельными для отработки в настоящее время являются россыпи с содержанием тяжелых минералов 3–5 % (в 50–60-е гг. XX века 20–50 %). Производство цирконовых концентратов в мире (Австралия, ЮАР, США) в 1995 г. составляло 900 тыс. т. Цены цирконового концентрата на огнеупорный сорт на мировом рынке на конец 2005 г. составляли 550–700 долл./т [1, 3]. Россия по объему запасов циркона составляет порядка 8,5 % мировых. Госбалансом учтено 13 месторождений. Прогнозные ресурсы (из которых 93,5 % приходится на комплексные россыпи, 6,5 % — на коренные месторождения) весьма значительны и сосредоточены в основном в Западной Сибири и европейской части страны. Перспективы получения добычи циркония связаны с оценкой в основном комплексных титано-циркониевых россыпей, рентабельность отработки которых может быть повышена при комплексном использовании добываемого сырья. Потребности России в цирконовом концентрате составляют порядка 20 тыс. т в год [3]. Единственный производитель в стране — Ков-

дорский ГОК, выпускающий от 3 до 5 тыс. в год бадделеитового концентрата.

На территории Дальнего Востока в 80–90-х годах XX века в результате геолого-геофизических исследований Дальгеолкома и Дальгеофизики было открыто, изучено и оценено Алгаминское месторождение цирконобадделеитовых руд, детальное сведение по которому отражены в монографии «Новый геолого-промышленный тип циркониевого оруденения» [1]. Месторождение расположено на севере Аяно-Майского района Хабаровского края в пределах Ингилийской перспективной площади, включающей, кроме того, более 30 рудопроявлений циркония и гафния, заслуживающих детального изучения. Ближайший населенный пункт — пос. Нелькан. Связь с месторождением осуществляется вертолетами, высокопроходимым транспортом, по автодороге Аян – Нелькан и по реке Мае. В геолого-тектоническом отношении циркониевое оруденение локализовано в мраморизованных доломитах (мощностью 40–50 м) юдомской свиты вендского возраста, насыщенных кварц-кальцитовыми секрестиями, прожилками, и приурочено к краевой части Омнинской морфоструктуры. Рудные субогласные пластовые залежи мощностью от 0,4 до 8 м характеризуются повышенным содержанием ZrO_2 — до 12 %, в отдельных интервалах до 22–52 %, а также повышенной радиоактивностью (до 500 мкР/ч), развитием карстово-эрозионных структур. Отмечается ассоциация оруденения с магматитами ультраосновного — щелочного состава Ингилийского массива, характеризующимися повышенным содержанием циркония.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Буряк, В. А.** Новый геолого-промышленный тип циркониевого оруденения / В. А. Буряк, В. Я. Беспалов [и др.]. — Хабаровск, 1999.
2. **Кашкай, М. А.** Алуниты, их генезис и использование / М. А. Кашкай. — М. : Недра, 1970.
3. **Склярова, Г. Ф.** Металлогения анортозитов Дальнего Востока на глинозем-титано-фосфатное оруденение / Г. Ф. Склярова // Отечественная геология. — 2012. — № 3.

Цирконийсодержащие руды представлены рыхлыми рудами, представляющими собой инфлювий в закарстованных доломитовых мраморах, и твердыми рудами — окарстованными окремненными доломитами, в которых развиты секущие и послойные прожилки, жеоды, колломорфные образования кварца, кальцита, лимонита, содержащие минералы циркония — циркон, бадделейт, гельциркон и др. Количество циркониевых минералов колеблется в широких пределах, достигая 3,0–20,0 %. По результатам минералого-технологических исследований рядовых цирконийсодержащих руд, проведенных в ДВММСе (г. Хабаровск), в Механобр-Аналите (Санкт-Петербург) и в других лабораториях, установлена возможность обогащения руд гравитационным способом с суммарным извлечением в комплексный концентрат 65–76 % при выходе 34–40 % со средним содержанием ZrO_2 в концентрате от 4 до 21 % и с возможностью последующей переработки черного концентрата по схемам химико-металлургического передела. По результатам опытных испытаний УкрНИИО цирконовые концентраты алгаминских руд могут быть использованы для изготовления огнеупорной керамики, огнеупорных цементов и других промпродуктов. Разведанные запасы ZrO_2 по месторождению Алгама определены по категориям в количестве 73150 т, общие прогнозные ресурсы — 214 т. Согласно выполненным технико-экономическим расчетам горнорудной компании «ГЕОРОС» отработка месторождения может быть рентабельной с окупаемостью вложенных средств в течение двух лет.

4. **Шевелев, А. И.** Нетрадиционные виды минерального сырья для производства огнеупоров / А. И. Шевелев, В. С. Тохтасьев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2006. — № 5.
5. **Энтин, В. И.** Состояние и перспективы развития производства на огнеупорных предприятиях России / В. И. Энтин // Новые огнеупоры. — 2005. — № 7. ■

Получено 19.09.13
© Г. Ф. Склярова, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



www.indian-ceramics.com

9-я международная выставка «Керамика Индии»

26–28 февраля 2014 г.

г. Ахмедабад, Индия

Компания «Pyrotek Products Ltd», г. Окленд, Новая Зеландия

УДК 666.762.852:621.979.17(931)

ПРОИЗВОДСТВО КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА Si_3N_4 -СВЯЗКЕ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО УДАРНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Для эффективной работы печи для плавки алюминия необходим недорогой метод производства огнеупоров для катода ванны восстановления алюминия (aluminium reduction cell cathode). В отличие от метода гидравлического одноосного прессования метод динамического ударного прессования не требует особо прочной конструкции пресс-формы и мощного пресса, т. е. производство огнеупоров в этом случае обходится значительно дешевле. Тщательный подбор гранулометрического состава карбидкремниевых песка и кремнеземистых порошков, а также соблюдение необходимого уровня влажности гранулированной смеси способствуют увеличению плотности упаковки частиц и обеспечивают более высокую плотность сырца. Таким методом можно получать высококачественные изделия, обладающие отличными показателями и долгим сроком службы.

Ключевые слова: карбидкремниевые изделия, Si_3N_4 -связка, динамическое ударное прессование, азотирование.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование проводили на предприятии компании «Pyrotek Products Ltd». Исследования финансировались Организацией по исследованиям, науке и технологии по программе GRIF (1999 г.).

Наиболее широко распространенными методами формования инжиниринговой керамики и огнеупоров являются: изостатическое прессование, заливка в форму под давлением методом впрыска, литье под давлением, ленточное литье (tape casting) и одноосное прессование. Метод одноосного прессования характеризуется высокой производительностью, но имеет некоторые ограничивающие факторы: например, с помощью этого метода можно формовать изделия только простой геометрической формы; плотность сырца при этом довольно неоднородна, особенно в направлении усилия прессования, в результате чего возможно расслаивание или возникновение трещин из-за проникшего воздуха и несоблюдения точности размеров. При одноосном прессовании давление высокого уровня воздействует на гранулированный порошок в пресс-форме, в результате чего имеющийся в порошке воздух выдавливается, а уплотнение порошка достигается при сближении отдельных зерен материала. Для формования крупногабаритных

карбидкремниевых блоков компания «Burton Refractories GmbH», Германия, использует 1600-т прессы и очень прочные металлические пресс-формы, в которых можно получать изделия плотностью 2,62–2,67 г/см³. Очень высокое давление оказывает расклинивающее действие на стенки пресс-формы, так как каждое зерно «вталкивается» между двумя или более другими зёрнами, в результате чего возникают боковые составляющие прилагаемого усилия и движения, которые в конечном счете воздействуют на стенки пресс-формы. Исходное усилие в вертикальном направлении быстро рассеивается на боковые толчки и на трение о стенки пресс-формы, что требует чрезвычайно прочной конструкции пресс-формы. Оставшийся в отпрессованном изделии воздух приводит к его расслаиванию, если давление воздуха больше прочности сырца [1].

Технологию динамического ударного прессования уже много лет используют для формования огнеупорных блоков. Механизация и автоматизация, внедренные в первоначально использовавшийся процесс ручной набивки, явились стимулом для того, чтобы в керамической промышленности начались исследования и вложения средств именно в эту технологию, а не в более дорогую технологию гидравлического одноосного прессования. При использовании этой технологии порошок, находящийся в металлической пресс-форме, подвергается двойному воздействию. Вибрационное усилие большой энергии воздействует на нижнюю плиту штампа, в результате чего воздух выходит из рыхлого материала, а сам материал уплот-



Кассим аль-Джоубори
E-mail: aljoubory@gmail.com

няется. Затем следует кумулятивное сжимающее воздействие на верхнюю часть материала, осуществляемое мощными пневматическими молотами. Молоты установлены на поперечине прессы. Они передают свою энергию через верхнюю плиту. Величину и длительность воздействия прилагаемого усилия на материал, заполняющий пресс-форму, контролируют тщательной регулировкой продолжительности вибрации и действия молотов, а также в меньшей степени регулировкой опорного давления вибрационной подушки (by changing the vibration cushion support pressure) и давления прессования (down-thrust pressure) на верхнюю плиту в процессе воздействия молотов.

Было обнаружено, что эффективность уплотнения прессуемого порошка зависит от гранулометрического состава частиц, их формы, степени шероховатости их поверхности, трения между частицами, химического состава их поверхности и типа применяемых добавок и связок [2, 3]. Главное условие для повышения плотности упаковки частиц заключается в тщательном подборе частиц таких размеров, чтобы пустоты между крупными частицами были заполнены более мелкими частицами. В этой связи в настоящей работе была использована модель непрерывного рассева на фракции. Эта модель была предложена Андреасеном (Andreasen) и детально разработана Функом и Дингером (Funk and Dinger) [4]. Модель выглядит следующим образом:

$$CPFT/100 = [(D - D_s)/(D_L - D_s)]^q,$$

где CPFT — это суммарный процент частиц, диаметр которых меньше диаметра D ; D_s — диаметр мелких частиц; D_L — диаметр самых крупных частиц в составе; q — коэффициент распределения. Теоретическая максимальная плотность достигается при $q = 0,37$, но любое отклонение от этого показателя меняет оптимальную величину. Под отклонением подразумеваются изменение формы частиц, отклонение от сферической формы, неверно подобранное количество частиц в каждом классе размеров и т. д. Модель послужила основанием для разработки компьютерной программы Тоддом Сандером (Todd Sander) [5]. Модель используется в этой программе для расчета процентного состава отдельных компонентов шихты определенного гранулометрического состава. Именно это послужило исходной точкой проводимого исследования; действительный гранулометрический состав всех компонентов шихты подбирали в ходе промышленных испытаний.

Карбидкремниевые огнеупоры на связке из нитрида кремния отлично подходят для футеровки стен. Изделия характеризуются очень

хорошей стойкостью к окислению, устойчивостью к коррозии и эрозии, повышенными электрическим сопротивлением и теплопроводностью, очень высокой прочностью и низкой открытой пористостью. Карбидкремниевые блоки, обладающие высокой точностью размеров, обжигали в регулируемой азотсодержащей атмосфере высокотемпературной печи. В печи были созданы условия для твердофазовой реакции исходных компонентов шихты с измельченным металлическим Si, в результате чего получилась матрица из кристаллов SiN_3 , в которые были заключены зерна SiC. Диффузия азота в пустоты между частицами и последующая реакция с частицами Si приводила к их расширению на 21,6%. Благодаря этому поры материала заполнялись, масса увеличивалась на 66,5%, что повышало плотность блока в процессе азотирования.

ПОДГОТОВКА СМЕСЕЙ

В исследовании использовали SiC фирмы «Alcoa Inc.», США, марки EC6 и фирмы «Wacker-Chemie GmbH», Германия, гранулометрического состава (continuous particle size distribution mesh) от 8 до 1000 меш. Кроме того, использовали также пыль металлического кремния с $d_{50} = 1,7$ мкм и его более крупную фракцию 220 меш фирмы «Simcoa», Австралия. После введения данных по этим компонентам в компьютерную программу были получены исходный состав каждого компонента смеси и его относительное содержание, при котором можно достичь наибольшей плотности упаковки частиц. Для подбора модели гранулометрического состава была использована сетка Уокера (Waker) размерами ячейки 8–10 меш, которая заменила сетку с размерами ячейки 6–10 меш фирмы «Alcoa Inc.». Сетки Уокера больше подходят к форме частиц SiC, но стоят дороже.

После смешивания, формования, сушки и обжига исходного состава необходимые физические показатели материала не были достигнуты, поэтому потребовались дальнейшие испытания. Было приготовлено более 50 составов с различными сочетаниями компонентов. Из этих составов были сформованы блоки определенного размера для реальной оценки плотности сырца, изделий после обжига и их физических свойств. У всех составов в двух смесях (см. таблицу) показатель плотности сырца оказался достаточно высоким, что позволило спрогнозировать плотность изделия после обжига на уровне более $2,6$ г/см³. Именно на этот показатель ориентируется исследовательское и техническое подразделение компании по производству алюминия «Comalco Aluminium Ltd»,

Оптимизированный состав смесей, позволяющий получить желаемую плотность сырца и изделия после обжига, %

Шихта*	SiC (8–10 меш)	SiC (10–18 меш)	SiC (18–35 меш)	SiC (80 меш)	SiC (36 меш)	SiC (220 меш)	SiC (400 меш)	SiC (1000 меш)	Si (пыль)	Si (220 меш)
A	9,0	32,6	5,9	17,2	14,5	1,7	3,1	2,8	7,6	5,4
B	13	20	20	20	0	7	10	0	7,78	2,22

* К каждой смеси добавляли 1 % твердого PVA (6,25 кг 16 %-ного раствора) + 0,5 % PEG400.

Австралия, — этот показатель гарантирует получение желаемых свойств крупногабаритных блоков марки Bell Bay, которые применяются в плавильных печах.

Метод подготовки смесей, применение добавок, пластификаторов и связок влияют на окончательный выбор исходных компонентов. Это была наиболее важная часть процесса производства. Сухая шихта каждого состава была помещена в смеситель «Cumflow». Это барабанный смеситель с турбосмешивающим устройством (turbo mixing facility). Смеситель фирмы «Muller», Германия, также использовали для оценки влияния интенсивности перемешивания на конечную плотность упаковки частиц. Для получения однородной смеси более крупные фракции SiC загружали первыми, далее добавляли более мелкие фракции, причем делали это при включенном смесителе. Затем загружали крупнозернистый SiC, и перемешивание продолжалось еще 10 мин, а затем в смесь добавляли порошкообразный металлический Si. После получения однородной смеси в нее медленно вводили связку PVA, а затем раствор PEG400; смеситель при этом не выключали. Чтобы разрушить крупные агломераты и получить свободно растекающийся материал, каждая смесь перед прессованием была пропущена через сито с размерами ячеек 3–5 мм.

ФОРМОВАНИЕ

Для изготовления блоков размерами 409 × 485 × 75 мм была взята пресс-форма из легко конструкционного металла с закаленными поверхностями. Из полусухих смесей гранулированного порошка прессовали изделия толщиной до 10 мм в пресс-формах с четырьмя ячейками размерами 194 × 234 × 170 мм. Порошок определенной плотности был загружен в пресс-форму и отпрессован на ударном прессе «Butler» (рис. 1, а). Параметры прессования: длительность вибрации (VT), давление вибрационной воздушной подушки (VC), длительность воздействия молотов (HT) и давление в направлении усилия прессования (DT). Было проведено исследование параметров пресса и всех переменных ве-

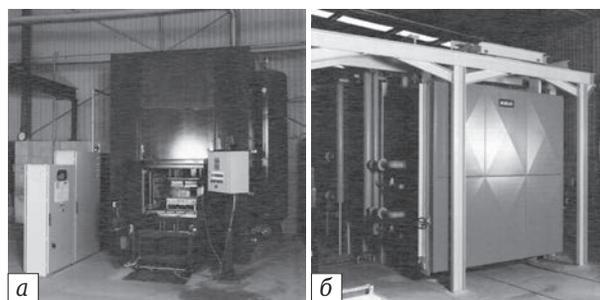


Рис. 1. Двойной пресс «Butler» типа DL4X компании «Butler Impact Technology Ltd», Великобритания (а), и работающая на газе печь «NiBek» компании «NiBek Ltd», Великобритания (б)

личин для достижения наибольшей плотности сырца. Было обнаружено, что при увеличении длительности вибрации происходит расслоение крупных частиц в верхней части блока, что мешает дальнейшему уплотнению и приводит к неоднородной плотности по толщине изделия. Излишнее воздействие молотом обеспечивало высокую плотность блоков. При этом наблюдалась общая тенденция к увеличению кажущейся плотности отпрессованного изделия при повышении влажности смеси. Было замечено, что при увеличении влажности смеси можно получить высокую плотность сырца, используя при этом меньше энергии. Большая влажность обеспечивает слабое сцепление частиц и появление перепрессовочных трещин в направлении, перпендикулярном усилию прессования. Это обнаруживалось после извлечения блока из пресс-формы или на стадии сушки. Растягивающие усилия от воздействия остающегося в изделии воздуха отрицательно воздействуют на связку PVA и на силы сцепления, что приводит к образованию трещин. Показатели DT и VC изменялись от 55 до 90 psi (1 psi = 6894,76 Па) для порошка определенной влажности при фиксированных значениях VT и HT, но разница плотности сырца составляла при этом не более 1%. Следует соблюдать баланс между содержанием влаги и различными параметрами прессования, чтобы получить желаемую плотность сырца и полностью проазотированные блоки. В составе A влажностью 4,0 % была достигнута плотность сырца 2,61 г/см³, а у состава B с большим содер-



Рис. 2. Режим азотирования при обжиге крупногабаритных SNBSC-блоков

жанием мелкой фракции и влажностью 3,6 % при тех же условиях прессования была получена плотность сырца 2,54 г/см³.

АЗОТИРОВАНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Чтобы устранить образование трещин и возможное разрушение блоков в процессе азотирования потребовалась тщательная сушка отпрессованных блоков при комнатной температуре и в сушилке при 110 °C. Затем высушенные блоки были помещены в закрытый герметичный муфель и обожжены в печи «NiBek» (рис. 1, б) под избыточным давлением N₂. Режим азотирования был подобран таким образом, чтобы достичь полной реакции по всей толщине крупногабаритного блока. Выдержку повышали с ростом температуры азотирования для того, чтобы увеличить скорость диффузии N₂ по толщине изделия. При слишком быстрой исходной скорости нагрева происходили расплавление и комкование кремнеземистого порошка (точка плавления 1410 °C), в результате чего полного азотирования изделий достичь было невозможно [6]. Режим азотирования, включая такие параметры, как линейное изменение температуры, выдержка и скорость потока азота, показан на рис. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И РАССУЖДЕНИЕ

Хотя подбор зерен исходных компонентов по форме, размеру и количеству в смеси является важной задачей и теоретически гарантирует максимальную плотность упаковки частиц, подготовка конечной полусухой смеси со связками и пластификаторами также очень важна. Смешивание и гомогенизация смеси являются ключевым фактором, влияющим на конечную плотность сырца. Хотя после смешивания в смесителе «Muller» получается более высокий показатель плотности сырца, чем в смесителе «Cumflow», интенсивное турбоперемешивание

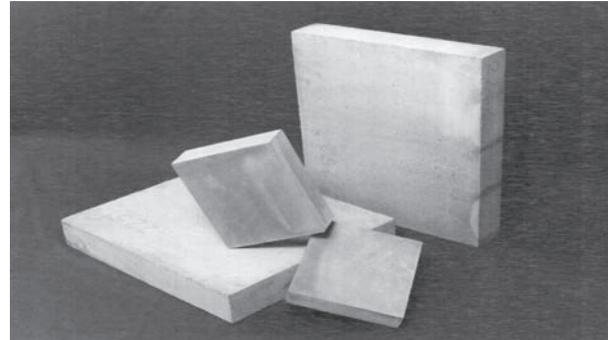


Рис. 3. Полностью проазотированные SNBSN-блоки

ведет к образованию порошка, насыщенного воздухом. С таким порошком легко работать и заполнять им пресс-форму, но трудно прессовать и достичь нужной плотности сырца.

Динамическое ударное прессование заключается в применении высокого давления не непрерывно, а с интервалами. За первоначальной вибрацией под нагрузкой следует прессование с интервалами под высоким ударным давлением, в результате чего находящийся в шихте воздух легко выходит, меняется положение зерен относительно друг друга; получается высокая плотность упаковки частиц. Были получены блоки размерами 75 × 409 × 489 и 194 × 234 × 170 мм с высокой плотностью (рис. 3). Один из блоков был разрезан по центру: он оказался однородным по цвету и структуре от сердцевины до краев, без следов расслаивания. Из центральной части блока были вырезаны куски для определения пористости и плотности, а также для анализа методом рентгеновской дифракции фирмой «Industrial Research Ltd», Новая Зеландия. По стандарту ASTM C133 были определены пределы прочности при сжатии и изгибе. Показатели образцов представлены ниже:

Плотность, г/см ³ :	
кажущаяся.....	2,65
истинная.....	3,17
Пористость, %:	
открытая.....	16,5
закрытая.....	3,9
Предел прочности, МПа:	
при сжатии.....	197
при изгибе.....	25,4
Модуль упругости, ГПа.....	131
Средний ТКЛР (100–1000 °C), 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	4,2
Теплопроводность, Вт/(м · К), при средней температуре, °C:	
300.....	21,4
540.....	17,1
720.....	14,2
Химический состав, %:	
Si ₃ N ₄	< 22
SiC.....	> 78

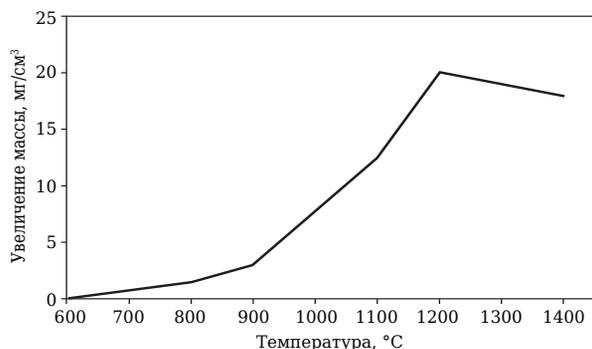


Рис. 4. Увеличение массы блоков SNBSC при различной температуре

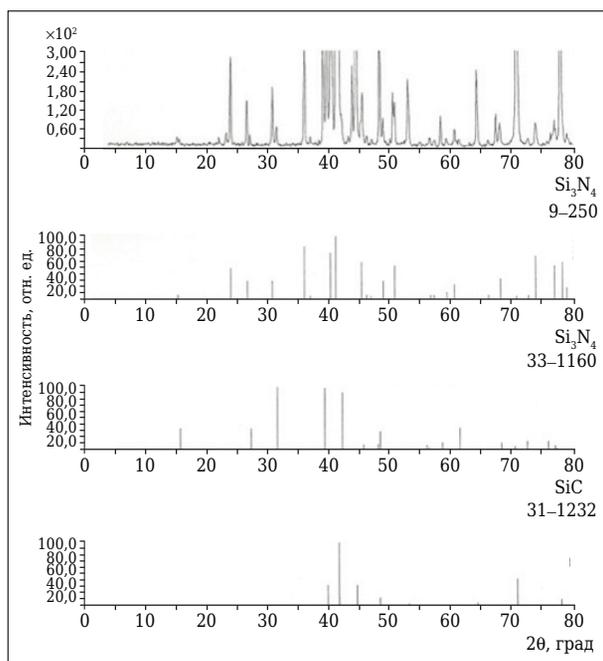


Рис. 5. Рентгенограмма сечения обожженного блока

Термостойкость является показателем, определяющим механические и термические свойства огнеупора. После проведения 5 циклов быстрого нагрева до 1100 °C и охлаж-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Kaiser, A.** Fast acting Vacuum Device — Guaranteed Quality for Pressed refractories / A. Kaiser, R. Kremer // Interceram, Refractories manual. — 2003. — P. 28–33.
2. **Zheng, J.** Reed dependence of compaction efficiency in dry pressing on particle size distribution / J. Zheng, W. Carlson, J. Reed // J. Amer. Ceram. Soc. — 1995. — Vol. 78, Issue 9. — P. 2527.
3. **Ortega, F. S.** Optimizing Particle Packing in Powder Consolidation / F. S. Ortega, R. G. Pileggi, P. Sepulveda, V. C. Pandolfelli // Amer. Ceram. Soc. Bull. — 1999. — Vol. 78, Issue 8. — P. 106.
4. **Funk, J. E.** Particle Packing. Part IV — Application of particle Size Distribution Concepts / J. E. Funk,

дения в воде комнатной температуры на контрольных образцах не было замечено ни одной трещины. Образцы продемонстрировали также хорошую стойкость и отсутствие смачивания при воздействии расплавленного алюминия и криолита. Контрольные образцы погружали в расплавленный алюминий и вращали с частотой 23 об/мин при 800 °C в течение 72 ч. Затвердевший алюминий и окалина на поверхности образцов легко удалялись. Было проведено также испытание с криолитом: образцы погружали в него и вращали при 1000 °C в течение 72 ч. Минимальные физические изменения образцов указывали на их хорошую стойкость к воздействию криолита. Стойкость к окислению была протестирована на образцах размерами 25 × 25 × 100 мм в течение 12 ч при различных температурах до 1450 °C. Затем было определено увеличение массы образцов (рис. 4).

На рентгенограмме видно, что блок содержит SiC и Si₃N₄ только там, где основной фазой Si₃N₄ является α-Si₃N₄ (рис. 5). Игольчатая форма частиц α-Si₃N₄ придает более высокую прочность обожженному материалу, но низкий показатель предела прочности при изгибе можно объяснить возможными поверхностными потоками, возникающими при изгибе образцов в трех точках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программа исследования технологии динамического ударного прессования, применяемого фирмой «Pyrotek» в качестве нового метода для производства высококачественных огнеупоров, прошла успешно и достигла своих целей. Высококачественные стеновые карбидкремниевые изделия на Si₃N₄-связке для печей плавки алюминия и для других областей применения продемонстрировали очень хорошие показатели. Программа раскрыла новые возможности на заокеанских рынках для высококачественных неоксидных огнеупоров фирмы «Pyrotek».

D. R. Dinger // Interceram. — 1994. — Vol. 43, № 5. — P. 350–353.

5. **Sander, T.** Department of Ceramic engineering / T. Sander. — Rolla : University of Missouri, USA, 1999.

6. **Riley, F. L.** Reaction Bonded Silicon Nitride / F. L. Riley // Material Science Forum. — 1989. — Vol. 47. — P. 70–83. ■

Получено 10.09.13

© Кассим аль-Джоубори,
2014 г.

Пер. — С. Н. Клявлино
(ОАО «Комбинат «Магнезит»)



Компания «INTECO special melting technologies GmbH», г. Брукк, а. д. Мур, Австрия

Д-р-инж. В. Московчук (✉)

УДК 66.041.498.043.1.013.8:658.011.56

ТЕЛЕСКОП ТБР ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ И БЫСТРОЙ ЗАМЕНЫ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА*

Описан футеровочный телескоп фирмы ТБР (дочерней структуры ИНТЭКО, Австрия) для замены футеровки конвертера со съёмным днищем. Приоритетная цель разработки этого телескопа — не столько значительное сокращение времени для проведения футеровочных работ, сколько снижение физической нагрузки на персонал и предоставление металлургам агрегата, который бы полностью соответствовал современным требованиям техники безопасности и охраны здоровья рабочих. Указаны предписания, касающиеся безопасности производства, приведены нагрузки на персонал при работе с грузом.

Ключевые слова: футеровочный телескоп ТБР, футеровка, конвертер со съёмным днищем, безопасность производства, перемещение грузов.

Австрийская группа «INTECO special melting technologies GmbH» (ИНТЭКО) за 40 лет своего существования обрела статус известного игрока на рынке металлургического оборудования, технологий и инжиниринга и занимает лидирующие позиции в области специальной металлургии (ESR, VAR, VIM, порошковая металлургия, разливка в изложницы под вакуумом). Для конвертерщиков ТБР (дочерняя структура ИНТЭКО) — это прежде всего комплексные системы продувки BOF (инжиниринг, технологии, оборудование, расходные материалы, автоматизация, сервисные услуги), Р&Т-манипуляторы, манипуляторы для торкретирования конвертера, а также телескоп для безопасной и быстрой замены огнеупорной футеровки конвертеров со съёмным днищем (рис. 1). При этом необходимо соблюдать следующее:

— весь процесс проводить в соответствии с существующими законами и нормами/правилами техники безопасности;

— не подвергать персонал во время проведения футеровочных работ недопустимым физическим нагрузкам и опасностям;

— выстраивать всю цепочку логистики по возможности короткой и незатратной;

— перефутеровку/разогрев футеровки проводить в возможно кратчайшие сроки, обеспечивая при этом повышение загрузки конвертера.

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва).

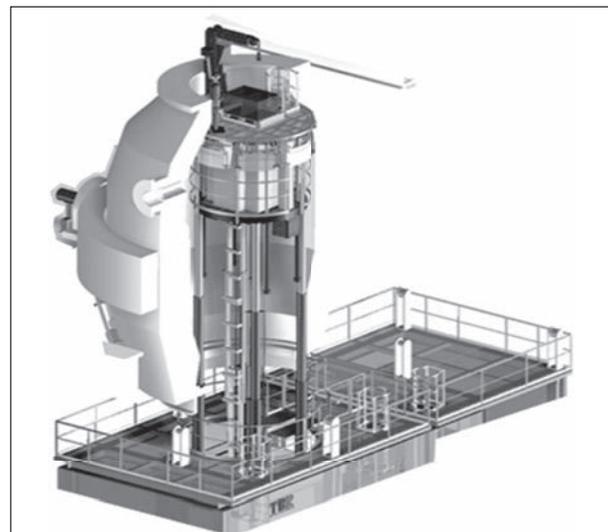


Рис. 1. Футеровочный телескоп ТБР

ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

В плане обеспечения промышленной безопасности каждый шаг производственного процесса является строго нормированным, в том числе организация перефутеровки конвертеров, начиная с предписаний и норм, касающихся вспомогательных материалов, — к примеру, транспортировочных цепей низших классов прочности (www.hebezone.de), которые нельзя использовать для подвешивания грузов, или оцинкованных скоб со шпильками с точным указанием допустимой нагрузки для соответствующих размеров скобы. В международном плане это касается прежде всего следующих предписаний:

• С127 — конвенция максимальных нагрузок, 1967, № 127 (www.ilo.org/). Правило № 1:

✉
В. Московчук
E-mail: Vasyl.Moskovchuk@inteco.at

«Рабочий не имеет права транспортировать груз, чей вес мог бы угрожать его здоровью или безопасности» (Международная организация труда);

- ISO 11228-1. Ergonomics — Manual handling — Lifting and carrying (www.handlingloads.eu, www.bmas.de, www.hvbg.de). Принят целый ряд европейских стандартов, касающихся профзаболеваний мышц и опорно-двигательного аппарата. Прежде всего это:

- 90/269/EWG (обязанности работодателя — Verpflichtungen des Arbeitgebers über manuellen Handhabung von Lasten, Gefährdung der Lendenwirbelsäule, <https://osha.europa.eu>);

- EN 1005. Sicherheit von Maschinen. Menschliche körperliche Leistung / Risiken für Muskel- und Skeletterkrankungen, on 5 Teilen, Tech. Ausschuss «Ergonomie» CEN/TC 122, <http://www.medien-e.bghw.de>.

На национальном уровне рабочие процессы и защиту труда регулируют еще более строгие нормативы и отраслевые правила; республиканские законы о защите труда, материнства, юношества (www.bmj.de); предписания по обращению с нагрузками, по предотвращению аварий соответствующих страховых институтов, учреждений по охране здоровья и труда, а также конкретные нормы по отдельной теме, как, например, DIN 33 411 «Силы человека» или DIN EN 1726-1 «Безопасность внутрицехового транспорта» (www.nam.din.de).

НАГРУЗКИ И ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА В ПРОЦЕССЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУТЕРОВКИ

Безопасности производства должно уделяться повышенное внимание, поскольку реалии сегодняшнего дня таковы:

- в странах EU-27 25 % рабочих жалуются на боли в позвоночнике, 23 % — на мышечные боли. В новых странах — членах Евросоюза эти цифры еще выше — соответственно 39 и 36 % работающих [1];

- 62 % персонала в EU-27 вынуждены осуществлять повторяющиеся движения в более 25 % рабочей смены, 46 % имеют неудобное положение на рабочем месте, 35 % подвергаются нагрузкам при переносе и подъеме грузов (www.dguv.de, <http://lasi.osha.de/docs/lv9.pdf>);

- более 20 % всех несчастных случаев происходят на контакте человек — материал, т. е. во время транспортировки;

- около 15 % случаев потери нетрудоспособности объясняются болями в позвоночнике (www.dguv.de, <http://lasi.osha.de/docs/lv9.pdf>);

- 50 % случаев преждевременных пенсий в Европе являются последствиями болезненных изменений в позвоночнике (www.dguv.de, <http://lasi.osha.de/docs/lv9.pdf>);

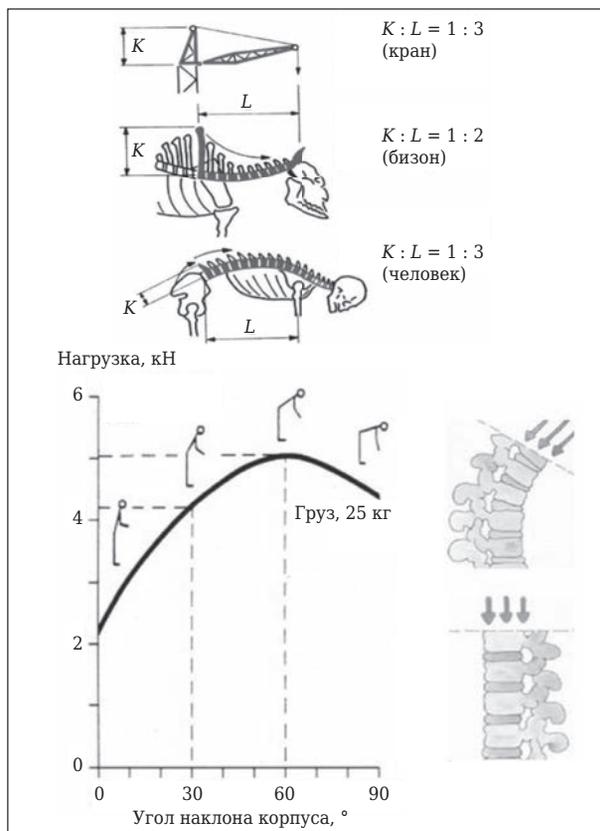


Рис. 2. Соотношение длины плеча силы K и длины плеча нагрузки L (www.vbg.de); справа — динамика [2] и следствие нагрузки на позвоночник при наклоне корпуса (<http://www.medien-e.bghw.de>, www.hse.gov.uk)

- нарушения опорно-двигательного аппарата приводят к потерям трудоспособности, заработка персонала, а также к высоким затратам работодателей, экономики в виде компенсационных выплат, затрат на страхование, лечение и администрирование в случае потери трудоспособности, а также в виде не прямых убытков из-за потери производительности (до 2 % ВВП [1]).

Работы по перефутеровке конвертера ведут к сильным нагрузкам на мышцы рук и корпуса, а также к очень опасным перегрузкам и искривлению позвоночника. Как видно из рис. 2, при подъеме с согнутой спиной происходит клиновидное искривление позвонков с опасными перегрузками на краях, что ведет к преждевременному износу позвонков и болям в спине. Чем сильнее наклон корпуса, тем выше нагрузка на мышцы спины и позвонки; перегрузка на позвоночник имеет место при наклоненном вперед корпусе даже при подъеме небольших грузов. Согласно 90/269 EWG граничными для поднятия грузов являются 30 кг для взрослых мужчин, 20 кг для женщин, 20 кг для юношей, 15 кг для девушек; стандарты EN 1005-2 и ISO 11228-1 указывают в качестве максимально поднимаемого веса 25 кг.

Таблица 1. Ориентировочные и предписываемые граничные показатели по подъему и перемещению грузов с прямой спиной без вспомогательных средств [3]

Пол	Возраст, лет	Редко (<5 % / смену), кг	Повторно (<10 % / смену), кг	Часто (<35 % / смену), кг
<i>Вид нагрузки — подъем груза</i>				
Мужчины (женщины)	<15	20 (13)	13 (9)	—
	17–19	35 (13)	25 (9)	20 (8)
	20–45	55 (15)	30 (10)	25 (9)
	>45	50 (13)	25 (9)	20 (8)
<i>Вид нагрузки — переноска груза</i>				
Мужчины (женщины)	<15	20 (13)	13 (9)	—
	17–19	30 (13)	20 (9)	15 (8)
	20–45	50 (15)	30 (10)	20 (9)
	>45	40 (13)	25 (9)	15 (8)
Беременные	—	5	5	—

Проблемная или беспроблемная нагрузка зависит от того, как часто человек подвергается нагрузке (подъем и перенос груза на 4 шага 1 раз/ч или чаще — более 2 раз/ч на более 5 шагов). Беспроблемными приняты для женщин 5 кг и для мужчин 7,5 кг. Ориентировочный уровень определения беспроблемной нагрузки: не более 15 % максимального усилия при длительных продолжительных нагрузках (табл. 1).

Организация рабочего места для минимизации опасных нагрузок зафиксирована законодательством. Это значит, что для уменьшения физических нагрузок при обращении с грузами (подъем, перемещение, перетягивание, перенос) работодатель обязан обеспечить персонал соответствующими средствами механизации, когда это технически возможно. Особенно важными при организации рабочего места являются пространство перемещения, снижение необходимости поворота корпуса под нагрузкой, высота начала подъема/опускания груза (70–100 см), достаточный обзор, правильная техника перемещений, исключающая перегрузки и повреждение позвоночника. При подъеме с выпрямленной спиной нагрузка на позвонки снижается на 20 % в сравнении с работой с согнутой спиной. Таким образом, правильная техника поднятия груза с более эффективным распределением нагрузки на позвонки обеспечивает более «длительный ресурс» позвоночника без болей и потери трудоспособности [2].

Работодатель при планировании работ обязан учитывать возраст, пол и конституцию персонала; лимитировать поднимаемый вес, при действиях с частым перемещением грузов планировать и предписывать паузы для отдыха; грузы весом более 10 кг должны быть отмечены с указанием их фактического веса. По закону подъем и перемещение грузов весом бо-

лее 25 кг разрешается только с применением специальных превентивных мер (табл. 2) — грузочные столы и подъемные столы ножничного типа, вилочные погрузчики, подъемные площадки, подъемные гусаки, краны.

Современная футеровка конвертера комплектуется в основном из изделий массой от 15 до 50 кг. Большинство приспособлений для проведения футеровочных работ устарело морально и физически и больше не соответствует требованиям защиты труда, что часто подтверждается соответствующими проверками TÜV. Востребованными являются новые установки, соответствующие современному уровню техники и позволяющие значительно облегчить тяжелый физический труд при проведении футеровочных работ.

ТБР разработала новую установку для футеровки конвертеров со съёмным днищем (рис. 3). Особенности установки:

- тяжелые кирпичи перемещаются при помощи крана и/или ножничных монтажных столов;
- усовершенствованная кабина «лифта» позволяет одновременную транспортировку до четырех человек либо (сверху кабины) двух поддонов кирпича общей массой до 3 т;
- обеспечиваются минимальные расстояния между футеровкой и монтажными площадками.

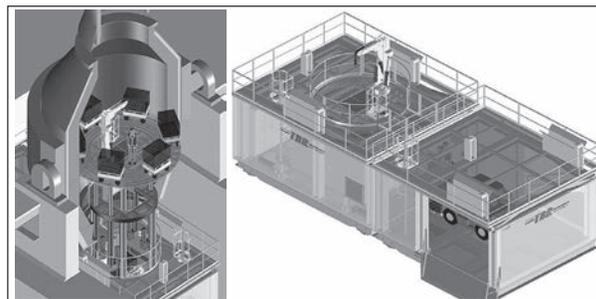


Рис. 3. Установка для футеровки конвертера и сортировки кирпича

Таблица 2. Ориентиры при подъеме и перемещении грузов (www.lfas.bayern.de)

Подъем, перемещение, перестановка, удержание груза, раз		Перенос груза в смену, раз		
		на дистанцию, м		
вес, кг	время <5 с	5–10	10–30	>30
<i>Ориентиры для мужчин</i>				
Без ограничений				
<10		<500	<250	<100
10 до <15	<1000/смену			<50
15 до <20	<250/ смену	<100		
20 до <25	<100/ смену	<50		
>25	Только с организацией специальных превентивных мер!			
<i>Ориентиры для женщин</i>				
Без ограничений				
<5		<500	<250	<100
5 до <10	<1000/ смену			<50
10 до <15	<250/ смену	<100		
>15	Только с организацией специальных превентивных мер!			

ЛОГИСТИКА

Конечная цель логистики процесса проведения футеровочных работ — дешевая и быстрая доставка кирпича от туннельной печи к месту футеровки согласно чертежу кладки без лишней физической нагрузки на персонал. Некоторые изготовители огнеупоров задумывались над вариантом укладки кирпича по палетам соответственно чертежу кладки, т. е. таким образом, чтобы соседние в кладке изделия (разных сортов и форматов) оказывались в одном поддоне. На сегодняшний день такой вариант вряд ли возможен, так как логистика огнеупорного цеха — это прежде всего:

- + максимальная загрузка прессов (в идеале — один сорт и один формат на пресс);
- + оптимальная загрузка туннельной печи (энергетически и экономически). Смешивание форматов и сортов нежелательно, так как значительно повышает затраты, выход брака;
- + также действует принцип: по возможности низкая физическая нагрузка на персонал.

Существует возможность расширения структуры огнеупорного цеха и 4–5-кратного увеличения площадей за туннельной печью, дооснащения участка 1–2 роботами для упаковки кирпича по поддонам соответственно заказу и чертежу кладки. Однако при этом нарушается оптимальная плотность загрузки поддонов и транспортных средств, растут расходы на транспорт и упаковку, усложняется процесс таможенной очистки (различные форматы и сорта оцениваются по-разному). Вывод — необходима переупаковка кирпича по чертежу кладки независимо от логистики производства и транспорта огнеупоров, по возможности ближе к месту кладки.

НОВАЯ КЛАДКА (КОНВЕРТЕР СО СЪЕМНЫМ ДНИЩЕМ)

Футеровочная площадка внутри конвертера отличается стесненностью рабочего места, поэтому в большинстве случаев еще до подачи в конвертер кирпич сортируется и готовится предварительно

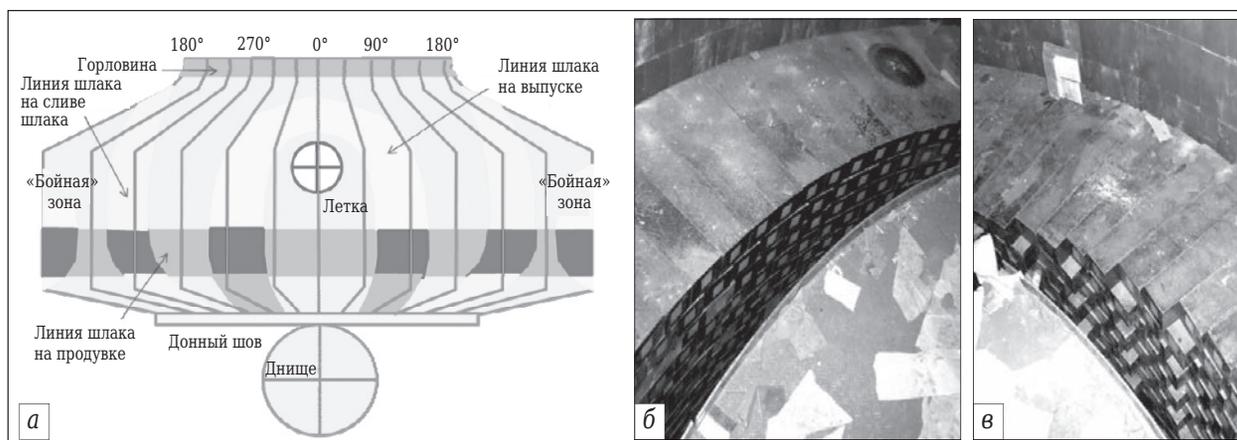


Рис. 4. Сбалансированная схема футеровки (а) и примеры выполнения кладки (б, в)

еще вне площадки. Разработанный фирмой ТБР футеровочный телескоп предусматривает автоматизацию процесса пересортировки кирпича, таким образом облегчая нагрузку на рабочих. Разработанная система в настоящее время является предметом патентного подтверждения и будет вскоре предложена потребителю.

Сортировка кирпича: в большинстве случаев сегодня применяется сбалансированная концепция футеровки (рис. 4, а) с различными форматами и сортами кирпича в зависимости от нагрузки (термической, механической, химической, коррозии/эрозии) для достижения равномерного износа футеровки. Зоны одного сорта и двух форматов (рис. 4, б) обычно упаковываются совместно изготовителем заранее, но при 3–4 различных сортах и от 2 до 10 разных форматов на кольцо (рис. 4, в) необходима предварительная пересортировка.

Система автоматизации фирмы ТБР обеспечивает пересортировку кирпича согласно чертежу кладки до начала подъема поддонов на футеровочную площадку. Что касается логистики процесса пересортировки, предусматриваются принципиально различные концепции, выбор их осуществляется по согласованию с заказчиком. Подъем пересортированного кирпича на площадку происходит при помощи телескопического подъемника («лифта»). ТБР-концепция «лифта» с площадью загрузки $1,2 \times 1,0 \text{ м}^2$ предусматривает подъем либо до четырех человек, либо двух поддонов по 1,5 т каждый (до шести поддонов на площадке футеровки); площадка поднимается со скоростью 2 м/мин. Кроме того, площадка оснащена ножничными подъемными тележками (до 6 шт.) с бесступенчатой перестановкой по высоте (таким образом обеспечивается эргономное перемещение тяжелого кирпича по высоте и в плане), а также краном грузоподъемностью 1,8 т для упрощения перестановки поддонов и тележек на площадке футеровки. Конструктивно проверяли также возможность дооснащения площадки манипулятором, но такой вариант оказался технически малопривлекательным.

Особенности телескопа ТБР выгодно отличают его от других конструкций. Это касается прежде всего:

- улучшения условий работы (для эргономически правильной футеровки верхнего конуса и горловины рабочая площадка футеровки подгоняется под размеры конвертера, предусмотрены ножничные подъемные тележки);

- техники безопасности — окно аварийного подъема людей на площадку, съемные ограждения площадки для ремонтных работ вне конвертера (в положении парковки), дополнительная защита от падающих предметов с площадки конвертера;

- определенная экономия времени и значительное улучшение организации футеровочных работ обеспечиваются гидроприводом площадки (грузоподъемность «лифта» 3,5 т при скорости подъема до 15 м/мин);

- большие возможности варьирования выносных лепестков для расширения площадки футеровки (1-я и 2-я ступени автоматически, в остальных случаях — вручную, по потребности).

Вся конструкция футеровочного телескопа может транспортироваться краном, сама технология работ остается неизменной для персонала, переобучение не требуется.

Описанные ранее зафиксированные законодательно требования по безопасности и организации труда при выполнении кладки конвертеров ведут к тому, что большинство конвертерных цехов в Европе вынуждены обновить парк своего оборудования, а машиностроители (на примере представленного телескопа ТБР для футеровки конвертеров со съемным днищем) — предлагать реальные альтернативы существующим установкам. Поэтому приоритетной целью разработки нового телескопа было не столько значительное сокращение времени проведения футеровочных работ, сколько снижение физической нагрузки на персонал и предоставление металлургам агрегата, который бы полностью соответствовал современным требованиям техники безопасности и охраны здоровья рабочих. Остается надеяться, что предприятия России, Украины, Казахстана рано или поздно проникнутся оправданной заботой европейских работодателей о здоровье и безопасности своих работающих и примкнут к процессу обновления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *European risk observatory report*, ISSN 1830-5946 / European Agency for Safety and Health at Work, 2010.
2. *www.lgl.bayern.de*, Heben und Tragen ohne Schaden, Auflage 6, 2011 ISBN 978-3-88261-594-4, www.baua.de.

3. *Sicheres Anschlagen von Lasten*, Resch Verlag ISBN 3-935197-34-9, Heben und Tragen, Heft 14; Universum Verlag, 65183 Wiesbaden. ■

Получено 17.02.13
© В. Московчук, 2014 г.

К. т. н. **А. В. Галахов** (✉), к. ф.-м. н. **В. А. Зеленский**,
к. т. н. **Е. В. Шелехов**, д. т. н. **Л. В. Коваленко**

Учреждение Российской академии наук Институт металлургии и материаловедения
им. А. А. Байкова РАН

УДК 549.517.1:66.065.51

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ α - Al_2O_3 В АЛЮМОГЕЛЯХ

Представлены результаты изучения фазовых превращений при синтезе α - Al_2O_3 из обезвоженного алюмогеля. Показано, что удаление воды из исходного прекурсора существенно влияет на последовательность фазовых превращений в температурной области синтеза. Температура кристаллизации α - Al_2O_3 по сравнению с гелем, осажденным из водного раствора, снижается на 300 °С — с 1200 до 900 °С.

Ключевые слова: α - Al_2O_3 , оксид алюминия, фазовые превращения, алюмогель, ОН-группы.

Одной из обширных областей применения керамики на базе Al_2O_3 является ее использование для конструкционных приложений. К керамике такого назначения предъявляются повышенные требования по механической прочности. Для обеспечения этой характеристики в производстве изделий используют порошки с субмикронным размером частиц. Разумеется, это требование должно обеспечить технология получения порошкового сырья, применяемого для этих целей. В основе большинства современных промышленных технологий получения порошкового сырья для оксидной конструкционной керамики лежит жидкофазовый метод синтеза, который включает синтез гидроксидов с последующим переводом их высокотемпературной обработкой в оксиды. Температура обжига гидроксидных прекурсоров во многом определяет дисперсность и другие не менее важные характеристики получаемого порошкового сырья — например, присутствие в нем прочных многочастичных образований (агломератов). Высокая гомологическая температура термообработки при синтезе порошкового сырья из гидроксидных прекурсоров неизбежно приводит к снижению дисперсности продукта. Показательно сопоставление гомологической температуры синтеза порошков для двух распространенных конструкционных оксидных керамических материалов — частично стабилизированного диоксида циркония и оксида алюминия. Если для порошков диокси-

да циркония она составляет $500/2750 = 0,18$ (в числителе — температура синтеза, в знаменателе — температура плавления материала порошков), то для порошков корундовой керамики эта величина гораздо выше — $1200/2044 = 0,59$. Поэтому при получении ультрадисперсного порошкового сырья для циркониевой конструкционной керамики технологических проблем меньше, чем при получении порошков α - Al_2O_3 . Снижение температуры синтеза порошкового сырья — прямой путь увеличения его дисперсности.

В основе жидкофазового метода синтеза порошков α - Al_2O_3 лежит процесс получения гидроксидов алюминия (AlOOH , $\text{Al}(\text{OH})_3$) в различной кристаллической форме (бёмит, гидраргиллит, гиббсит, байерит и пр.) [1]. Заключительным этапом этих технологий является термическое удаление гидроксильных групп OH^- с дальнейшим повышением температуры до области, где происходит кристаллизация α - Al_2O_3 . Последовательность фазовых превращений гидроксидных прекурсоров α - Al_2O_3 достаточно хорошо изучена. Она показана на рис. 1 [3]. Видно, что температура, требуемая для кристаллизации α - Al_2O_3 из таких содержащих группы OH^- прекурсоров, достаточно высока — 1200 °С [2]. Исключение составляет диаспор (α - AlOOH), который встречается в бокситовых рудах в крайне малых количествах. Технология его синтеза сложна и пока еще не нашла промышленного воплощения [4].

Указанная на рис. 1 температура кристаллизации α - Al_2O_3 (1200 °С) является температурой инициализации процесса кристаллизации. Для полного завершения превращения в производстве глинозема обычно используют более высокий уровень температур — до 1450 °С [1]. Снизить температуру синтеза



А. В. Галахов

E-mail: aleksander.galakhov@yandex.ru

α - Al_2O_3 пытаются различными путями. Один из них заключается во введении в гидроксидные прекурсоры затравочных кристаллов α - Al_2O_3 . Изучена кинетика превращения в порошках бёмита (γ - AlOOH по классификации [2]) с введенной затравкой α - Al_2O_3 [5]. Затравку вводили в водный золь бёмита, который затем сушили и термообработывали при 500 °С для формирования однородной смеси γ - Al_2O_3 с введенной затравкой. В этом случае влияние затравки на саму температуру кристаллизации γ - $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha$ - Al_2O_3 было незначительным. Кристаллизация α - Al_2O_3 в порошке, полученном из чистого бёмита, начиналась при 1050 °С, тогда как в порошке с затравкой превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ начиналось уже при 1000 °С. Однако с введением затравки инкубационный период превращения

сокращался, а его скорость возрастала многократно. Подобное исследование было выполнено авторами статьи [6] позже на прекурсоре, полученном осаждением из водного раствора азотнокислого алюминия. В этой работе 5 мас. % затравочных порошков α - Al_2O_3 вводили в раствор азотнокислого алюминия, т. е. на базе раствора соли готовили золь α - Al_2O_3 , из которого добавлением водного аммиака (прямое осаждение) получали осадок гидроксида с введенной затравкой. Высушенный при 400 °С осадок полностью состоял из бёмита. Серия температурных обжигов с мониторингом фазового состава показала, что введение затравки существенно понижает температуру инициализации и температуру полного превращения $\gamma \rightarrow \alpha$, которая для прекурсора без затравки

не сильно отличалась от известной — 1200 °С. Добавление затравочных кристаллов снижало ее на 300 °С (900 °С). «Затравочный» метод снижения температуры превращения $\gamma \rightarrow \alpha$ не ограничивается применением затравочных кристаллов α - Al_2O_3 . Эффект был достигнут за счет применения в качестве затравки порошка диаспора [7]. Затравку вводили по известной методике [6], т. е. готовили золь диаспора на базе раствора нитрата алюминия. По той же схеме осаждали алюминийсодержащий прекурсор водным раствором аммиака. Фазовый анализ осадков, прокаленных при разной температуре, показал, что α - Al_2O_3 формируется уже при 600 °С.

Во всех рассмотренных работах синтез начинается с получения водосодержащих прекурсоров с дальнейшей их термической деструкцией. В то же время существуют методы «обезвоживания» исходных растворов. Например, используя упаривание растворов или отгонку воды под вакуумом с использованием вакуумного ротационного испарителя. Авторы настоящей статьи попробовали оценить влияние воды в исходных прекурсорах на последовательность фазовых превращений при их термообработке. Для этого готовили 1 М водный раствор

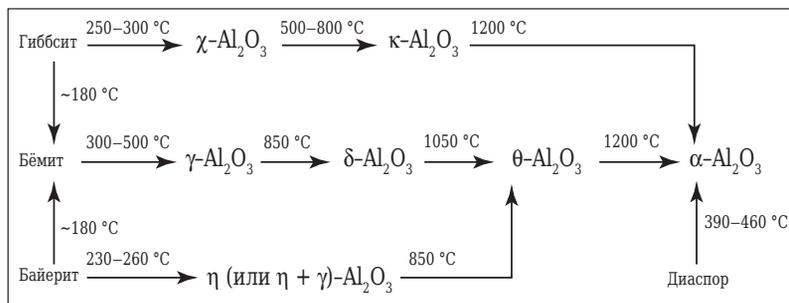


Рис. 1. Последовательность фазовых превращений при термообработке гидроксидных прекурсоров α - Al_2O_3 [3]

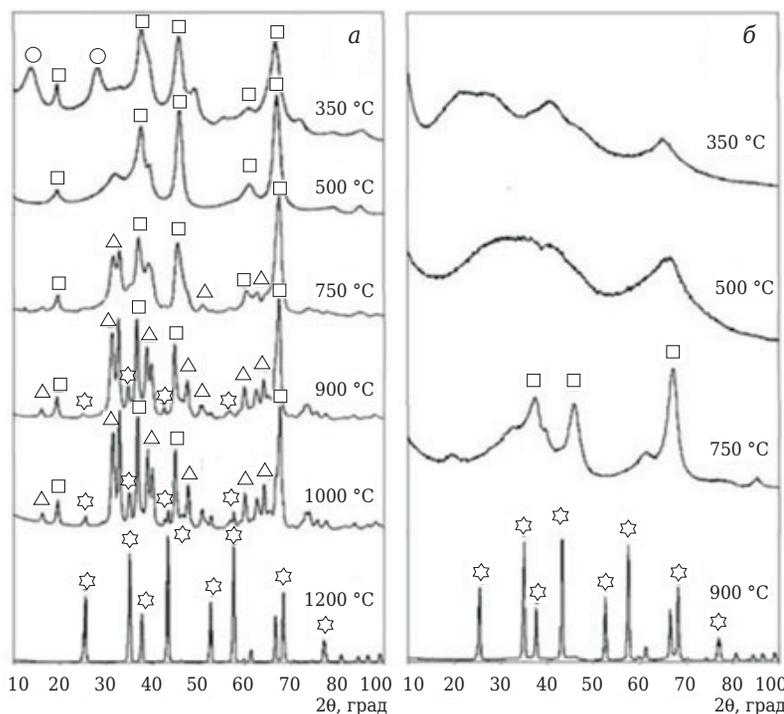


Рис. 2. Рентгенограммы осадка (а) и геля (б) после серии 2-ч обжигов при различных температурах: ○ — α - AlOOH (бёмит); □ — γ - Al_2O_3 ; Δ — θ - Al_2O_3 ; ☆ — α - Al_2O_3

Фазовый состав прекурсоров в функции температуры обжига, мас. %

Температура, °С	Осадок				Гель			
	бёмит	γ	θ	α	бёмит	γ	θ	α
350	31,2	68,8	–	–	–	–	–	–
500	–	100	–	–	–	–	–	–
750	–	31,5	68,5	–	–	100	–	–
900	–	78	19,5	2,5	–	–	–	100
1000	–	54,3	38,7	7	–	–	–	–
1200	–	–	–	100	–	–	–	–

нитрата алюминия ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ квалификации ос. ч.). Одну часть раствора «упаривали» на вакуумном ротационном испарителе до прекращения выделения паров воды. Полученный продукт представлял собой прозрачный вязкий гель (в дальнейшем именуется «гель»). Другую часть раствора использовали для получения осадка гидроксида традиционным методом — осаждением раствором аммиака с отделением жидкости на фильтре под вакуумом. Для полноты осаждения на 1 моль нитрата алюминия добавляли 3 моля NH_4OH (этот гель в дальнейшем именуется «осадок»). Далее гель и осадок подвергали термообработке при различных температурах с мониторингом фазового состава. Съемку образцов проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 в монохроматизированном Cu K_α -излучении. Для определения количественного соотношения фаз использовали метод Ритвельда [8], реализованный в пакете программ [9]. Результаты показаны на рис. 2 и приведены в таблице. Цепочка фазовых превращений с ростом температуры для прекурсоров различного происхождения (геля и осадка) заметно различается. Если осадок претерпевает известную последовательность превращений $\alpha\text{-AlOOH}$ (бёмит) $\rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \theta\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, которая заканчивается кристаллизацией α -фазы при 1200 °С, то обезвоженный гель сохраняет аморфную структуру до достаточно высокой температуры — 500 °С. Далее при 750 °С образуется плохо окристаллизованный $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, который переходит в $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ полностью уже при 900 °С. Это на 300 °С ниже, чем при кристаллизации из осадка. Следует отметить и еще одну особенность, бросающуюся в глаза при анализе результатов, представленных на рис. 1 и в таблице. Это сосуществование нескольких различных фаз при различных температурах, которое косвенно свидетельствует о локальной неоднородности структуры осадка гидроксидов. Если в каких-то локальных областях образование фазы уже закончилось, то в других еще не начиналось. В отличие от осадка в геле превращение протекает однородно во

всем объеме. Последнее подтверждают данные количественного фазового анализа для него, представленные в таблице.

Кроме того, различия в степени однородности осадка и геля могут быть причиной различного механизма превращения в этих структурах. Если в неоднородной структуре осадка фазовые превращения протекают по «медленному» диффузионному механизму, то в однородной структуре геля это превращение может протекать по типу «быстрого» мартенситного. Такого механизма превращения полностью исключить нельзя, так как все модификации кислородных соединений алюминия — плотнейшие упаковки анионов O (–2), в тетра- и октапорах которых расположены катионы Al (+3). Разумеется, перераспределение этих катионов по порам чистым сдвигом осуществить невозможно. Однако короткие дистанции (~10 Å), требуемые для перестройки элементарной ячейки, в значительной мере должны способствовать ускорению этого «перескока» с участием процесса диффузии.

В практическом аспекте представляет интерес сопоставление некоторых характеристик порошков $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, полученных по «классической» схеме (осадок) и из обезвоженного геля, в частности удельной поверхности, характеризующей дисперсность порошка. Удельную поверхность частиц порошка оценивали БЭТ-методом. Измерения проводили на приборе «ASAP 2020» фирмы «Micrometrics», США. Для $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, полученного из осадка, прокаленного при 1200 °С, она составила 3,56 м²/г, тогда как для $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, полученного из обезвоженного геля прокаливанием при 900 °С, — 12,84 м²/г. Соответствующий этой удельной поверхности размер частиц для порошков из осадка составил 0,34 мкм, а для полученных из обезвоженного геля 0,09 мкм.

Представленные результаты показывают, что уменьшение содержания воды (OH^- -групп) в исходном прекурсор существенно изменяет последовательность фазовых превращений в алюмогеле. При этом исключено появление некоторых промежуточных фаз: гидроксидов алю-

миния и переходной между γ - и α -моноклинной θ -фазы. Температура кристаллизации α - Al_2O_3 снижается на 300 °С. Последнее обстоятельство вкпе с увеличением дисперсности про-

дукта делает привлекательным использование схемы получения α - Al_2O_3 из обезвоженного геля как в лабораторной практике, так и при реализации технологии производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лайнер, А. И.** Производство глинозема / А. И. Лайнер, Н. И. Ерёмин, Ю. А. Лайнер, И. З. Певзнер. — М. : Металлургия, 1978.
2. **Чалый, В. П.** Гидроокиси металлов / В. П. Чалый. — Киев : Наукова думка, 1972.
3. **Alumina as a ceramic material** / ed. by W. H. Gitzen. — ACerS, Columbus OH, 1970.
4. **Loffler, L.** Transformation mechanism of the degidration of diaspore / L. Loffler, W. Mader // J. Amer. Ceram. Soc. — 2003. — Vol. 86, № 4. — P. 534–540.
5. **Shelleman, R. A.** Alpha alumina transformation in seeded boehmite gels / R. A. Shelleman, G. L. Messing, M. Kumagai // Journal of non-cristalline solids. — 1986. — Vol. 82. — P. 277–285.
6. **Li, J. G.** Synthesis and sintering behavior of a nanocrystalline α -alumina powders / J. G. Li, X. Sun // Acta Mater. — 2000. — Vol. 48. — P. 3103–3112.
7. **Krell, A.** Nanocorundum — advanced synthesis and processing / A. Krell, H. Ma // NanoStructured Materials. — 1999. — Vol. 11, № 8. — P. 1141–1153.
8. **Rietveld, H. M.** Line profiles of neutron powder-diffraction peaks for structure refinement / H. M. Rietveld // Acta Crystallographica. — 1967. — Vol. 22. — P. 151, 152.
9. **Shelekhov, E. V.** Programs for X-ray analysis of polycrystals / E. V. Shelekhov, T. A. Sviridova // Metal Science and Heat Treatment. — 2000. — Vol. 42, № 8. — P. 309–313. ■

Получено 05.09.13

© А. В. Галахов, В. А. Зеленский,
Е. В. Шелехов, Л. В. Коваленко,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Национальная академия наук Беларуси
Государственное научно-производственное объединение
порошковой металлургии
Институт порошковой металлургии
European Powder Metallurgy Association

Одиннадцатая международная научно-техническая конференция:

«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ: ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, СВАРКА»

28–30 мая 2014 г., г. Минск, Беларусь

Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в одиннадцатой международной научно-технической конференции, которая состоится в Минске на базе Института порошковой металлургии (ул. Платонова, 41, 2-й этаж, зал заседаний).

Планируется издание сборника материалов докладов (до трех страниц с иллюстрациями) к началу проведения конференции.

Секции конференции:

1. Металлические порошковые материалы. Композиционные порошковые материалы: триботехнические, электротехнические, пористые и специальные. Технологии и моделирование процессов их получения и применения.
2. Наноматериалы и нанотехнологии. Сверхтвердые и керамические материалы.
3. Инженерия поверхности. Защитные покрытия: материалы, технология и оборудование для нанесения.
4. Новые технологии и оборудование сварочного производства. Соединение и деструкция материалов. Нетрадиционные металлургические технологии.

Официальные языки конференции – русский и английский.

✉ 220005, Беларусь, г. Минск, ул. Платонова, 41, Институт порошковой металлургии

☎ (017) 293-98-12 Комякова Ольга Витальевна;

☎ (017) 293-98-46 Полешук Надежда Александровна, Маслакова Екатерина Александровна (доклады)

📠 факс (017) 292-82-42, e-mail: info50@mail.ru

В. Т. Шмурадко¹(✉), О. В. Роман, А. Ф. Ильющенко², Л. В. Судник¹, Н. В. Киршина¹

¹ Обособленное хозяйственное структурное подразделение «Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством», г. Минск, Республика Беларусь

² Государственное научно-производственное объединение порошковой металлургии, г. Минск, Республика Беларусь

УДК 666.762.3:621.746.06

КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ

Получение специальных алюмомагниевого сплавов и соответствующих им огнеупоров рассмотрено с позиций физико-химических процессов и механизмов металлургии алюминия, функциональной способности плавильно-литьевого оборудования и керамической футеровки, позволяющих дифференцированно управлять структурно-химическими параметрами отливок в процессе их получения. Разработаны составы и технологические решения для получения фасонных футеровочных огнеупорных изделий на базе бесцементных керамобетонов.

Ключевые слова: керамические изделия, плавильно-литьевое оборудование, дозирующий узел, керамобетоны, высококонцентрированные вяжущие суспензии (ВКВС).

Состояние вопроса. Комплексное решение задач получения специальных конструктивных алюминиевых сплавов и футеровочных материалов для тепловых агрегатов тесно связано, с одной стороны, с физико-химическими процессами металлургии алюминия — механизмами плавления, приготовления и введения лигатуры в расплав, литья, дозирования и кристаллизации, а с другой — с функциональной способностью плавильно-литьевого оборудования, позволяющего дифференцированно и эффективно выполнять поставленные задачи на каждом технологическом этапе металлургического процесса, обеспечивая тем самым получение отливок заданного качества. Для эффективной реализации поставленных задач необходимо применение в плавильно-литьевом оборудовании огнеупорных футеровочных изделий со стабильно высокими значениями коррозионно-эрозионной устойчивости, термостойкости, физико-химических и других свойств [1].

Исходные материалы и принципы создания футеровки. Учитывая химическую активность алюминиевых расплавов, высокие требования, предъявляемые к свойствам создаваемых алюмомагниевого сплавов, наиболее эффективными композиционными компонентами при изготовлении футеровки плавильно-дозировоч-

но-кристаллизационных узлов теплового оборудования приняты порошки электрокорунда, корундошпинельные ($Al_2O_3 + MgAl_2O_4$), шпинелеобразующие ($MgO + Al_2O_3$) с добавками гранулометрического состава 0–5 мм, а также высококонцентрированные керамические вяжущие суспензии (ВКВС), полученные жидким помолом идентичных порошковых композиций в керамических помольных устройствах.

Из порошковых систем разработаны самотвердеющие керамические массы, из которых получены фасонные футеровочные изделия (самоупрочняющиеся при 24 и 350 °С), что позволило достичь стабильного структурно-фазового строения в материале футеровки при эксплуатации. Причем в процессе службы в материале изделий сохраняются достигнутые значения структурно-химических и фазовых соотношений, отвечающих за теплофизические, физико-механические и другие свойства [2]. Согласно [1] и проведенным исследованиям на базе корундовых и корундошпинельных порошков с комплексами ($MgO + Al_2O_3$) и с помощью добавок в разработанных керамобетонах созданы гибкие структурно-фазовые строения, способные в материале изделий (в термодинамическом режиме) изменять и согласовывать между собой такие показатели, как теплопроводность, химическая стойкость, ТКЛР, совместив при этом в изделиях структурную термостойкость и коррозионную стойкость, температуру начала деформации под нагрузкой и механическую прочность. В данном случае одна из ведущих ролей принадлежит шпинели, обеспечивающей



В. Т. Шмурадко
E-mail: impuls@bn.by

в огнеупорах высокую химическую устойчивость к воздействию металлических расплавов в условиях повышенных температур [3].

Для улучшения служебных характеристик футеровки использовали добавки в виде коллоидных систем на основе глинозема и кремнезема, которые как источник наноразмерных суперактивных форм $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и SiO_2 обеспечивают структурное упрочнение керамобетонов. Это позволило исключить из их состава CaO , который, как цементообразующая составляющая, ухудшает коррозионные и деформационные свойства огнеупоров при высоких температурах [4]. Кроме того, шпинелеобразующие и шпинельсодержащие структурные системы улучшали свойства при спекании с помощью наноразмерного MgO за счет активации в создаваемых бетонах механизмов шпинелеобразования путем синтеза активной шпинельной (керамической) связки по границам зерен корунда и первичной шпинели, содержащихся в сформованных бетонах. Особую роль в создании керамобетонов выполняют ВКВС, разжижающие добавки и поверхностно-активные вещества (ПАВ), введение которых в огнеупорные смеси позволяет управлять динамикой реотехнологических свойств при формовании, тепловой обработке и спекании. Содержащийся коллоидный наноконтакт в ВКВС отвечает как за комплексные свойства суспензии, так и за свойства огнеупорных смесей и материалов в целом. В нашем случае при технологических переделах порошковых систем источник коллоидного компонента — корундовые, корундошпинельные и шпинельные порошки, обработанные в жидкой рН-среде механохимическим методом в помольных установках с корундовыми мелющими телами. При этом достигнут оптимальный уровень реотехнологических свойств в литейных шликерных суспензиях и формовочных массах, разработанных на базе различных огнеупорных смесей.

Технологические рекомендации. Получение фасонных изделий для плавильно-литьевого оборудования включает следующие подходы и решения:

использование строго регламентированных фракционных составов порошковой шихты в диапазоне 0–5 мм позволяет достичь в самотвердеющих заготовках из керамобетонов регулируемой и плотной (83–90 %) упаковки частиц;

для управления теплофизическими показателями и коррозионно-эрозийной стойкостью предусмотрено введение в состав гранулометрической композиции (при необходимости) узких размерных фракций корунда и алюмомагнезиальной шпинели в диапазоне 1–1000 мкм;

применение реотехнологических систем на базе ВКВС, содержащих наноразмерные компоненты и добавки суперактивного кремнезема и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, получаемые жидким трибохимическим помолом, позволяет улучшить термостойкость и коррозионно-эрозийную устойчивость материала изделий к расплавам алюминия и его сплавов;

одной из важнейших технологических задач (при получении плотных бесцементных бетонов) является создание оптимальных реотехнологических свойств формуемых огнеупорных бетонных масс при минимальном (5–7 %) содержании воды;

эффективно использование разжижающих (дефлокулирующих, пластифицирующих или стабилизирующих) добавок на основе сульфонафталинформальдегида (смеси натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот) различной молекулярной массы (например, дефомикса и др.), которые позволяют не только достичь необходимой текучести бетонных смесей при минимуме содержания дисперсионной среды (воды), но и регулировать сроки их схватывания, твердения и упрочнения [5];

необходимо проведение строгой регламентации зернового и фазового составов шихты,



Воронка дозирующего узла плавильно-литьевого устройства

применяемых в различных узлах футеровки тепловых агрегатов;

изготовление штучных заготовок виброформованием рекомендуется проводить в диапазоне частот 30–240 с⁻¹ с амплитудой 0,5–1,7 мм;

изделия сложной геометрии, предназначенные для эксплуатации в дозирующем устройстве (корундовые воронки, $D_{нар}$ 330 мм, $D_{вн}$ 270 мм, $t_{ст}$ 30 мм и $D_{нар}$ 90 мм, $D_{вн}$ 30 мм — низ воронки, h 330 мм), изготавливаются по режиму: частота 100 с⁻¹, амплитуда 0,9 мм, самоупрочнение при 24 °С в течение 3–7 сут, а при 24–90 °С — в опалубке в течение 24 ч;

тепловая обработка, спекание и формирование керамической структуры в изделиях осуществляются при 1450 и 1600 °С [1–7].

Эксплуатационные испытания и тестирование свойств материала и конструкции

огнеупорной воронки (см. рисунок), установленной в дозирующем узле плавильно-литьевой установки, прошли в запланированном режиме. Из расплавов на протяжении всего металлургического цикла получены химически чистые алюмомагниевого материалы [2–4]. Исследования по совершенствованию и оптимизации конструкции функциональных узлов плавильно-литьевой установки для производственных условий с применением самотвердеющих бесцементных огнеупорных футеровочных изделий продолжаются. В настоящее время решается задача по оптимизации условий гибкого дозирования алюмомагниевого расплава в кристаллизатор при помощи раздаточного устройства с применением шиберного затвора и комплектующих из спецкерамики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Разработка** материалов и технологии формирования керамических и огнеупорных термо-коррозионно-эрозионноустойчивых изделий для металлургии с применением импульсных методов нагружения : отчет о НИР / ОХП «НИИ ИП с ОП»; рук. Роман О. В ; отв. исполн. Шмурадко В. Т. и др. — Минск, 2009. — 45 с. — № ГР 2006894.

2. **Разработать** технологические схемы изготовления самотвердеющих изделий для огнеупорного и металлургического производств с применением импульсного формования : отчет о НИР / ОХП «НИИ ИП с ОП» ; рук. Ильющенко А. Ф. ; исполн. : Шмурадко В. Т. [и др.]. — Минск, 2012. — 24 с. — № ГР 20110755.

3. **Шнабель, М.** Бетоны со шпинелью для футеровки сталеразливочных ковшей : сравнение вторичной и предварительно синтезированной шпинели / М. Шнабель, А. Бур, Р. Эксенбергер, К. Рампич // Новые огнеупоры. — 2011. — № 3. — С. 92–101.

4. **Пивинский, Ю. Е.** Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы — основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров XXI века. Часть III. Шпинельные и литые

(саморастекающиеся) бетоны / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 1998. — № 4. — С. 12–18.

5. **Кащеев, И. Д.** Сравнительный анализ свойств отечественных и импортных реологических добавок для огнеупорных бетонов / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной // Новые огнеупоры. — 2005. — № 4. — С. 29.

6. **Разработка** функциональной структурной схемы создания технологических объектов из самотвердеющих огнеупорных материалов на основе корунда, муллита и диоксида циркония : отчет о НИР / ОХП «НИИ ИП с ОП» ; рук. Судник Л. В. ; исполн. : Шмурадко В. Т. [и др.]. — Минск, 2013. — 24 с. — № ГР 220110755.

7. **Формирование** физико-химических основ в технологиях создания самотвердеющих огнеупорных бетонов и изделий на основе диоксида циркония : отчет о НИР / ОХП «НИИ ИП с ОП» ; рук. Судник Л. В. ; исполн. : Шмурадко В. Т. [и др.]. — Минск, 2013. — 20 с. — № ГР 220110755. ■

Получено 22.07.13
© В. Т. Шмурадко, О. В. Роман, А. Ф. Ильющенко,
Л. В. Судник, Н. В. Киришина,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

TECNARGILLA 2014

22 - 26 September 2014 - Rimini . Italy

24th International Exhibition of Technologies and Supplies for the Ceramic and Brick Industries



THE FUTURE OF CERAMICS



22–26 сентября
2014 г.

ТЕХНАРГИЛЛА 2014

<http://www.technargilla.it>

г. Рим,
Италия

Д. Т. Н. А. П. Гаршин¹(✉), д. т. н. В. М. Шумячер², д. т. н. О. И. Пушкарёв²

¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волгоград, Россия

УДК 666.762.853+666.762.11

КЕРАМИЧЕСКИЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ И КОРУНДА С КОРУНДОВОЙ МАТРИЦЕЙ

Приведены результаты исследований процесса получения и некоторых свойств нового абразивного композиционного материала системы SiC–Al₂O₃ с корундовой матрицей. Материал получен методом добавления металлического алюминия в шихту, применяемую в существующей технологии производства технического карбида кремния.

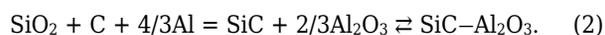
Ключевые слова: карбид кремния, корунд, диоксид кремния, нефтяной кокс, металлический алюминий, композиционный материал SiC–Al₂O₃.

ВВЕДЕНИЕ

Синтез композиционного материала осуществляли путем добавления алюминия в традиционную шихту, используемую в технологии получения карбида кремния по реакции [1]

$$\text{SiO}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}. \quad (1)$$

Добавление металлического алюминия в шихту, применяемую в существующем производстве технического карбида кремния, обеспечивает протекание этого процесса в соответствии с реакцией [2]



Реакция (2) протекает с образованием композиционного материала SiC–Al₂O₃, в котором множество зерен карбида кремния SiC равномерно распределено в корундовой матрице Al₂O₃ [2].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходную шихту готовили из кварцевого песка, порошка алюминия и нефтяного кокса в принятом стехиометрическом соотношении. Использовали кварцевый песок с содержанием SiO₂ не менее 99,1 % и Fe₂O₃ не более 0,25 %. В качестве алюминия и углеродистого материала в шихту вводили алюминиевый порошок

марки АПВ и малосернистый нефтяной кокс с содержанием активного углерода 80–85 %. Композиционный материал из шихты получали в лабораторной электропечи сопротивления мощностью 160 кВт, рабочая длина печи 1300, ширина 1100 мм (рис. 1).

Температуру в печи контролировали оптическим пирометром с помощью специальной визуальной трубы. Из продуктов синтеза готовили пробы сухим измельчением в щековой дробилке. Из фракции мельче 5 мм высеивали фракции 1600–1250 мкм, на которых выполняли химический, микроскопический, микро-рентгеноспектральный анализы, проводили микромеханические исследования, а также определяли эксплуатационные свойства зерна композиционного материала в шлифовальном инструменте по известным методикам [2, 3].

Рентгеноструктурный анализ осуществляли фотометодом на аппарате УРС-55 в медном фильтрованном излучении в камере Дебая.

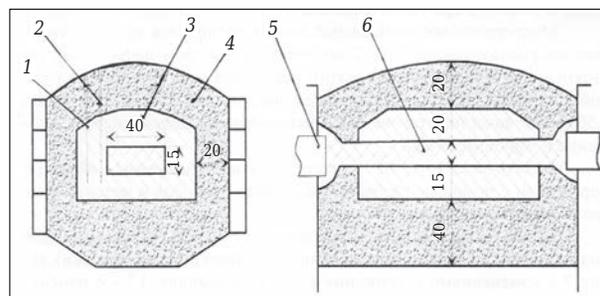


Рис. 1. Поперечный и продольный разрезы загруженной печи сопротивления: 1, 2 — термопары; 3 — реакционная шихта; 4 — теплоизоляционная шихта; 5 — рабочий электрод; 6 — обогревающий Kern

✉
А. П. Гаршин
E-mail: apgarshin@gmail.com

Микроструктуру исследовали на микрошлифах, приготовленных на чугунном притире с применением алмазных паст марок АСМ 20/14 – АСМ 1/0 и с фотографированием образцов на микроскопах МИМ-8 и ПМТ-3 при 500-кратном увеличении. При исследовании микромеханических свойств композиционного материала на приборе ПМТ-3 определяли микротвердость и микропрочность отдельных фаз карбида кремния и корунда, а также композиционного абразивного материала системы SiC–Al₂O₃ по известной методике [2, 3] при нагрузке на индентор – пирамиду Виккерса 100 Н. Микрорентгеноспектральный анализ проводили на микроанализаторе MAP-2 при использовании в качестве эталонов металлического алюминия и карбида кремния. Физико-механические характеристики определяли с помощью разработанных авторами настоящей статьи приборов и методов контроля шлифовальных материалов [2–4].

РЕЗУЛЬТАТ ЭКСПЕРИМЕНТА И ДИСКУССИЯ

Результаты химических и рентгеновских исследований показали, что все объекты, взятые из зоны образования продукта синтеза, содержат 35–40 % SiC и 60–65 % Al₂O₃. Во всех пробах оксид алюминия находится в виде α-Al₂O₃, а карбид кремния, как правило, представлен смесью кубического (β-SiC) и гексагонального (α-SiC) карбида кремния. Из анализа микроструктуры, а также по данным микрорентгеноспектрального анализа синтезированный продукт представляет собой материал с мелкозернистой двухфазной структурой (размер фаз от 2 до 40 мкм,

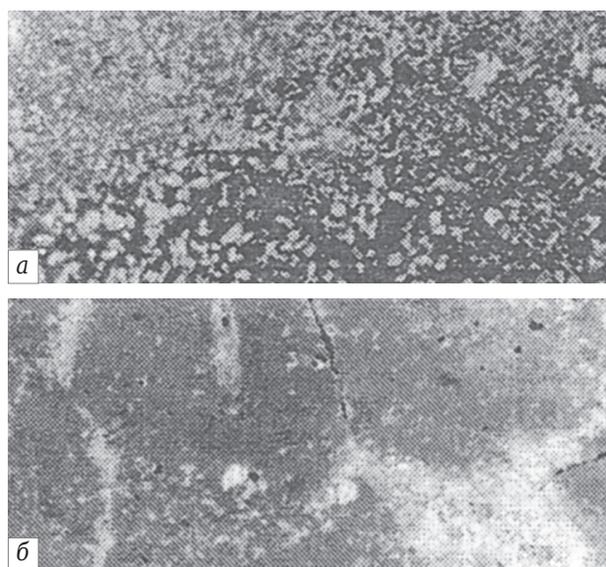


Рис. 2. Микроструктура двухфазного материала системы SiC–Al₂O₃: серое – корунд; светлое – карбид кремния

рис. 2, а). Области мелкозернистой двухфазной структуры составляют в общей массе продуктов от 30 до 80 %; до 10 % составляют области крупных образований корунда и карбида кремния, в которых размер фаз колеблется от 50 до 200 мкм и более (рис. 2, б). На рис. 3 показана микроструктура участков мелко- и крупнодисперсных двухфазных систем композиционного материала состава SiC–Al₂O₃ с отпечатками пирамиды Виккерса (см. рис. 3, а–в) и участков

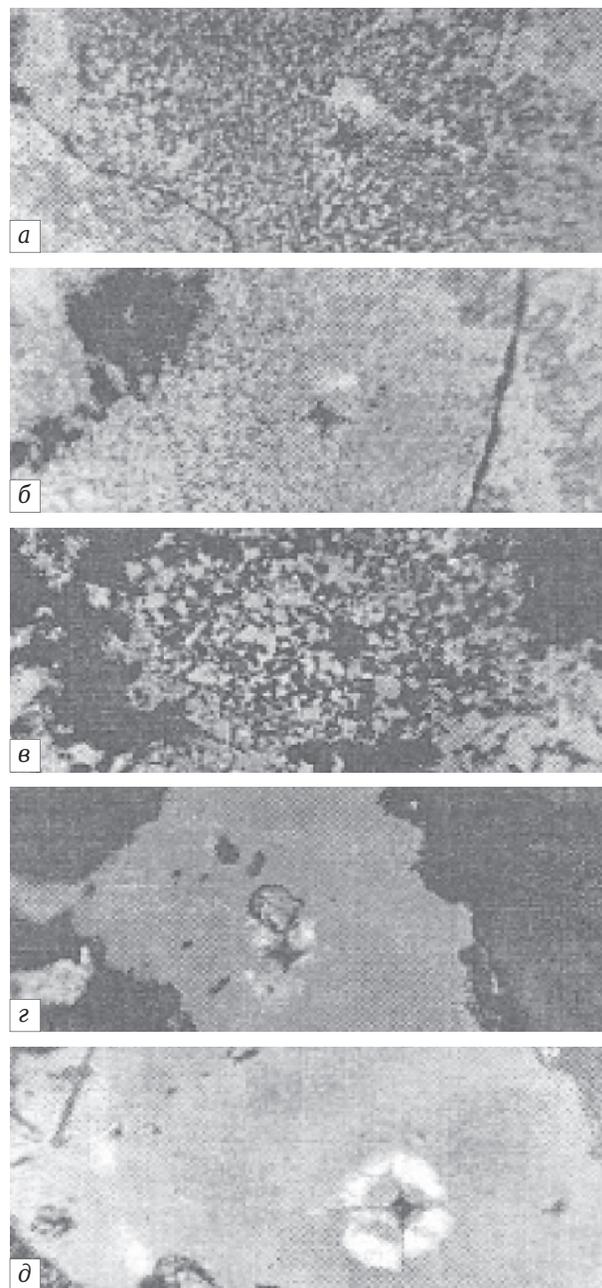


Рис. 3. Микроструктура образцов композиционного материала системы SiC–Al₂O₃ с отпечатками пирамиды Виккерса при P = 100 Н, ×200: а, б – двухфазная структура; в – крупнозернистая двухфазная система SiC–Al₂O₃; г – отпечаток пирамиды на корунде; д – отпечаток пирамиды на карбиде кремния

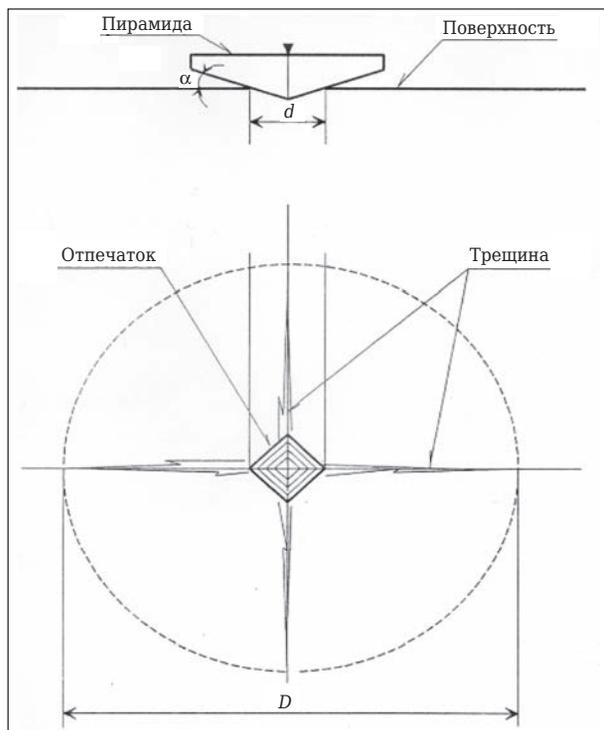


Рис. 4. Схема процесса вдавливания индентора (пирамиды Виккерса) в поверхность твердых и хрупких материалов: d — диагональ отпечатка; D — длина трещины; α — угол вдавливания

отдельных фаз корунда и карбида кремния (см. рис. 3, z, d); наблюдаются также участки различных включений.

Процесс микроиндентирования (рис. 4) пластичных материалов описывается известным законом $P = f(d)$, где d — диагональ отпечатка. При микроиндентировании высокопрочных и хрупких материалов в районе отпечатка происходит хрупкое разрушение, поэтому обычно исследуют одновременно процесс роста трещин (см. рис. 4) с увеличением нагрузки на индентор $P = f(d)$ [5]. В последнее время определение поверхностной прочности и трещиностойкости керамических материалов происходит с использованием метода микровдавливания, что позволяет изучать процессы зарождения трещин (см. рис. 4), приводящие к хрупкому разрушению материалов [1, 2, 4]. При микроиндентировании хрупких материалов идут взаимосвязанные процессы пластической деформации материала, связанные с образованием отпечатка размером d (диагональ отпечатка), и хрупкого разрушения отдельных микроучастков, связанные с образованием в районе отпечатка некой зоны хрупкой повреждаемости D , которая включает нарушение сплошности — появление различных трещин и сколов (см. рис. 4). Размеры зоны D определяются прочностными свойствами испытуемого

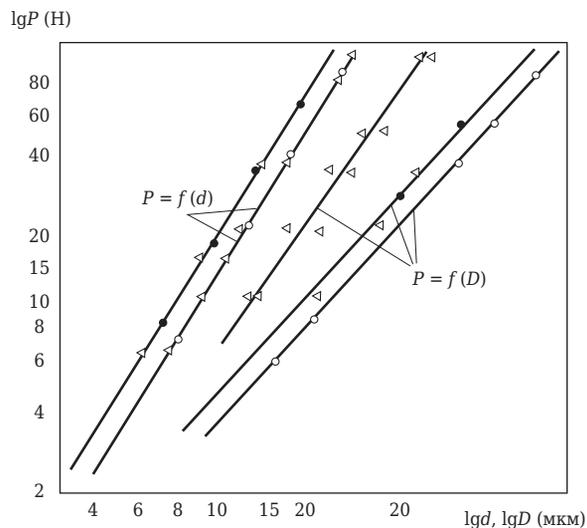


Рис. 5. Зависимость диагонали отпечатка d и зоны хрупкой повреждаемости D от нагрузки на индентор: ● — SiC; ○ — Al₂O₃; △ — двухфазная структура образцов композиционного материала состава SiC–Al₂O₃

материала и условиями испытания материала (нагрузка на индентор P , угол вдавливания α и геометрия индентора).

На рис. 5 показан график зависимости диагонали отпечатка (полученной на приборе ПМТ-3) и зоны хрупкой повреждаемости при микроиндентировании пирамиды Виккерса в поверхность образца от нагрузки в логарифмических координатах для разных областей композиционного материала SiC–Al₂O₃. Из рис. 5 видно, что мелкозернистая двухфазная структура системы SiC–Al₂O₃ по диагонали отпечатка индентора (микротвердости) близка как к карбиду кремния, так и к корунду, а по зоне хрупкой повреждаемости (микропрочности) значительно отличается от них (за исключением отдельных участков поверхности) в сторону большей трещиностойкости. В табл. 1 приведены данные по микротвердости и микропрочности композиционного материала SiC–Al₂O₃ в сравнении с его однокомпонентными составляющими SiC и Al₂O₃. Полученные результаты (см. табл. 1) показывают, что композиционный материал из карбида кремния и корунда по микротвердости близок к SiC, а по микропрочности значительно превосходит и карбид кремния, и корунд.

Физико-механические характеристики композиционного материала SiC–Al₂O₃, полученного при различном содержании в реакционной шихте алюминия, приведены в табл. 2. Большому содержанию алюминия в шихте соответствует получение более качественного композиционного материала (микропрочность, прочность единичных зерен, относительная режущая способность имеют более высокие значения).

Таблица 1. Сравнительные микромеханические показатели образцов композиционного материала и каждого из составляющих его компонентов при нагрузке на индентор 100 Н

Образец	Фаза	Микротвердость, ГПа	Микропрочность, ГПа
SiC	–	31	2,3
Al ₂ O ₃	–	22	2,0
Композиционный материал	Двухфазная структура	23–32	4,5–5,9
	Фаза:		
	светлая	30	2,1
	темная	20	1,7

Таблица 2. Сравнительные микромеханические и эксплуатационные характеристики композиционного материала, полученного при его синтезе из шихты, содержащей различное количество алюминия

Содержание алюминия, %	Микротвердость, ГПа	Микропрочность, ГПа	Разрушаемость (хрупкость), %	Прочность единичных зерен, Н	Относительная режущая способность
33	23,0–27,0	2,3–4,8	31,5	48,0	1,6
26	20,5–22,5	2,9–3,3	34,0	42,0	1,3
18	22,4–29,0	2,0–3,3	39,0	40,0	1,0

Для оценки возможности изготовления абразивного инструмента из композиционного материала в лабораторных условиях были изготовлены шлифовальные абразивные круги и испытаны в сравнении с аналогичными шлифовальными кругами, изготовленными только из карбида кремния и или корунда. Анализ полученных результатов показал, что шлифовальные круги из композиционного материала SiC–Al₂O₃ при обработке ими стали ШХ-15, чугуна и титановых сплавов имеют шлифовальную способность на 30 % выше, чем аналогичные изделия, изготовленные только из карбида кремния или корунда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гаршин, А. П.** Карбид кремния. Монокристаллы, порошки и изделия на их основе / А. П. Гаршин. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2006. — 124 с.
2. **Гаршин, А. П.** Абразивы и материалы конструкционного назначения на основе карбида кремния : учебное пособие / А. П. Гаршин, В. М. Шумячер, О. И. Пушкарёв. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2008. — 189 с.
3. **Пушкарёв, О. И.** Исследование поверхностной прочности и трещиностойкости высокотвердых керамических материалов методом микровдавливания / О. И. Пушкарёв // Огнеупоры и техническая керамика. — 2002. — № 10. — С. 18–21.
4. **Garshin, A. P.** Influence of Impurities and Intrinsic Defects Physicomechanical Properties of Silicon Carbide Single Crystals / A. P. Garshin, E. A. Lavrenova,

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований, проведенных в данной работе, позволяют заключить, что получен новый композиционный материал SiC–Al₂O₃ с корундовой матрицей, обладающий новыми свойствами, отличающимися как от свойств карбида кремния, так и от свойств корунда. Поэтому этот композиционный материал можно рекомендовать для изготовления абразивного инструмента, используемого при обработке (шлифовании) изделий из стали ШХ-15, чугуна и титановых сплавов. Исследования областей применения композиционного материала SiC–Al₂O₃ целесообразно продолжить.

Yu. A. Vodakov, E. N. Mokhov // Ceramics International. — 1997. — № 23. — P. 409–411.

5. **Бердиков, В. Ф.** Сравнительная оценка некоторых физико-механических свойств шлифовальных материалов / В. Ф. Бердиков, О. И. Пушкарёв, Л. Д. Леонидов // Абразивы. — 1981. — № 8. — С. 11–14.
6. **Пушкарёв, О. И.** Прогнозирование работоспособности шлифматериалов по результатам микромеханических испытаний их зерен / О. И. Пушкарёв, В. М. Шумячер // Станки и инструменты. — 2006. — № 3. — С. 14–17. ■

Получено 17.10.13

© А. П. Гаршин, В. М. Шумячер, О. И. Пушкарёв, 2014 г.

Д. т. н. **Б. Л. Красный**¹, к. т. н. **В. П. Тарасовский**^{1, 3} (✉), к. т. н. **Ю. М. Мосин**²,
к. т. н. **А. Б. Красный**¹, к. т. н. **А. Ю. Омаров**³

¹ ЗАО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка Московской обл., Россия

² ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»,
Москва, Россия

³ ФГБОУ ВПО «Московский государственный индустриальный университет»,
Москва, Россия

УДК 666.762.11-127

ПОРИСТАЯ ПРОНИЦАЕМАЯ КОРУНДОВАЯ КЕРАМИКА ИЗ ПОРОШКОВ ГИДРОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ. Часть 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК

Приведены результаты получения и свойства пористой проницаемой керамики с высокими значениями открытой пористости и прочности из порошков гидроксида алюминия различных марок. Исследованию свойств таких порошков посвящена часть 1 настоящей статьи.

Ключевые слова: пористая корундовая керамика, порошки гидроксида алюминия, гиббсит, байерит, бёмит.

ВВЕДЕНИЕ

Изделия из пористой проницаемой керамики обладают рядом преимуществ по сравнению с такими же изделиями из пористых металлов, стекла и пластмасс. Они имеют более высокие значения прочности, устойчивы в кислотах и щелочах, расплавах черных и цветных металлов, агрессивных шлаков, могут длительно эксплуатироваться при высоких температурах. Поэтому в последнее время изделия из такой керамики вызывают большой интерес у потребителя.

По областям применения изделия из пористой проницаемой керамики можно разделить на несколько групп: 1 группа — изделия, процесс эксплуатации которых характеризуется наличием избыточного давления газа или жидкости, которые проходят по поровым каналам, очищаются, гомогенизируются, разделяются, смешиваются. К этим изделиям относятся фильтрующие элементы для очистки воздуха от пыли, водяного и масляного тумана, а также воздуха и горячих агрессивных газов, например доменного и мартеновского, при температурах до 1000 °С [1]; фильтрующие элементы для очистки газов от аэрозолей, в том числе радиоактивных [2]; фильтрующие элементы

для очистки питьевой воды и сточных вод промышленных предприятий, растворов электролитов, пульп, солевых растворов, вина, молока, кислот, щелочей, расплавов черных и цветных металлов [3–5]; диспергаторы для мелкодисперсного распыления газов в жидких средах или расплавах, а также газообразных реагентов в химических реакторах с целью увеличения контактной поверхности [6]; 2 группа — изделия из капиллярно-пористых керамических материалов, работа которых основана на использовании капиллярного давления, возникающего на границе раздела жидкость — газ. К таким изделиям относятся испарители, конденсаторы, фитили тепловых труб, капиллярные насосы, гидравлические затворы и др. [7]; 3 группа — изделия из пористых керамических материалов со специальными свойствами, для которых в процессе эксплуатации характерно взаимодействие поверхности пор с фазой, заранее введенной или пропускаемой по поровым каналам, что интенсифицирует физические и химические процессы. К таким изделиям относятся мембраны для электродов сравнения, заменители костной ткани и др. [8].

Традиционные методы изготовления пористой проницаемой корундовой керамики, такие как частичное спекание (твердофазовое) узкофракционированных порошков глинозема, жидкофазовое спекание узкофракционных порошков (с использованием легкоплавких технологических связок), с использованием порошков из материалов с некубической структурой



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

и с различающимися ТКЛР в направлении главных кристаллографических осей, с использованием различных порообразователей, не позволяют получать пористые проницаемые материалы с высокими (>40 %) значениями открытой пористости [9]. Показано [10, 11], что введение в состав порошка оксида алюминия добавок порошка гидроксида алюминия позволяет получать пористые керамические материалы со значениями пористости до 50 %, однако прочность этих материалов достаточно низкая.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы — получение пористой проницаемой керамики с высокими значениями открытой пористости и прочности из порошка гидроксида алюминия и исследование ее свойств. Для достижения этой цели предложено использовать порошки гидроксида алюминия различных марок (имеющих различную морфологию, фазовый и гранулометрический составы). Исследованию свойств таких порошков посвящена часть 1 этой работы. Используются следующие порошки:

— гидроксид алюминия марки ГД-12 (производства ОАО «Бокситогорский глинозем», ТУ 1711-001-00658716–99, получен при разложении алюминатных растворов методом карбонизации в производстве глинозема);

— гидроксид алюминия марки НПК-1 (гидрат оксида алюминия мелкодисперсный квалификации ч. д. а. производства Донецкого завода химических реактивов);

— гидроксид алюминия марки НПК-2 (гидроксид алюминия марки ТГА производства Ачинского глиноземного завода);

— гидроксид алюминия марки АРУРАЛ 4 (плотность 2,4 г/см³, удельная поверхность 0,7 м²/г, производства фирмы «Nabaltec AG», Германия);

— гидроксид алюминия марки АРУРАЛ АОН 180Е (плотность 3,0 г/см³, удельная поверхность 17 м²/г, производства фирмы «Nabaltec AG», Германия).

Гидроксиды всех используемых марок являются мелкокристаллическими порошками белого цвета. По данным производителей, материал ГД-12 содержит 99,7 мас. % Al(OH)₃ + 0,3 мас. % Na₂O, материал НПК-1 — 99,4 мас. % Al(OH)₃ + 0,6 мас. % Na₂O, материал НПК-2 — 99,3 мас. % Al(OH)₃ + 0,7 мас. % Na₂O, материал АРУРАЛ 4 — 99,7 мас. % Al(OH)₃ + 0,3 мас. % Na₂O, материал АРУРАЛ АОН 180Е — 99,7 мас. % AlOOH + 0,3 мас. % Na₂O. Все используемые в работе материалы являются химически чистыми.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование фазового состава порошков проводили на дифрактометре BRUKER D8 ADVANCE фирмы «Bruker», Германия; морфологию исходных порошков изучали с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6490 LV фирмы JEOL, Япония; гранулометрический состав порошков определяли на лазерном анализаторе частиц «Analysette 22» фирмы «Fritsch», Германия; удельную поверхность исходных материалов измеряли на приборе ASAP 2020 фирмы «Micromeritics Instrument Corp.», США (метод низкотемпературной адсорбции азота); термический анализ образцов порошков проводили на приборе «Derivatograph Q-1500D» системы Паулик – Паулик – Эрдей фирмы MOM, Венгрия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным рентгенофазового анализа, гидроксид алюминия марки ГД-12 содержит одну фазу гидроксида алюминия Al(OH)₃ с модификацией гиббсита с параметрами моноклинной элементарной ячейки $a = 0,86735$ нм, $b = 0,507259$ нм, $c = 0,97268$ нм, $\beta = 94,552^\circ$. Образец НПК-1 представляет собой смесь двух модификаций гидроксида алюминия Al(OH)₃: гиббсита с параметрами моноклинной элементарной ячейки $a = 0,86831$ нм, $b = 0,50743$ нм, $c = 0,97175$ нм, $\beta = 94,428^\circ$ и байерита с параметрами моноклинной элементарной ячейки $a = 0,5058$ нм, $b = 0,8698$ нм, $c = 0,47419$ нм, $\beta = 90,60^\circ$. По данным количественного рентгенофазового анализа методом Ритвельда, в образце содержится 78,0 мас. % гиббсита и 22,0 мас. % байерита.

Образцы НПК-2 и АРУРАЛ 4 содержат одну фазу гидроксида алюминия Al(OH)₃ с модификацией гиббсита, а образец АРУРАЛ АОН 180Е — одну фазу оксигидроксида алюминия AlO(OH) с модификацией бёмита. На рентгенограммах образцов НПК-2 и АРУРАЛ АОН 180Е зафиксированы достаточно высокие фоны, которые обусловлены большим количеством в них аморфной фазы (особенно в образце НПК-2). Содержание аморфной фазы в образцах ГД-12, НПК-1 и АРУРАЛ 4, напротив, не столь велико.

По данным сканирующей электронной микроскопии, образец ГД-12 состоит из агломератов изотропной формы (близкой к сферической), представляющих собой сростки кристаллов (рис. 1, а). По электронно-микроскопическим изображениям были оценены средний размер агломератов (~52 мкм) и сред-

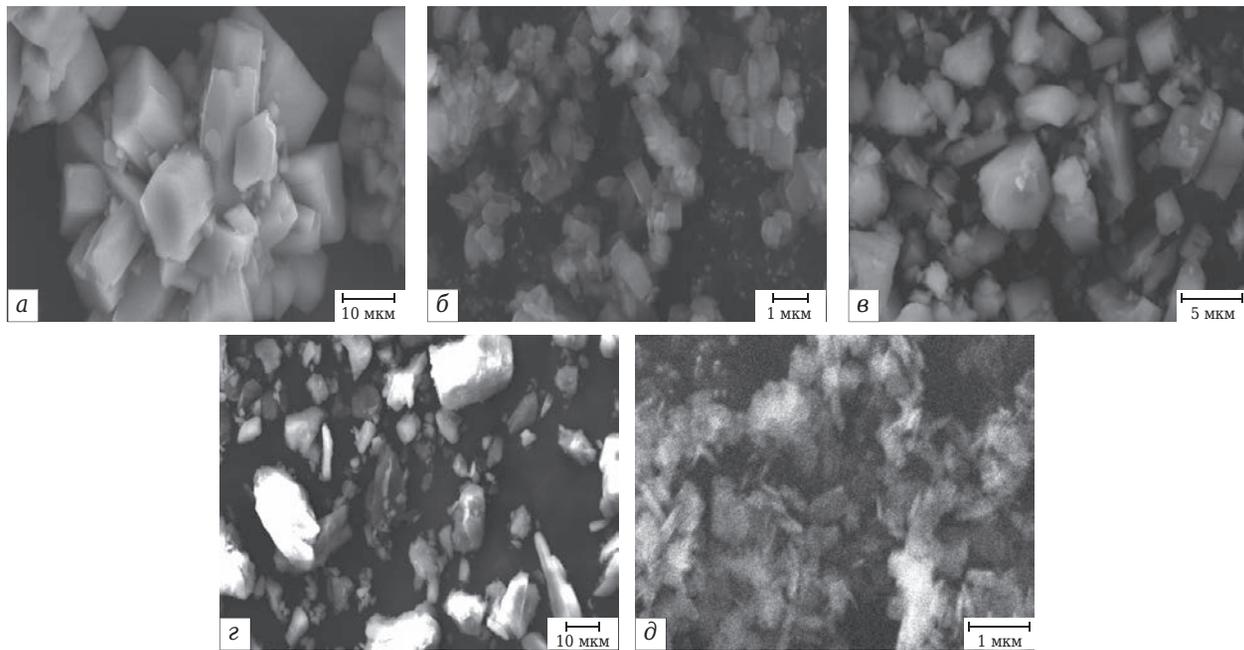


Рис. 1. Морфология частиц порошка гидроксида алюминия: *a* — ГД-12; *б* — НПК-1; *в* — НПК-2; *г* — APYRAL 4; *д* — APYRAL AOH 180E

ний размер кристаллов в агломератах (~12 мкм). Распределение кристаллов в агломератах по размерам в образце ГД-12 практически равномерное в интервале 5–20 мкм. Образец НПК-1 состоит из хорошо ограненных кристаллов субмикронного размера и больших по размеру агломератов изотропной формы (рис. 1, б). Форма субмикронных кристаллов идентична форме кристаллов в образце ГД-12 (см. рис. 1, а), из чего можно сделать предположение, что эти кристаллы соответствуют модификации гиббсита, а агломераты представляют собой модификацию байерита. В структуре агломератов в образце НПК-1 трудно выделить отдельные хорошо ограненные кристаллы, в отличие от агломератов в образце ГД-12. По электронно-микроскопическим изображениям были оценены средний размер агломератов (~12 мкм) и средний размер кристаллов в агломератах (~406 нм). Образец НПК-1 имеет мономодальное распределение агломератов по размерам в интервале 5–30 мкм. Распределение кристаллов по размерам в образце НПК-1 мономодальное в интервале 100–800 нм. Образец НПК-2 состоит из кристаллов и больших по размеру агломератов неизометричной формы (рис. 1, в). Образец APYRAL 4 состоит из кристаллов неизометричной формы, похожих на кристаллы гидроксида алюминия марки НПК-2 (рис. 1, г). Образец APYRAL AOH 180E состоит из игольчатых кристаллов неизометричной формы субмикронного размера (рис. 1, д).

Гранулометрический состав порошков гидроксидов показан на рис. 2. Результаты определения среднего диаметра и удельной поверхности порошков гидроксида алюминия различных марок представлены в табл. 1. Результаты исследований гранулометрического состава порошков и данные по их удельной поверхности подтверждают выводы, сделанные на основании анализа результатов электронной микроскопии этих же порошков гидроксидов, — порошки имеют различные морфологию, размер и структуру.

Результаты термического анализа порошков гидроксидов показаны на рис. 3. Первый эндотермический эффект на термограмме материала ГД-12 наблюдается при 80–200 °С и практически не сопровождается потерей массы. Он связан с удалением физически связанной воды (рис. 3, а). Второй и третий эндотермические эффекты, наблюдаемые соответственно при 220–280 и 300–400 °С, сопровождаются значительной потерей массы и соответствуют переходу тригидратов оксида алюминия (гиббсита, байерита) в моногидрат (бёмит); переход, по-видимому, проходит в две стадии. Четвертый эндотермический эффект наблюдается при 530–670 °С и сопровождается потерей массы; он не такой значительный, как второй и третий. Этот эффект соответствует переходу бёмита в $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. На термограмме наблюдаются также эффекты в интервале 1010–1090 °С, которые могут быть связаны с переходами промежуточных фаз $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ и $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ в $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

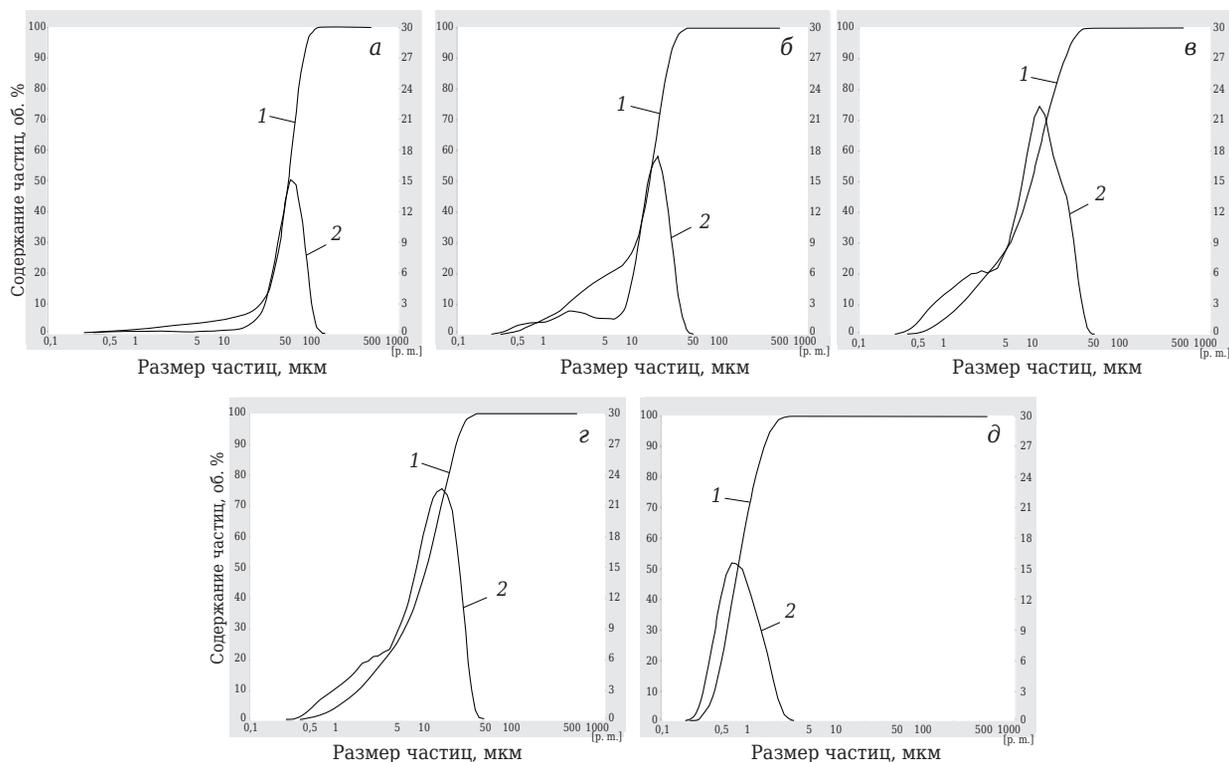


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в порошке гидроксида алюминия: а — ГД-12; б — НПК-1; в — НПК-2; г — APYRAL 4; д — APYRAL АОН 180E

Таблица 1. Средний диаметр $d_{ср}$ и удельная поверхность $S_{уд}$ частиц порошка гидроксида алюминия различных марок

Показатели	ГД-12	НПК-1	НПК-2	APYRAL 4	APYRAL АОН 180E
$d_{ср}^{*1}$, мкм	55,73	14,77	10,51	10,15	0,84
$S_{уд}^{*1}$, м ² /г	0,08	0,31	0,40	0,35	2,27
$S_{уд}^{*2}$ (БЭТ), м ² /г	221,37	210,06	173,32	37,04	26,49

*1 По данным лазерного анализатора частиц.
*2 Определена методом адсорбции азота.

На термограмме материала НПК-1 наблюдается эндотермический эффект при 90–180 °С, практически не сопровождающийся потерей массы, который связан с удалением физически связанной воды (рис. 3, б). Второй и третий эндотермические эффекты, наблюдаемые соответственно при 245–280 и 300–420 °С, сопровождаются значительной потерей массы и соответствуют переходу тригидратов оксида алюминия (гиббсита, байерита) в бёмит; переход, по-видимому, проходит в две стадии. Четвертый эндотермический эффект наблюдается при 530–620 °С и сопровождается потерей массы; он не такой значительной, как второй и третий. Этот эффект соответствует переходу бёмита в γ -Al₂O₃.

Первый эндотермический эффект на термограмме гидроксида алюминия марки НПК-2, наблюдаемый при 240–300 °С и сопровожда-

ющийся потерей массы, соответствует переходу тригидрата оксида алюминия в моногидрат (рис. 3, в). При этом величина этого теплового эффекта значительно меньше, чем на термограммах порошков гидроксидов ГД-12, НПК-1 и APYRAL 4. Потеря массы в этом интервале также незначительная. На термограмме не наблюдается второго эффекта, соответствующего переходу бёмита в γ -Al₂O₃. Отличие термограммы порошка гидроксида алюминия марки НПК-2 от термограмм порошков гидроксидов алюминия марок ГД-12, НПК-1 и APYRAL 4 можно объяснить присутствием большого количества аморфной фазы в этом материале.

На термограмме порошка гидроксида алюминия марки APYRAL 4 первый эндотермический эффект наблюдается при 240–320 °С (рис. 3, г). Этот эффект сопровождается значительной потерей массы и связан с перехо-

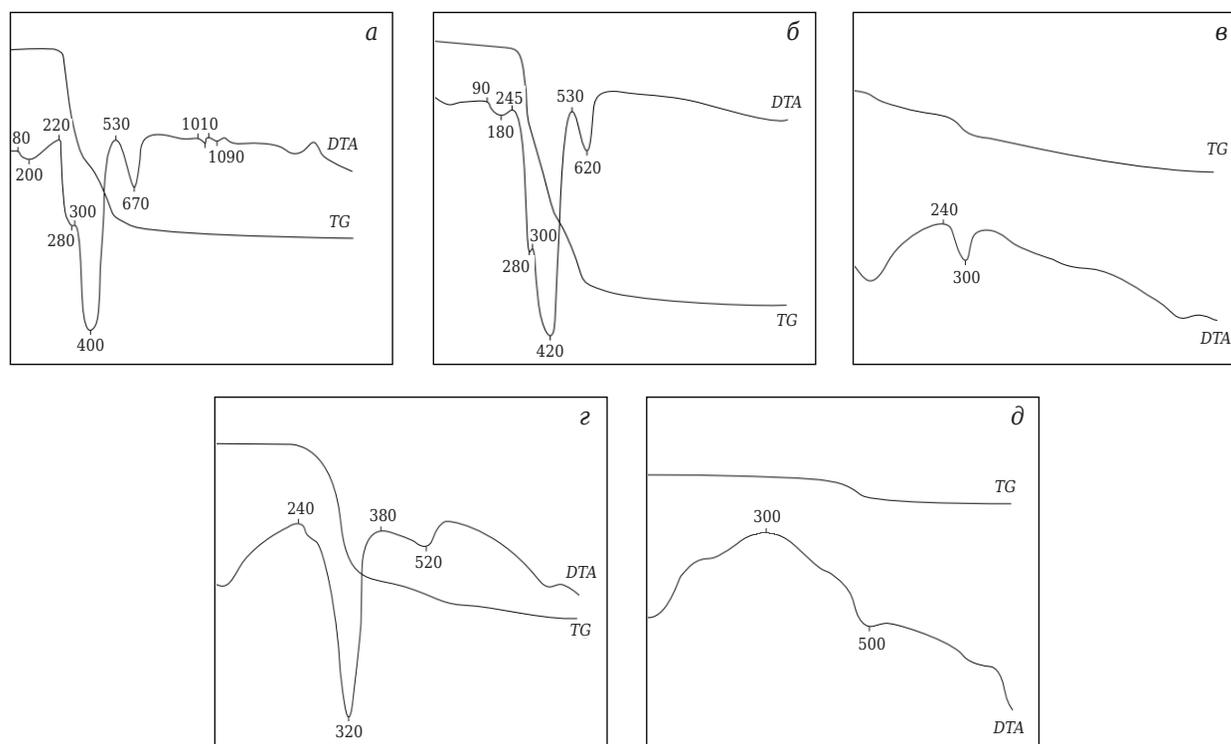


Рис. 3. Термограммы порошка гидроксида: а — ГД-12; б — НПК-1; в — НПК-2; г — APYRAL 4; д — APYRAL AOH 180E; цифры на кривых — температура, °С

Таблица 2. Характеристика порошков гидроксида алюминия различных марок

Показатели	ГД-12	НПК-1	НПК-2	APYRAL 4	APYRAL AOH 180E
Фазовый состав	Гиббсит	78 мас. % гиббсита + 22 мас. % байерита	Гиббсит + значительное количество аморфной фазы	Гиббсит	Бёмит + значительное количество аморфной фазы
Форма агломератов	Изотропная, близкая к сферической, сростки кристаллов	Изотропная, близкая к сферической	—	—	—
Размер агломератов, мкм	52,0	12,0	—	—	—
Форма кристаллов	Хорошо ограниченная		Неправильная		Игольчатая
Размер кристаллов, мкм	12,0	0,5	5,0	8,0	0,1
Температура процесса при нагревании, °С:					
$Al(OH)_3 \cdot 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 \cdot 3H_2O$	245–420	245–280	240–300	240–320	—
$Al(OH)_3 \cdot H_2O \rightarrow \gamma-Al_2O_3$	530–670	530–620	—	380–520	300–500
$\gamma-Al_2O_3 \rightarrow \alpha-Al_2O_3$	1300–1380	—	—	—	—

дом тригидрата оксида алюминия (гиббсита) в бёмит. Второй эндотермический эффект наблюдается при 380–520 °С и сопровождается небольшой потерей массы. Он соответствует переходу бёмита в $\gamma-Al_2O_3$. Для порошка гидроксида алюминия марки APYRAL AOH 180E при 300–500 °С на термограмме наблюдается пик, который сопровождается небольшой потерей массы и связан с удалением воды при переходе бёмита в $\gamma-Al_2O_3$ (рис. 3, д).

Таким образом, выбранные для исследования гидроксиды алюминия различаются как по

морфологии, так и по фазовому и гранулометрическому составам. В табл. 2 представлена обобщенная характеристика порошков гидроксида алюминия, выбранных для исследования.

В связи с тем что порошки гидроксида алюминия, выбранные для исследования, имеют различные состав и свойства, можно предположить, что при изготовлении керамики (после спекания) получатся керамические материалы с различными характеристиками (различными значениями пористости). Известно, что изменение пористости и плотности материалов в

Таблица 3. Объемные эффекты реакций порошков гидроксидов различных марок при их превращении в оксид алюминия*

Материал	Содержание кристаллической фазы, мас. %			$\Delta m, \%$	$\delta, \%$
	гиббсит ($\rho = 2,42 \text{ г/см}^3$)	байерит ($\rho = 2,53 \text{ г/см}^3$)	бёмит ($\rho = 3,04 \text{ г/см}^3$)		
ГД-12	100	–	–	–0,3465	–60,36
НПК-1	78	22	–	–0,3465	–59,98
НПК-2	100	–	–	–0,3465	–60,36
APYRAL 4	100	–	–	–0,3465	–60,36
APYRAL АОН 180Е	–	–	100	–0,1502	–35,25

* Δm — изменение массы; δ — объемный эффект реакции.

процессе обжига может быть связано не только со спеканием отдельных частиц шихты, но и с химическими реакциями компонентов этой шихты. В статье [12] предложена методика оценки объемных изменений отформованного образца, происходящих в результате химических реакций, и расчета значений конечной пористости образцов. Критерием, позволяющим оценивать реакции с точки зрения возможных объемных изменений, является объемный эффект реакции.

При нагревании тригидраты оксида алюминия (гиббсит, байерит) переходят в бёмит, который при дальнейшем нагревании переходит в оксид алюминия. Исходя из предположения, что все используемые в работе материалы состоят только из кристаллической фазы, были рассчитаны объемные эффекты, которые будут иметь место при высокотемпературном обжиге образцов из порошков гидроксидов алюминия различных марок (табл. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Порошки, выбранные для исследования, имеют различные фазовый и гранулометрический со-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Красный, Б. Л.** Керамические фильтры — реальные возможности для эффективного пылеудаления из горячих отходящих газов / *Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Ю. Вальдберг* // Новые огнеупоры. — 2005. — № 2. — С. 33–37.
2. **Красный, Б. Л.** Применение керамических материалов для решения экологических проблем / *Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный* // Безопасность окружающей среды. — 2008. — № 1. — С. 90–92.
3. **Красный, Б. Л.** Фильтрующие элементы из высококачественного кварцевого стекла для проточных аппаратов обогащения кремнеземсодержащего сырья /

ставы, морфологию и структуру. Расчеты показывают, что реакция разложения гидроксида алюминия до оксида алюминия при нагревании сопровождается отрицательным объемным эффектом — происходят разрыхление структуры и увеличение пористости заготовки. Объемный эффект реакции для моногидрата оксида алюминия меньше, чем для тригидрата, в связи с чем можно ожидать более низкое значение пористости для образцов из гидроксида марки APYRAL АОН 180Е по сравнению с образцами из гидроксидов других марок.

Результаты, касающиеся получения и исследования свойств пористых керамических материалов из порошков гидроксида алюминия различных марок, будут представлены в части 2 статьи.

* * *

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта № 16.552.11.7082 и на оборудовании ЦКП «Научное оборудование в машиностроении».

4. **Красный, Б. Л.** Разработка пористого проницаемого керамического материала и технологии фильтрующих элементов для свечевых фильтровальных аппаратов / *Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный* // Новые огнеупоры. — 2009. — № 1. — С. 23–27.
5. **Красный, Б. Л.** Разработка керамического материала и технологии фильтрующих элементов для дисковых вакуумных фильтровальных установок, *Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, Т. С. Маринина, А. И. Гоптарь* // Стекло и керамика. — 2006. — № 11. — С. 5, 6.
6. **Красный, Б. Л.** Разработка пористого проницаемого керамического материала и технологии фильтрующих элементов для свечевых фильтровальных аппаратов / *Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный* // Новые огнеупоры. — 2009. — № 1. — С. 23–27.
7. **Красный, Б. Л.** Development of porous permeable ceramic material and filtering element technology for candle-shaped filter equipment / *Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный* // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 1. — P. 22–25.

применяемых при обезвоживании концентратов руд черных и цветных металлов / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный // Новые огнеупоры. — 2009. — № 3. — С. 24–28.

Krasnyi, B. L. Development of ceramic material and filtering element technology for disk vacuum filtering units used in dewatering ferrous and nonferrous metal ore concentrates / B. L. Krasnyi, V. P. Tarasovskii, A. B. Krasnyi // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 2. — P. 107–111.

6. **Красный, Б. Л.** Пористая проницаемая керамика для мелкопузырчатых систем аэрации сточных вод в аэротенках / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный, А. М. Усс // Новые огнеупоры. — 2010. — № 10. — С. 7–12.

Krasnyi, B. L. Porous permeable ceramic for fine bubble waste water aeration systems in aeration tanks / B. L. Krasnyi, V. P. Tarasovskii, A. B. Krasnyi, A. M. Uss // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 51, № 5. — P. 322–327.

7. **Пат. 54-95611, Япония.** Пористая керамика в качестве фитиля для нефти / Цунедзи Нитта, Хиромицу Токи ; опубл. 12.01.97.

8. **Поляков, С. А.** Керамическая диафрагма для электролизных процессов / С. А. Поляков, С. А. Вель-

можин // Стекло и керамика. — 1989. — № 11. — С. 23, 24.

9. **Красный, Б. Л.** Влияние температуры обжига на спекание и физико-технические характеристики пористой проницаемой керамики на алюмосиликатной связке / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный, Я. Г. Матыцин // Техника и технология силикатов. — 2012. — № 1. — С. 11–14.

10. **Deng, Z.** High-Surface-Area alumina ceramics fabricated by the decomposition of $Al(OH)_3$ / Z. Deng, T. Fukasawa, M. Ando // J. Amer. Ceram. Soc. — 2001. — Vol. 3, № 84. — P. 485–491.

11. **Пат. 6565825 США, МПК В 2.** Porous alumina fabrication procedures / Ohji T., Deng Z. ; заявитель и патентообладатель Ohji T., Deng Z. — № 07/748019 ; заявл. 27.12.00 ; опубл. 20.05.03.

12. **Гузман, И. Я.** Реакционное спекание и его использование в технологии огнеупоров / Я. И. Гузман. — М. : РХТУ, 1996. — 56 с. ■

Получено 04.02.13

© Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, Ю. М. Мосин, А. Б. Красный, А. Ю. Омаров, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ТЕРМООБРАБОТКА

Восьмая международная специализированная выставка

Единственная в России
выставка термического
оборудования и технологий

9 - 11 сентября 2014

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

9-10
сентября

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМООБРАБОТКИ»

Разделы выставки:

- ▶ новый раздел Внепечная местная и объёмная термообработка
- ▶ Промышленные печи: муфельные, вакуумные, плавильные, шахтные, камерные, электропечи
- ▶ Индукционный нагрев: генераторы индукционных токов, индукционные плавильные печи
- ▶ Оборудование для химико-термической обработки: азотирования, цементации и т.д.
- ▶ Размерная и поверхностная обработка: формообразование, напыление
- ▶ Лабораторные печи, сушильные шкафы
- ▶ Оснастка для термического оборудования
- ▶ Системы нагрева и газоснабжения, горелки, электронагревательные элементы
- ▶ Неразрушающий контроль, испытательное оборудование, измерительные системы
- ▶ Автоматизация термообработки, системы управления и регулирования
- ▶ Энергосберегающие технологии термических производств
- ▶ Диагностика, реконструкция и модернизация оборудования
- ▶ Закалочное оборудование, масла и среды



новый раздел **Футеровка печей:** огнеупоры, теплоизоляция, клеи, футеровочные работы

Информационная поддержка:


















Организатор:  ООО «Выставочная компания «Мир-Экспо» | Россия, 115533, Москва, проспект Андропова, 22
Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83
E-mail: info@htexporus.ru | Сайт: www.htexporus.ru | Твиттер: @htexpo_ru

Д. т. н. В. В. Кузин(✉), Д. т. н. С. Н. Григорьев, В. Н. Ермолин

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

УДК 621.778.1.073 : 666.3]:669.018.25

НЕОДНОРОДНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ КЕРАМИКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ. Часть 3. ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИЛОВОЙ НАГРУЗКИ*

Приведены результаты комплексного изучения неоднородности напряжений в поверхностном слое керамики. Исследовано напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя керамики на основе диоксида циркония под действием распределенной силовой нагрузки. Выявлена высокая неоднородность напряжений в структурных элементах керамики. Отмечена необходимость учета неоднородности напряжений при описании механизма износа и разрушения, а также при проектировании изделий из этой керамики для заданных условий эксплуатации.

Ключевые слова: керамика, неоднородность, напряженно-деформированное состояние, поверхностный слой, моделирование, диоксид циркония, проектирование.

ВВЕДЕНИЕ

Физико-химические процессы, протекающие в поверхностных слоях структурно-неоднородных материалов, привлекают особое внимание исследователей [1, 2]. Этот интерес связан как с фундаментальной наукой, так и с многочисленными инженерно-техническими приложениями. Прежде всего, результаты этих исследований важны для физики твердого тела в части понимания поведения сложных систем, состоящих из большого числа взаимодействующих элементов, каждый из которых характеризуется уникальным сочетанием свойств [3]. Расширение и углубление этих знаний позволит создавать керамические материалы со специальными поверхностными свойствами и прогнозировать ресурс изделий из этих материалов при эксплуатации [4]. Перечень других примеров прикладной значимости этих исследований нетрудно продолжить [5–8].

Изучение состояния границ зерен в поверхностном слое керамики имеет приоритетное значение, так как они являются своеобразной самостоятельной фазой, характеризующейся нанометрическими параметрами. Их особенное строение и многочисленные физико-химические

процессы, протекающие в очень локализованных областях материала под действием внешней нагрузки, существенно влияют на свойства и поведение керамики. В частности, крайне отрицательным последствием формирования высоких локальных напряжений на границах зерен является зарождение эксплуатационных дефектов, накопление которых приводит к микроразрушению поверхности керамики [9, 10].

Для уменьшения роли этой негативной связи необходимо знать закономерности влияния разных внешних нагрузок на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя керамики. Влияние сложного механического и теплового нагружения на неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики из диоксида циркония приведено в публикациях [11–13]. Цель настоящей работы — оценить неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики из диоксида циркония под действием распределенной силовой нагрузки. Влияние совместного силового и теплового нагружения также изучено; результаты этих исследований будут приведены в следующей статье.

* Части 1 и 2 статьи опубликованы в журнале «Новые огнеупоры» № 10 и 12 за 2013 г.

✉
В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Решение сформулированной задачи базировалось на численном моделировании деформационных процессов с использованием комплекса моделей [14, 15]. Методика выполнения этих экспериментов подробно описана в части 1 этой

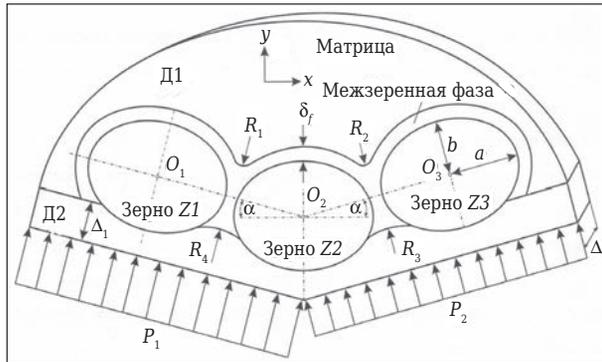


Рис. 1. Расчетная схема

работы [11]. Поэтому ниже отмечены только наиболее важные положения этой методики.

Расчетная схема представлена в виде конструкции, состоящей из фрагментов деталей Д1 и Д2, выполненных из керамики и меди соответственно (рис. 1). Фрагмент детали Д1 состоит из трех зерен Z1, Z2 и Z3 эллипсной формы, которые заделаны в матрицу через межзеренную фазу. На внешней стороне зерен, межзеренной фазы и матрицы расположен фрагмент детали Д2. Зерна и матрица детали Д1 выполнены из ZrO_2 (плотность $\rho = 5,68 \text{ г/см}^3$, модуль упругости $E = 180 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,2$), межзеренная фаза — из MgO ($\rho = 3,4 \text{ г/см}^3$, $E = 315 \text{ ГПа}$, $\mu = 0,18$), деталь Д2 — из меди ($\rho = 8,9 \text{ г/см}^3$, $E = 110 \text{ ГПа}$, $\mu = 0,37$). К свободной поверхности фрагмента детали Д2 прикладывали распределенные силы P_1 и P_2 , определенное сочетание которых считали силовым комплексом. Каждый комплекс характеризуется фиксированными значениями распределенной силы (см. таблицу). Эту «нагруженную» конструкцию было принято называть «керамика системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$ ».

Для анализа результатов численных экспериментов использовали контрольные точки (КТ), расположенные в поверхностных слоях зерен Z1 (КТ1–КТ25), Z2 (КТ26–КТ51), Z3 (КТ52–КТ76) и межзеренной фазы, примыкающих к зернам (КТ77–КТ137) и к матрице (КТ138–КТ182), а также в поверхностном слое матрицы, примыкающем к межзеренной фазе (КТ183–КТ221) [11]. Коэффициент неоднородности напряжений $K_\Delta = \sigma_{\text{imax}} / \sigma_{\text{imin}}$ определяли на всех выделенных поверхностях структурных элементов керамики.

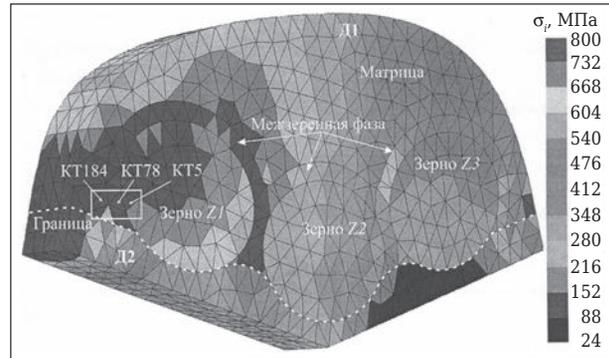


Рис. 2. Схема напряженно-деформированного состояния структурных элементов керамики системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$ под действием силового комплекса № 3

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 2 показан пример графического отображения поля интенсивности напряжений σ_i в поверхностном слое керамики системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$ под действием распределенной силовой нагрузки. Видно, что общее напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя керамики характеризуется высокой неоднородностью. Наибольшие напряжения формируются в зерне Z1, в межзеренной фазе и матрице около него. Наименьшие локальные напряжения формируются в зерне Z3 и вокруг него. Значения интенсивности напряжений σ_i изменяются от 200 до 800 МПа под действием силового комплекса № 3 (см. таблицу).

Более детальное исследование локальных напряжений выполнили с использованием метода КТ. Последовательно проанализируем результаты выполненных численных экспериментов в отношении структурных элементов керамики системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$.

Характер изменения локальных напряжений в поверхностном слое зерна Z1 под действием распределенных силовых нагрузок имеет достаточно простой вид (рис. 3, а). Зафиксировано последовательное увеличение σ_i от КТ1 до КТ5 и уменьшение σ_i от КТ5 до КТ20. В интервале КТ21–КТ25 значение σ_i практически не изменяется. Наибольшая интенсивность напряжений σ_i выявлена в КТ5 поверхностного слоя зерна Z1.

Увеличение значений распределенной силовой нагрузки приводит к повышению значе-

Сочетание нагрузок в силовых комплексах, Н

Нагрузка	Номер силового комплекса		
	1	2	3
P_1	0,01	0,02	0,04
P_2	0,005	0,01	0,02

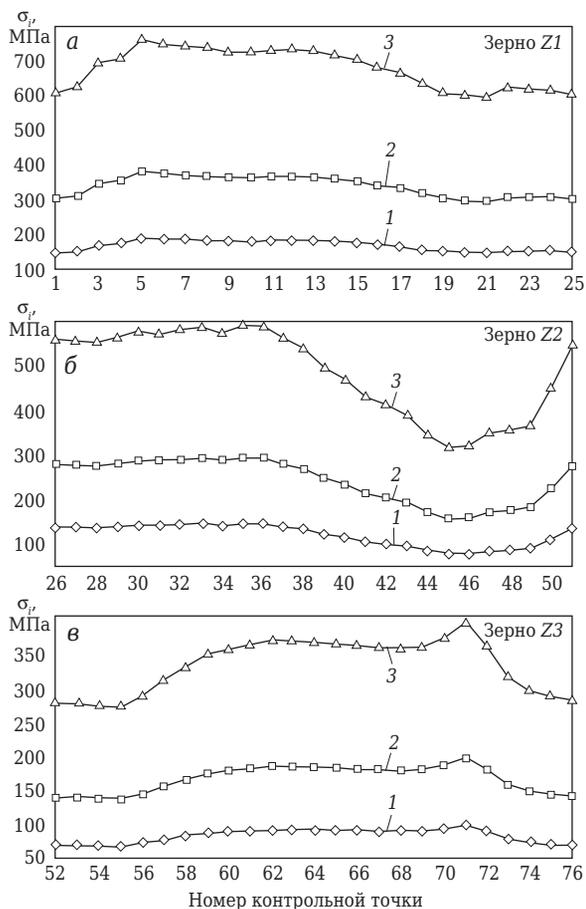


Рис. 3. Влияние распределенной силовой нагрузки на интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностного слоя зерен Z1 (а), Z2 (б) и Z3 (в) в керамике системы ZrO_2 -MgO-ZrO₂-Cu. Номера силовых комплексов указаны на кривых

ний σ_i во всех КТ поверхностного слоя зерна Z1. Например, под действием силового комплекса № 1 σ_i изменяется в диапазоне 150–191 МПа, при нагрузке № 2 — в диапазоне 300–384 МПа, при нагрузке № 3 — в диапазоне 600–767 МПа. Напряженное состояние поверхностного слоя зерна Z1 характеризуется коэффициентом неоднородности $K_\Delta = 1,28$.

Характер изменения локальных напряжений в поверхностном слое зерна Z2 керамики системы ZrO_2 -MgO-ZrO₂-Cu под действием распределенных силовых нагрузок имеет более сложный вид по сравнению с первым зерном (рис. 3, б). На первом участке всех кривых (от КТ26 до КТ35) значение σ_i практически не изменяется. На втором участке (от КТ35 до КТ45) зафиксировано уменьшение σ_i , причем этому участку соответствует часть поверхности зерна Z2, наиболее удаленная от детали Д2. На третьем участке (от КТ45 до КТ52) выявлено увеличение значений σ_i .

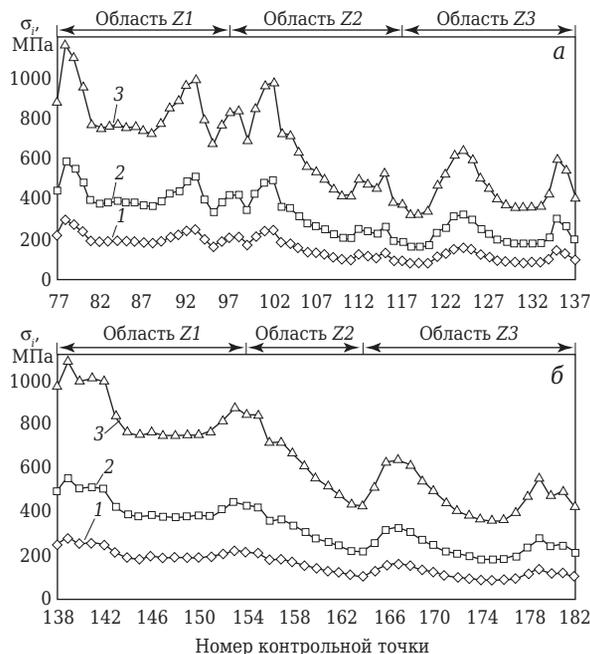


Рис. 4. Влияние распределенной силовой нагрузки на интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностного слоя межзеренной фазы, примыкающего к зернам (а) и матрице (б), в керамике системы ZrO_2 -MgO-ZrO₂-Cu. Номера силовых комплексов указаны на кривых

Наибольшее значение σ_i формируется в КТ35 поверхностного слоя зерна Z2. Под действием силового комплекса № 1 диапазон изменения σ_i составляет 79–148 МПа, под действием комплекса № 2 158–296 МПа, комплекса № 3 317–592 МПа. Напряженное состояние поверхностного слоя зерна Z2 характеризуется $K_\Delta = 1,87$.

Характер изменения σ_i в поверхностном слое зерна Z3 керамики системы ZrO_2 -MgO-ZrO₂-Cu под действием распределенных нагрузок показан на рис. 3, в. Видно, что эти кривые в определенной степени «зеркально» отражают график для зерна Z1. Наибольшее значение σ_i формируется в КТ71 поверхностного слоя зерна Z3 под действием распределенных силовых нагрузок. Под действием силового комплекса № 1 диапазон изменения σ_i составляет 68–99 МПа, под действием комплекса № 2 137–108 МПа, комплекса № 3 274–396 МПа. Напряженное состояние поверхностного слоя зерна Z3 характеризуется $K_\Delta = 1,45$.

Сравнение локальных напряжений в поверхностном слое трех зерен показало, что под действием распределенной силовой нагрузки в поверхностных слоях зерен Z1, Z2 и Z3 формируется напряженное состояние, отличающееся как по величине, так и по неоднородности. Наибольшие значения K_Δ в поверхностном слое

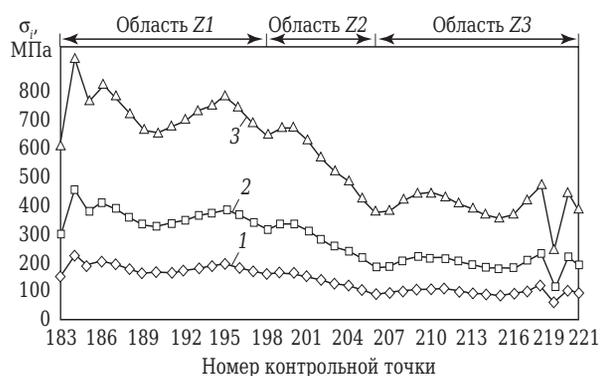


Рис. 5. Влияние распределенной силовой нагрузки на интенсивность напряжений σ_i в КТ поверхностного слоя матрицы, прилегающего к межзеренной фазе керамики системы $ZrO_2-MgO-ZrO_2-Cu$. Номера силовых комплексов указаны на кривых

характерны для зерна Z2, наименьшие — для зерна Z1.

Характер влияния распределенной силовой нагрузки на локальные напряжения в поверхностных слоях межзеренной фазы, примыкающих к трем зернам Z1, Z2 и Z3 и матрице, показан на рис. 4. Видно, что все кривые имеют значительно более сложную форму по сравнению с напряжениями в поверхностном слое зерен. Этот факт проявляется главным образом за счет появления на кривых пиков и впадин.

Характер влияния распределенных силовых нагрузок на локальные напряжения в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающем к зернам, имеет убывающий тренд от КТ77 к КТ137 (см. рис. 4, а). Наибольшая σ_i зафиксирована в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающем к зерну Z1, а наименьшая — к зерну Z3. Область Z2 является переходным «мостиком» между областями с наибольшими и наименьшими напряжениями.

Значения σ_i в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающем к зернам, изменяются от 90 до 274 МПа под действием силового комплекса № 1, от 180 до 548 МПа под действием комплекса № 2 и от 360 до 1100 МПа под действием комплекса № 3. Наибольшие значения σ_i зафиксированы в КТ78 и КТ93, причем локальные напряжения в этих КТ значительно выше, чем в соседних КТ. Напряженное состояние поверхностного слоя межзеренной фазы, примыкающего к зерну, характеризуется $K_\Delta = 3,04$.

Кривая, характеризующая влияние распределенной силовой нагрузки на напряжения в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающем к матрице, также имеет тренд к уменьшению (см. рис. 4, б). Значения σ_i в поверхностном слое межзеренной фазы, при-

мыкающем к матрице, изменяются от 109 до 292 МПа под действием силового комплекса № 1, от 211 до 561 МПа под действием комплекса № 2 и от 414 до 1102 МПа под действием комплекса № 3. Наибольшие значения σ_i выявлены в КТ78 и КТ93. Напряженное состояние в поверхностном слое межзеренной фазы, примыкающем к матрице, характеризуется $K_\Delta = 2,66$.

На рис. 5 показано влияние распределенной силовой нагрузки на σ_i в поверхностном слое матрицы, примыкающем к межзеренной фазе. Наибольшие значения σ_i формируются в области зерна Z1, наименьшие — в области зерна Z3. Значения σ_i в КТ поверхностного слоя матрицы под действием силового комплекса № 1 изменяются от 60 до 230 МПа, под действием комплекса № 2 — от 120 до 457 МПа, комплекса № 3 — от 240 до 915 МПа. Наибольшие значения σ_i достигаются в КТ184. Напряженное состояние в поверхностном слое матрицы, примыкающем к межзеренной фазе, характеризуется $K_\Delta = 3,81$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты численных экспериментов, можно отметить, что напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя керамики на основе диоксида циркония под действием распределенной силовой нагрузки характеризуется высокой неоднородностью. Наибольшие локальные напряжения под действием комплекса тепловых потоков формируются в межзеренной фазе, наименьшие — в зернах. Локальные напряжения, возникающие в поверхностном слое зерна Z1, превышают напряжения, сформировавшиеся в поверхностных слоях зерен Z2 и Z3 на 30 и 90 % соответственно. Увеличение распределенной силовой нагрузки приводит к линейному повышению значений σ_i во всех КТ поверхностного слоя зерен, межзеренной фазы и матрицы.

Напряженно-деформированное состояние поверхностных слоев структурных элементов керамики на основе диоксида циркония характеризуется повышенной неоднородностью, причем коэффициент неоднородности не зависит от значения распределенной силовой нагрузки. Коэффициент неоднородности K_Δ напряжений в поверхностном слое зерен Z1, Z2 и Z3 составляет 1,28, 1,87 и 1,45 соответственно. Коэффициент неоднородности напряжений в слоях межзеренной фазы, прилегающих к зернам и матрице, составляет 3,04 и 2,66 соответственно. Напряженное состояние слоя матрицы, примыкающего к межзеренной фазе, характеризуется $K_\Delta = 3,81$.

Результаты выполненных исследований позволяют отметить, что при описании механизма износа и разрушения керамических изделий, а также при их проектировании необходимо учитывать появление высоких локальных и неоднородных напряжений, формирующихся в их поверхностном слое под действием рас-

пределенной силовой нагрузки. Высокие локальные напряжения, формирующиеся в поверхностных слоях зерен, межзеренной фазы и матрицы в области зерна Z1, с высокой степенью вероятности могут привести к образованию структурных повреждений в керамике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Адамсон, А.** Физическая химия поверхностей / А. Адамсон — М. : Мир, 1979. — 568 с.
2. **Моррисон, С.** Химическая физика поверхности твердого тела / С. Моррисон. — М. : Мир, 1980. — 488 с.
3. **Ванин, Г. А.** Микромеханика композиционных материалов. — Киев : Наукова думка, 1985. — 301 с.
4. **Кузин, В. В.** Методологический подход к повышению работоспособности керамических инструментов / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2006. — № 9. — С. 87, 88.
5. **Викулин, В. В.** Перспективные керамические конструкционные материалы / В. В. Викулин, И. Ю. Келина, А. С. Шаталин, Л. Н. Русанова // Новые огнеупоры. — 2004. — № 10. — С. 9–12.
6. **Кузин, В. В.** Эффективное применение высокоплотной керамики для изготовления режущих и деформирующих инструментов / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2010. — № 12. — С. 13–19.
7. **Келина, И. Ю.** Ударопрочная керамика на основе карбида кремния / И. Ю. Келина, В. В. Ленский, Н. А. Голубева, Л. Н. Русанова // Огнеупоры и техническая керамика. — 2010. — № 1/2. — С. 17–24.
8. **Григорьев, С. Н.** Перспективы применения инструментов с керамическими режущими пластинами в современной металлообработке / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин // Стекло и керамика. — 2011. — № 8. — С. 17–22.
9. **Соколкин, Ю. В.** Механика деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел / Ю. В. Соколкин, А. А. Ташкинов. — М. : Наука, 1984. — 115 с.
10. **Кузин, В. В.** Особенности изнашивания и разрушения керамических режущих пластин / В. В. Кузин, В. Н. Аникин, С. Ю. Фёдоров, М. Ю. Фёдоров // Вестник машиностроения. — 2010. — № 11. — С. 50–56.
11. **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.
12. **Кузин, В. В.** Неоднородность напряжений в поверхностном слое керамики под действием внешней нагрузки. Часть 2. Влияние тепловой нагрузки / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, В. Н. Ермолин // Новые огнеупоры. — 2013. — № 12. — С. 35–39.
13. **Григорьев, С. Н.** Влияние силовых нагрузок на напряженно-деформированное состояние режущих пластин из оксидной керамики / С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, Д. Буртон, А. Батако // Вестник машиностроения. — 2012. — № 1. — С. 67–71.
14. **Кузин, В. В.** Микроструктурная модель керамической режущей пластины / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2011. — № 5. — С. 72–76.
15. **Кузин, В. В.** Модель эксплуатации волокна при изготовлении проволоки / В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, С. Ю. Фёдоров [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. — 2013. — № 2. — С. 24–28. ■

(Продолжение следует)

Получено 24.10.13

© В. В. Кузин, С. Н. Григорьев, В. Н. Ермолин, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ




5th International Congress on Ceramics
 Aug. 17th-21st, 2014
 Beijing International Convention Center, Beijing, China
www.icc-5.com

ICC5 — 5-й международный конгресс по керамике
17–21 августа 2014 г.
г. Бейджин, Китай
<http://www.icc-5.com/>

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГАРНИСАЖА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОГЕННОГО МАТЕРИАЛА ШЛАМА НОРМАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА

Образование плотных слоев гарнисажа во вращающейся печи при использовании в шихте для шамота муллитокорундового состава шлама нормального электрокорунда зависит от химико-минерального состава шихты и составляющих гарнисажа, процессов смачивания, влияния низших соединений титана на физико-химические процессы, протекающие во вращающейся печи.

Ключевые слова: гарнисаж, шлам нормального электрокорунда (ШНЭ), химико-минеральный состав, смачивание, низшие соединения титана.

При получении шамота муллитокорундового состава из шлама нормального электрокорунда (ШНЭ) [1] на стенках футеровки вращающейся печи образуется гарнисаж. Рабочая зона футеровки высокотемпературной зоны после опытной кампании производства шамота с использованием ШНЭ была практически полностью покрыта слоем плотного и прочного гарнисажа толщиной 8–12 мм. Цель настоящей работы — исследование физико-механических свойств, особенностей химико-минерального состава гарнисажа и механизма его образования. В работе использованы современные методы петрографического и рентгенофлуоресцентного анализов, стандартные методы определения физико-механических свойств [2]. Химико-минеральный состав гарнисажа исследовали в отраженном и проходящем свете на микроскопах МБИ-6 и МИН-8, элементный состав — на прецизионном рентгенофлуоресцентном экспресс-анализаторе «Expert 3L», разработанном в Институте аналитических методов контроля (ИНАМ, г. Киев, Украина). Температуру плавления проб гарнисажа фиксировали на высокотемпературном микроскопе на оптической скамье МНО-2. Краевые углы смачивания определяли расчетным путем по распечаткам. Форму изменения вида образца гарнисажа снимали на видеокамеру в режиме кадровой съемки. Предел прочности на раздавливание при 1200 °С определяли на

универсальной испытательной машине ЦД-4 с использованием водоохлаждаемой муфельной печи.

Футеровка вращающейся печи во время службы подвергается влиянию различных факторов. К ним относятся прежде всего воздействие обжигаемого материала в твердом виде, в виде расплава, а также газообразных компонентов факела, определяющих температурный режим, состав газовой фазы, золы топлива [3]. На внутренней стороне футеровки печи наблюдается слой материала, который прилипает к футеровке. Вследствие вращения печи и градиента температур более нагретый слой гарнисажа осыпается, а менее нагретый прилипает к футеровке. Образуется слой материала, который непрерывно нагревается от футеровки. Существует гипотеза, что гарнисаж образуется в результате физико-химического воздействия шихты, газов и материала охлаждаемых стенок кожуха. Известно, что теплопроводность слоя гарнисажа, образованного на внутренней поверхности футеровки застывшим клинкерным расплавом, принимают равной 1 Вт/(м·К). Авторы публикации [4] указывают, что на поверхности футеровки образуется защитная обмазка (гарнисаж) в результате воздействия клинкера в жидкой фазе. Существуют способы контроля и автоматического управления стабильностью образования гарнисажа [5]. Процессам образования гарнисажа уделяется постоянное внимание. Поэтому вопрос о химико-минеральном составе и механизме образования гарнисажа во вращающейся печи при получении шамота с применением ШНЭ не теряет актуальности.

Гарнисаж представляет собой слоистое образование с неравномерным чередованием

✉
В. В. Шарапова
E-mail: sharapova-valentina@lenta.ru



Рис. 1. Гарнисаж (белое — светлый слой; темное — серый слой)

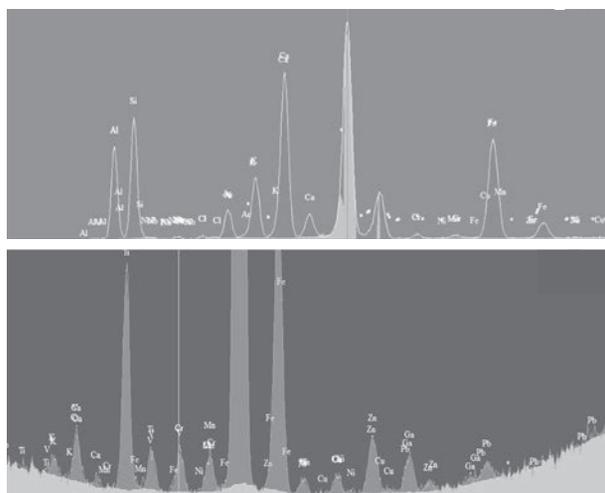


Рис. 2. Содержание элементов в гарнисаже: по вертикали — интенсивность; по горизонтали — энергия, эВ

темно-серых и светлых составляющих (рис. 1). Наблюдаются поры по всей глубине проб гарнисажа. Форма пор разнообразна; в основном поры округлые. Размер пор в пределах 0,5 мм – 1 мкм. Наблюдаемая пористость обусловлена протеканием процессов парообразования и влиянием газообразных компонентов как из факела сжигаемого топлива, так и из вязкого гарнисажа и материала шихты. Толщина слоев гарнисажа колеблется в пределах 1–12 мм, однако в большинстве случаев микроскопически (при 1800-кратном увеличении) наблюдается тонкослоистое чередование составляющих гарнисажа. Обнаружены как четкие границы раздела, так и постепенный переход серых и светлых слоев. Составляющие гарнисажа различаются по плотности. Встречаются как плотные, так и рыхлые (бобовидные стяжения с неровными бугристыми слоями) участки проб. Кажущая плотность гарнисажа 2,45 г/см³. Пористость проб гарнисажа 15 %.

Слоистость проб гарнисажа не только обусловлена различием времени отложения составляющих гарнисажа, но и связана с его составом и разной плотностью как исходных материалов, так и продуктов их превращения. Так, плотность основных составляющих гарнисажа, таких как корунд, сростки корунда с ферросплавом, шлак, муллит, ферросплав, стекло, графит, кварц, равна соответственно 4,0, 5,5, 3,2, 3,16, 6,0, 2,8, 2,2, 2,65 г/см³. Элементный состав гарнисажа, определенный рентгенофлуоресцентным методом, приведен ниже, мас. %:

8O.....	48,731±1,300	26Fe.....	1,102±0,029
13Al.....	31,040±0,798	28Ni.....	0,005±0,000
14Si.....	17,321±0,447	29Cu.....	0,004±0,000
15P.....	0,030±0,008	30Zn.....	0,009±0,000
16S.....	0,055±0,004	31Ga.....	0,005±0,000
19K.....	0,331±0,009	37Rb.....	0,002±0,000
20Ca.....	0,510±0,013	38Sr.....	0,007±0,000
22Ti.....	0,708±0,022	40Zr.....	0,035±0,001
23V.....	0,016±0,006	39Y.....	0,005±0,000
24Cr.....	0,048±0,003	41Nb.....	0,002±0,000
25Mn.....	0,028±0,002	82Pb.....	0,005±0,001

Результаты расчета по химическим формулам приведены в таблице.

Формула	Массовая доля, %	Формула	Массовая доля, %
Al ₂ O ₃	58,651	Pb ₂ O ₃	0,005
CaO	0,714	Rb ₂ O	0,002
Cr ₂ O ₃	0,071	SO ₂	0,111
CuO	0,005	S ₁ O ₂	37,054
Fe ₂ O ₃	1,576	SrO	0,009
Ga ₂ O ₃	0,006	TiO ₂	1,182
K ₂ O	0,399	V ₂ O ₅	0,028
MnO ₂	0,044	Y ₂ O ₃	0,007
Nb ₂ O ₅	0,004	ZnO	0,011
Ni ₂ O ₃	0,007	Zr ₁ O ₂	0,047
P ₂ O ₅	0,068		

Кривые интенсивности показаны на рис. 2. Химический состав гарнисажа, определенный по традиционным методикам химического анализа массового содержания составляющих в огнеупорах [2], мас. %: Al₂O₃ 58,9, SiO₂ 36,3, CaO 0,65, MgO 0,1, Fe_{общ} 4,3, K₂O 0,24, Na₂O 0,32. Сопоставление данных химического анализа состава гарнисажа, проведенного по обеим методикам, показывает хорошую сходимость результатов. Обращает на себя внимание расхождение содержания общего железа в пробах гарнисажа. Для экспресс-анализа элементного состава гарнисажа и соответствующего расчета по стехиометрическим формулам можно использовать экспресс-анализатор «Expert-3L». Предел прочности при раздавливании гарнисажа при 1200 °С составляет 70 МПа. Следует отметить, что после эксперимента образец гарнисажа изменил цвет с серого на желтый (рис. 3).

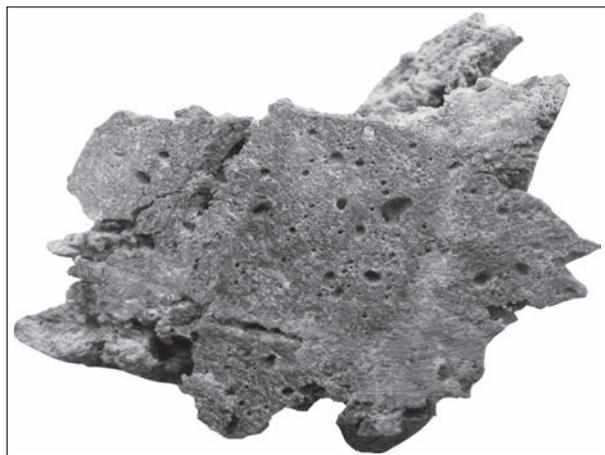


Рис. 3. Образец гарнисажа после испытаний

Представляло интерес определить температуру начала плавления и каплеобразования светлой и серой составляющих гарнисажа. Температура начала плавления белой и темно-серой частей гарнисажа составляет соответственно 1820 и 1740 °С, температура каплеобразования этих составляющих гарнисажа 1900 и 1800 °С. Краевые углы смачивания светлой и темно-серой составляющих гарнисажа соответственно 68 и 54 град.

Макроскопически (под бинокулом при 30-кратном увеличении) на поверхности проб гарнисажа наблюдаются зерна кварца размерами 1–12 мм, прослойки гематита длиной до 5 мм, зернистые скопления розовой фазы, которая обнаружена также в ноздреватых порах. Микроструктура гарнисажа представлена в основном призматическим муллитом размерами 3–20 мкм, корундом ШНЭ размерами 5–30 мкм и стеклофазой. Встречаются вторичный гематит, гексаалюминат кальция, мелилитовый минерал, корольки ферросплава, углеродсодержащее вещество, остаточные соединения оксидов титана.

Для изучения минерального состава гарнисажа были выделены три составляющие: шапка гарнисажа, темно-серая составляющая и светлая составляющая. Шапка гарнисажа (толщина слоя до 10 мм) представлена призматическим муллитом, стеклом, мелилитовым минералом (геленит), резорбированными и остроугольными обломками корунда ШНЭ, розовой фазой, корольками металла, углеродсодержащим веществом, гематитом. Распределение фаз неравномерное. Основу составляет муллитостекляная составляющая. Доля стекла 20 %. Имеются эллипсоидные поля плотных сростков муллита, содержащих скопления электрокорунда размерами 1–50 мкм. Корунд содержит включения титанистых соединений.

Мелилитовый минерал представлен практически чистым геленитом как с нормальными показателями преломления, так и с пониженными. Пониженные показатели преломления геленита свидетельствуют, что в его структуру входит Na-содержащий силикат типа $\text{Na}_2\text{Si}_3\text{O}_7$. При этом Na частично замещает кальций в гелените, о чем свидетельствуют результаты химического анализа. Следует отметить, что геленит содержит большое количество дендритовидных сростков стекла; стеклофаза образуется одновременно с геленитом.

Фаза розового цвета представлена преимущественно скелетными формами корунда, сцементированного прослойками стекла. Имеется гексаалюминат кальция. В корунде содержатся в виде твердого раствора оксиды хрома, титана, а по базальной отдельности низший оксид титана — анасовит. В корунде ШНЭ наблюдается также полуторный оксид титана. Углеродсодержащая фаза обнаружена в виде остроугольных пластинок (графит) и включений в стекле.

Серая составляющая гарнисажа представлена в основном муллитом, стеклом и корундом ШНЭ. Встречаются отдельные скопления гексаалюмината кальция, вторичного гематита, корольки ферросплава, углеродсодержащее вещество; имеются единичные соединения титана (рутил, анатаз). Гематит обнаружен в порах гарнисажа в виде плотных скоплений. Часть пор заполнена стеклом. Стекло бесцветное или окрашенное дисперсными частицами оксидов титана и железа в голубой, желто-бурый и даже черный цвет. Показатель преломления стеклофазы $N = 1,612 \div 1,555$. В стекле встречаются включения корунда. Исследования показали, что в корунде процессы распада низших соединений титана прошли не полностью. Серая составляющая гарнисажа, как и вся проба, остеклована. Стекольная корочка препятствует распаду твердого раствора титана в корунде [1]. Белая составляющая гарнисажа отличается повышенной пористостью (до 25 %), увеличенным содержанием стеклофазы кремнеземистого состава. Муллит призматический, игольчатый, сноповидный, встречается преимущественно в прослойках сообщающихся стекол. Имеются единичные обломки шламового корунда. В белой составляющей содержится меньшее количество соединений титана; обнаружен остеклованный технический глинозем.

Отличительной особенностью химико-минерального состава образцов гарнисажа после испытания на раздавливание при высокой температуре является установление практически полного распада низших соединений титана.

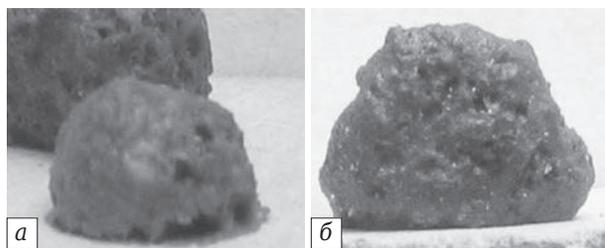


Рис. 4. Форма капель: *а* — расплав белой составляющей на алундовой подложке; *б* — расплав серой составляющей на алундовой подложке

Процесс распада твердого раствора титана в корунде ШНЭ и анасовита интенсифицируется вследствие нарушения сплошности стекольной корочки на пробах гарнисажа при наличии двух параметров — температуры и удельного давления разрушения. Этим же можно объяснить изменение цвета образцов после эксперимента с серого на желтый. Исследования минерального состава остатков образца после испытания показали, что он соответствовал составу алюмосиликатного огнеупора с несколько меньшим общим содержанием оксида алюминия.

Более низкая температура плавления образцов гарнисажа серого цвета по сравнению с белой объясняется присутствием в них большего количества соединений титана различной степени окисления. Как установлено ранее, соединения титана и железа понижают температуру плавления и вязкость как титанатного, так и шестикомпонентного алюмосиликатного расплава состава $\text{CaO-MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ [1]. В связи с этим материал серой составляющей проб гарнисажа обладает более низкой вязкостью при высоких температурах, чем белой составляющей, и краевой угол смачивания

серых проб алундовых подложек на 12 град меньше, чем у белых. Форма капель показана на рис. 4. Скорость смачивания белой составляющей гарнисажа алундовой подложки $V_1 = 0,026$ град/с, серой $V_2 = 0,038$ град/с. Средняя скорость смачивания подложки расплавом серой составляющей гарнисажа в 1,6 раза больше средней скорости смачивания расплавом светлой составляющей. На основании проведенных исследований можно утверждать, что образование гарнисажа слоистого строения зависит от различного химико-минерального состава составляющих проб, физико-химических основ протекания процессов смачивания. Серая составляющая гарнисажа, как менее вязкая, смачивает белую составляющую, обволакивает ее. Образующийся конгломерат прилипает к более холодным стенкам футеровки охлаждаемого кожуха вращающейся печи. Поскольку прочность гарнисажа при высоких температурах выше удельного давления шихты в пересыпающемся слое вращающейся печи, то он не разрушается.

Приведенные данные представляют не только научный интерес. Они раскрывают роль низших соединений титана в процессах образования гарнисажа вращающейся печи при использовании ШНЭ при получении шамота муллитокорундового состава, а также имеют практическое значение. Полученные результаты можно использовать при разработке методов контроля образования слоев гарнисажа при применении в шихте для шамота техногенных источников сырья.

* * *

Автор благодарит д. т. н. Г. В. Баглюка и д. х. н. Д. В. Прутькова за помощь в работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прутьков, Д. В. Синтез муллита из шлама нормального электрокорунда и каолина / Д. В. Прутьков, В. Д. Троян, И. П. Малышев [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 2000. — № 9. — С. 13–19.
2. Огнеупоры и огнеупорные изделия. В 3 частях. Часть 1. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 375 с.
3. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топков. В 2 т. Т. 2. Служба огнеупоров: справочник / И. Д. Кащев. — М.: Интермет Инжиниринг, 2002. — 656 с.
4. Бельский, В. И. Промышленные печи и трубы / В. И. Бельский, Б. В. Сергеев. — М.: Стройиздат, 1974. — С. 471.

5. Пат. 2241186 Российская Федерация, МПК. Способ контроля и автоматического управления стабильностью образования гарнисажа в пристенном слое печи Ванюкова / Саликов З. П., Быстров В. П., Кимеев И. Т., Салихов М. З.; заявитель и обладатель ООО «Научно-экологическое предприятие Экокси»; заявл. 03.09.03; опубл. 27.11.04. ■

Получено 11.09.13

© В. В. Шарпова,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

VI международный конгресс и выставка
«Цветные металлы-2014»

16–19 сентября 2014 г.

г. Красноярск, Россия

<http://nfmsib.ru/>

Статистика
ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ В ИЮНЕ 2013 г.

Продукция	Июнь 2013 г.	В % к		I полугодие 2013 г. / I полугодие 2012 г., %
		июню 2012 г.	маю 2013 г.	
Чугун, млн т	4,2	102,8	94,8	99,2
Ферросилиций, тыс. т	81,8	87,1	93,1	100,6
Феррохром низкоуглеродистый, тыс. т	16,3	94,7	93,7	94,3
Сталь, млн т	5,7	100,3	94,2	97,2
Трубы стальные, тыс. т	883	115,7	105,0	107,4
Из общего количества стальных труб:				
бурильные для бурения нефтяных или газовых скважин из черных металлов (кроме литейного чугуна)	2,4	83,5	71,7	85,2
обсадные	75,1	131,7	89,5	103,8
насосно-компрессорные	29,2	83,1	85,1	101,5
Проволока из железа или нелегированной стали, тыс. т	118	96,8	97,5	107,4
Проволока из нержавеющей стали и прочих легированных сталей, тыс. т	22,7	90,6	101,3	92,1
Алюминий первичный, тыс. т	–	87,4	97,4	90,3
Оксид алюминия (глинозем), кроме искусственного корунда, тыс. т	–	89,5	89,3	93,6

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ

ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОЧИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ В РОССИИ В ИЮНЕ 2013 г.

Продукция	Июнь 2013 г.	В % к		I полугодие 2013 г. / I полугодю 2012 г., %
		июню 2012 г.	маю 2013 г.	
Кирпичи, блоки, плитки и прочие огнеупорные изделия, кроме изделий из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	103	94,4	97,3	92,6
Неформованные огнеупоры, в том числе цементы, строительные растворы, огнеупорные бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	93,6	87,6	103,3	90,3
Огнеупорные безобжиговые изделия и прочие, не включенные в другие группировки, тыс. т	18,4	124,3	107,6	101,5

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА В ИЮНЕ 2013 г.

Страна, регион	Июнь 2013 г., тыс. т	Май 2013 г., тыс. т	Июнь 2012 г., тыс. т	Изменение июнь 2013 г. / июнь 2012 г., %	6 мес 2013 г., тыс. т	6 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 6 мес 2013 г. / 6 мес 2012 г., %
Австрия	483	524	480	0,6	3059	2958	3,4
Бельгия	350	361	307	14,0	2170	1984	9,4
Чехия	336	358	348	-3,4	2033	2070	-1,8
Франция	870	916	790	10,1	5077	5016	1,2
Германия	2330	2285	2337	-0,3	13697	13797	-0,7
Венгрия	52	54	103	-49,5	305	648	-52,9
Италия	623	668	798	-21,9	3652	5036	-27,5
Нидерланды	450	540	480	-6,3	2620	2900	-9,7
Польша	280	380	302	-7,3	2000	2147	-6,8
Словакия	265	332	303	-12,5	1852	1861	-0,5
Испания	360	374	305	18,0	1970	1907	3,3
Великобритания	910	822	738	23,3	4636	3286	41,1
Прочие страны Европы (ЕС-27)	513	586	558	-8,1	3284	3736	-12,1
ЕС (27 стран), всего	7822	8200	7851	-0,4	46353	47346	-2,1
Босния и Герцеговина	60	64	67	-10,4	388	363	6,9
Сербия	45	70	55	-18,2	115	295	-61,0
Турция	794	815	607	30,8	4794	4037	18,8
Прочие страны Европы, всего	900	950	730	23,3	5297	4695	12,8
Казахстан	235	250	218	7,8	1344	1396	-3,7
Россия*1	4152	4308	4038	2,8	25068	25258	-0,8
Украина	2384	2430	2429	-1,9	14464	14517	-0,4
СНГ, всего	6686	7024	6797	-1,6	40738	41429	-1,7
Канада	500	480	561	-10,9	3035	3862	-21,4
Мексика	400	360	215	86,0	2381	2181	9,2
США	2555	2600	2573	-0,7	15666	16889	-7,2
Северная Америка, всего	3455	3440	3349	3,2	21083	22932	-8,1
Аргентина	228	235	211	8,1	1190	1349	-11,8
Бразилия	2126	2246	2131	-0,2	12964	13412	-3,3
Чили	50	55	90	-44,4	362	544	-33,5
Колумбия	20	20	28	-28,6	126	179	-29,6
Парагвай	2	2	6	-66,7	10	27	-63,0
Южная Америка, всего	2426	2558	2466	-1,6	14652	15511	-5,5
ЮАР	430	445	422	1,9	2590	2516	2,9
Иран	130	133	177	-26,6	826	1282	-35,6
Китай	58340	61132	56696	2,9	357540	337231	6,0
Индия	4100	4120	4001	2,5	24646	23724	3,9
Япония	6886	7219	6824	0,9	41461	40337	2,8
Южная Корея	3336	3286	3362	-0,8	19553	20746	-5,8
Тайвань	1220	1190	1059	15,2	6817	5862	16,3
Страны Азии, всего	73881	76947	71941	2,7	450017	427900	5,2
Австралия	278	302	314	-11,5	1778	1866	-4,7
Новая Зеландия	54	59	59	-8,5	334	331	0,9
Австралия и Океания, всего	333	361	373	-10,7	2112	2197	-3,9
МИР, всего*2	96063	100057	94105	2,1	583669	565809	3,2

*1 По данным ОАО «Черметинформация».

*2 Итог приведен по 38 странам, на которые приходится около 99 % мирового производства чугуна.

По данным Всемирной ассоциации производителей чугуна и стали (WSA)

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ В ИЮНЕ 2013 г.

Страна, регион	Июнь 2013 г., тыс. т	Май 2013 г., тыс. т	Июнь 2012 г., тыс. т	Изменение июнь 2013 г. / июнь 2012 г., %	6 мес 2013 г., тыс. т	6 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 6 мес 2013 г. / 6 мес 2012 г., %
Австрия	625	683	623	0,3	3945	3821	3,2
Бельгия	540	555	569	-5,1	3506	3784	-7,3
Болгария	40	40	54	-25,4	247	349	-29,3
Чехия	433	467	430	0,6	2616	2743	-4,6
Финляндия	255	269	285	-10,6	1737	2062	-15,8
Франция	1378	1424	1340	2,8	8025	8384	-4,3
Германия	3684	3653	3767	-2,2	21720	21919	-0,9
Греция	75	105	110	-31,8	477	728	-34,5
Венгрия	84	74	131	-35,9	388	825	-53,0
Италия	2188	2316	2439	-10,3	12683	14876	-14,7
Люксембург	136	150	190	-28,7	995	1125	-11,5
Нидерланды	536	635	561	-4,5	3118	3367	-7,4
Польша	630	715	682	-7,6	3957	4529	-12,6
Словакия	341	419	371	-8,0	2337	2308	1,3
Словения	60	49	57	3,7	307	347	-11,4
Испания	1300	1371	1228	5,9	7547	7547	0,0
Швеция	370	405	385	-3,9	2275	2487	-8,5
Великобритания	1055	984	962	9,8	5723	4579	25,0
Прочие страны ЕС (27 стран)	441	397	503	-12,4	2693	3024	-10,9
ЕС (27 стран), всего	14170	14711	14687	-3,5	84297	88803	-5,1
Босния и Герцеговина	59	66	63	-5,5	375	341	10,1
Хорватия	10	15	0	...	65	0	...
Македония	10	0	22	-54,5	42	129	-67,4
Норвегия	50	50	65	-22,7	308	357	-13,7
Сербия	49	76	60	-18,7	124	325	-61,8
Турция	2957	3020	2941	0,5	17408	17930	-2,9
Прочие страны Европы, всего	3135	3227	3151	-0,5	18322	19082	-4,0
Белоруссия	225	235	225	0,0	1346	1337	0,7
Казахстан	265	285	317	-16,3	1532	1953	-21,6
Молдова	0	0	47	-100,0	0	155	-100,0
Россия	5666	6013	5650	0,3	34690	35703	-2,8
Украина	3060	2772	2840	7,8	17043	17146	-0,6
Узбекистан	70	70	72	-2,3	383	377	1,4
СНГ, всего	9318	9448	9243	0,8	55008	56713	-3,0
Канада	1000	1140	1011	-1,1	6300	6929	-9,1
Куба	25	25	24	2,9	137	156	-11,7
Сальвадор	9	10	8	18,4	51	45	14,1
Гватемала	30	30	27	12,5	167	158	5,9
Мексика	1450	1460	1413	2,6	8931	8923	0,1
Тринидад и Тобаго	55	42	59	-7,1	296	321	-7,8
США	7221	7522	7239	-0,2	43232	46192	-6,4
Северная Америка, всего	9790	10229	9780	0,1	59115	62724	-5,8
Аргентина	417	449	451	-7,7	2403	2732	-12,1
Бразилия	2831	3013	2757	2,7	16974	17350	-2,2
Чили	90	105	144	-37,6	633	868	-27,0

Страна, регион	Июнь 2013 г., тыс. т	Май 2013 г., тыс. т	Июнь 2012 г., тыс. т	Изменение июнь 2013 г. / июнь 2012 г., %	6 мес 2013 г., тыс. т	6 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 6 мес 2013 г. / 6 мес 2012 г., %
Колумбия	90	90	121	-25,7	527	702	-24,9
Эквадор	40	40	36	10,2	237	218	8,8
Парагвай	1	1	4	-72,8	7	18	-62,1
Перу	95	95	81	17,3	536	455	17,7
Уругвай	7	7	8	-7,2	34	37	-6,6
Венесуэла	190	225	217	-12,5	1184	1245	-4,9
Южная Америка, всего	3761	4025	3819	-1,5	22535	23624	-4,6
Алжир	50	60	43	14,3	262	327	-19,9
Египет	540	561	552	-2,2	3339	3332	0,2
Ливия	64	-	32	96,4	388	79	391,9
Марокко	48	52	36	35,8	314	303	3,6
ЮАР	550	570	592	-7,1	3325	3723	-10,7
Африка, всего	1252	1243	1256	-0,3	7629	7763	-1,7
Иран	1250	1287	1225	2,0	7327	7390	-0,9
Катар	191	192	183	4,4	1148	1111	3,3
Саудовская Аравия	453	479	448	1,0	2756	2708	1,7
Страны Среднего Востока, всего	1894	1959	1857	2,0	11230	11210	0,2
Китай	64660	67034	61816	4,6	389870	363007	7,4
Индия	6450	6730	6392	0,9	39637	38687	2,5
Япония	9281	9622	9198	0,9	54711	54064	1,2
Южная Корея	5458	5530	5767	-5,4	33059	34896	-5,3
Тайвань	2040	2060	1781	14,6	11571	10617	9,0
Страны Азии, всего	87889	90976	84953	3,5	528849	501272	5,5
Австралия	371	406	403	-8,0	2363	2406	-1,8
Новая Зеландия	74	79	82	-9,1	449	448	0,3
Океания, всего	445	485	485	-8,2	2812	2854	-1,5
МИР, всего*	131652	136302	129229	1,9	789796	774044	2,0

* Итог приведен по 62 странам, входящим в Международный институт чугуна и стали, на которые приходится около 98 % мирового производства стали.

По данным Всемирной ассоциации производителей чугуна и стали (WSA)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ISSNOX4

4-й Международный симпозиум по сиалонам и бескислородной керамике

25–28 мая 2014 г.

г. Сига, Япония

- Новые сиалоны, нитридные и карбидные фазы
- Производный полимер бескислородной керамики
- Обработка порошков
- Нано- и микрокомпозиты
- Пористая бескислородная керамика
- Функциональные сиалоны и бескислородная керамика
- Применение сиалонов

<http://ceramics.ynu.ac.jp/ISSNOX4/index.html>

ЦЕНЫ НА НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ, НА УСЛОВИЯХ CIF ОСНОВНЫЕ ПОРТЫ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ, долл./т (если не указано иное)

Вид огнеупорного сырья	Апрель 2013 г.	Май 2013 г.	Июнь 2013 г.
<i>Глинозем и боксит</i>			
Глинозем спеченный, 98,5–99,5 % Al ₂ O ₃ , насыпью, fob США	675–725	675–725	675–725
Глинозем спеченный со средним содержанием щелочей, насыпью, fob	750–850	750–850	750–850
Глинозем плавленный, 95 % Al ₂ O ₃ :			
коричневый, 8–220 меш, китайского производства, fob Китай	800–840	800–840	800–840
белый, мешками по 25 кг, европейского производства, cif Европа, евро/т	850–890	850–890	850–890
Боксит китайский огнеупорный, кусковой 0–25 мм, Al ₂ O ₃ , % / Fe ₂ O ₃ , % / кажущаяся плотность, г/см ³ , fob Xingang:			
Шаньси (Shanxi), кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	420–435	420–435	420–435
Гуйчжоу (Guizhou), fob Zhanjiang / Fangchend: кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	400–430	400–430	400–430
Боксит из Гайаны, огнеупорная марка, fob, Линден	460–510	460–510	460–510
<i>Хромовая руда</i>			
Трансваальская (ЮАР), огнеупорная марка, 46 % Cr ₂ O ₃ , насыпью, fob	425–500	425–500	425–500
<i>Графит кристаллический</i>			
Cif европейские порты:			
крупночешуйчатый:			
94–97 % C, +80 меш	1400–1500	1400–1500	1400–1500
90 % C, +80 меш	1200–1400	1200–1600	1200–1600
среднечешуйчатый:			
90 % C, +100–80 меш	950–1000	950–1100	950–1100
94–97 % C, +100–80 меш	1100–1300	1100–1300	1100–1300
85–87 % C, +100–80 меш	800–1000	800–1100	800–1100
мелкочешуйчатый:			
90 % C, –100 меш	850–1050	850–1050	850–1050
94–97 % C, –100 меш	900–1200	900–1200	900–1200
<i>Магнезиальное сырье</i>			
Греческий сырой магнезит, < 3,5 % SiO ₂ , fob порты Восточного Средиземноморья, евро/т	65–75	65–75	65–75
Намертво обожженный периклаз китайского производства, кусковой, 90 % MgO	320–350	320–350	320–350
То же, 92 % MgO	410–450	410–450	410–450
То же, 94–95 % MgO	450–480	450–480	450–480
То же, 97,5 % MgO	531–583	531–583	531–583
Кальцинированный магнезит кусковой, 90–92 % MgO, fob Китай	303–343	303–343	303–343
<i>Карбид кремния</i>			
8–220 меш, cif Великобритания:			
черный, около 99 % SiC, сорт I, евро/т	1900–2100	1900–2100	1900–2100
то же, сорт II, евро/т	1500–1650	1500–1650	1500–1650
огнеупорного сорта, min 98 % SiC, евро/т	1500–1800	1500–1800	1500–1800
то же, min 95 % SiC, евро/т	1350–1450	1350–1450	1350–1450
<i>Минералы силлиманитовой группы</i>			
Андалузит, fob Трансвааль, 57–58 % Al ₂ O ₃ , насыпью, партиями по 2000 т, евро/т	235–280	235–280	235–280
Кианит обожженный, ex-works с предприятий США, 54–60 % Al ₂ O ₃ , партиями по 22 т	373–439	373–439	373–439
<i>Циркон</i>			
Насыпью, fob:			
Австралия (стандарт)	1250–1550	1250–1550	1250–1550
США (стандарт)	2550–2750	2550–2750	2550–2750
ЮАР (керамический сорт)	2300–2650	2300–2650	2300–2650

По данным «Industrial Minerals»

ОБЗОР ПАТЕНТОВ РФ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ОГНЕУПОРАМ



СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ И СОСТАВ ШИХТЫ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

*Баньковская И. Б., Коловертнов Д. В.,
Васильева И. А.*

Патент RU 2471751
МПК C04B35/58

Изобретение относится к составу и способу получения защитных покрытий. Технический результат изобретения — снижение температуры термообработки покрытия.

1. Способ получения защитного покрытия включает приготовление шихты путем смешения исходных компонентов, содержащих кремний и борид циркония, приготовление шликера с добавлением органического связующего, нанесение шликера на подложку и последующую термообработку полученной заготовки в воздушной среде. Способ отличается тем, что на стадии приготовления шихты в состав исходных компонентов дополнительно вводят бор при следующем соотношении исходных компонентов, мас. %: Si 65–75, ZrB₂ 10–30, B 10–30. Термообработку полученной заготовки проводят при 650–1000 °С в течение 10–15 мин.

2. Способ по п. 2 отличается тем, что в составе исходных компонентов используют бор с удельной поверхностью частиц 29–22 м²/г.

3. Состав шихты для защитного покрытия отличается тем, что состав дополнительно содержит бор при следующем соотношении компонентов, мас. %: Si 65–75, ZrB₂ 10–30, B 10–30.

Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». — 2013. — № 1. — С. 205.*

КОМПОЗИЦИЯ ДЛЯ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ОБЪЕМНОГО ПРЕССОВАНИЯ

*Соков В. Н., Жабин Д. В., Землянушнов Д. Ю.,
Бегляров А. Э.*

Патент RU 2473515
МПК C04B35/80

Изобретение относится к строительству, а именно к производству огнеупорных изделий. Технический результат изобретения — сниже-

* В дальнейшем приводится сокращенное название «Бюллетень».

ние плотности, теплопроводности изделий, общей усадки, расхода волокна, сокращение времени сушки и затрат на теплоносители.

Композиция для изготовления теплоизоляционных изделий, включающая огнеупорное волокно и огнеупорную глину, отличается тем, что с целью снижения плотности, теплопроводности изделий, общей усадки, расхода волокна, сокращения времени сушки и затрат на теплоносители она дополнительно содержит подвспененный полистирол и вспученный перлитовый песок при следующем соотношении компонентов, мас. %: огнеупорное волокно 40; огнеупорная глина 30; подвспененный полистирол 10 (сверх 100 % по массе); вспученный перлитовый песок 30.

«Бюллетень». — 2013. — № 3. — С. 137.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛЮМОСИЛИКАТНОГО ОГНЕУПОРА

*Хлыстов А. И., Соколова С. В., Коннов М. В.,
Садилов В. С.*

Патент RU 2474559
МПК C04B41/85, C04B35/18

Изобретение относится к способу улучшения физико-механических показателей алюмосиликатных огнеупоров с высоким содержанием Al₂O₃, в частности самого распространенного шамотного огнеупора. Технический результат изобретения — значительное улучшение физико-термических показателей (плотности, прочности, огнеупорности, термостойкости) алюмосиликатного огнеупора, а именно шамота типа ША, что положительно скажется на долговечности футеровки тепловых агрегатов.

Способ улучшения эксплуатационных характеристик алюмосиликатного огнеупора, содержащего 30–40 % Al₂O₃, заключается в пропитке водным раствором фосфатных связующих с последующей термообработкой. Пропитку осуществляют в нормальных условиях в течение 6–8 ч водным раствором кислого алюмофосфата типа Al(H₂PO₄)₃ плотностью 1,52 г/см³, синтезированного на базе ортофосфорной кислоты и шлама щелочного травления алюминия, содержащего, мас. %: Al₂O₃ 48–59, CaO 0,3–1, Fe₂O₃ 1,5–2,5, SiO₂ 0–1,3, MgO 0–4, Na₂O 2,5–10, SO₃ 0–4, Δ_{мпрк} 33–35, при следующем соотношении компонентов,

мас. %: шлам 35–40, 60 %-ная ортофосфорная кислота 60–65.

Термообработку проводят при 250–350 °С в течение 2 ч.

«Бюллетень». — 2013. — № 4. — С. 208, 209.

СПОСОБ ПРОПИТКИ ТИГЛЕЙ И ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Джаст А. Л.

Патент RU 2476410
МПК C04B41/87

Изобретение относится к огнеупорным тиглям, используемым для плавки металлических сплавов. Способ герметизации поверхности и структуры огнеупорного тигля керамическим материалом включает стадии, на которых: (а) нагревают огнеупорный тигель до заданной температуры; (б) наносят смачивающее вещество на поверхность тигля; (в) наносят на внутреннюю поверхность тигля керамический шликер; (г) вакуумируют тигель; (д) удаляют избыток шликера с внутренней поверхности тигля; (е) нагревают тигель, чтобы удалить из него влагу; (ж) обжигают тигель при температуре от 1300 до около 1700 °С. При необходимости операции (б)–(е) многократно повторяют. Керамический шликер вязкостью 100–3500 сП состоит из воды, смачивающего вещества и около 20–80 мас. % керамического порошка, который имеет размер частиц преимущественно менее 1 мкм. Керамический порошок выбирают из группы MgO–ZrO₂, Y₂O₃–ZrO₂, нестабилизированный ZrO₂, CrO₃, Al₂O₃ или их сочетаний. Технический результат изобретения — создание плотной структуры внутренней поверхности тигля, обеспечивающей более длительный срок его службы.

«Бюллетень». — 2013. — № 6. — С. 168, 169.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГРАФИТИРОВАННОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ПРИ СИЛИЦИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ НА ЕГО ОСНОВЕ

Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Сорокин О. Ю.

Патент RU 2475462
МПК C04B35/532, C04B35/565

Изобретение относится к способу получения углеродсодержащих образцов, предназначенных для проведения экспресс-оценки качества графитированного наполнителя для изготовления силицированных изделий на его основе. Технический результат изобретения — упро-

щение определения пригодности графитированного наполнителя для получения силицированных изделий на его основе по количеству трещин на поверхности образцов, изготовленных заявленным способом.

1. Способ изготовления образцов для экспресс-оценки качества графитированного наполнителя при силицировании изделий на его основе включает подготовку сырьевых материалов, прессование, полимеризацию, обжиг и высокотемпературную термообработку. Способ отличается тем, что исходная композиция содержит фенолформальдегидное связующее, порошковый кремний и графитированный наполнитель фракции мельче 50 мкм. Прессование проводят при давлении 25–30 МПа с последующей полимеризацией, не снимая давления в течение 4–6 ч, обжиг проводят в течение 10–11 ч, а окончательную высокотемпературную обработку — при 1850–1900 °С.

2. Способ по п. 1 отличается тем, что компоненты углеродсодержащей композиции для изготовления образцов взяты в следующем соотношении, мас. %: порошковый кремний 25–35, графитированный наполнитель 60–50, фенолформальдегидное связующее — остальное.

«Бюллетень». — 2013. — № 5. — С. 208.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОД-КАРБИДКРЕМНИЕВОГО МАТЕРИАЛА

Синани И. Л., Бушуев В. М., Бутузов С. Е.

Патент RU 2480433
МПК C04B35/532, C04B35/577

Способ изготовления герметичных изделий из углерод-карбидкремниевого материала (УККМ), включающий изготовление заготовки из пористого углеграфитового материала, нагрев ее в замкнутом объеме в инертной атмосфере или вакууме в парах кремния, выдержку при температуре его карбидизации и последующее охлаждение, отличается тем, что в качестве пористого углеграфитового материала используют материал, компоненты которого имеют ТКЛР в пределах $3 \cdot 10^{-6}$ – $6 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Нагрев ведут до 1500–1700 °С при остаточном давлении в реакторе 1–36 мм рт. ст. с последующей выдержкой в указанном интервале температур в течение 2–3 ч или нагрев ведут до 1700–1900 °С при давлении 1–860 мм рт. ст. с последующей выдержкой в указанном интервале температур в течение 1–2 ч. После этого материалы охлаждают в парах кремния.

В качестве пористого углеродного материала используют материал с преобладающим размером пор не более 120 мкм. Заготовку из пористого углеродного материала пропитывают коксующимся полимерным связующим с последующим его отверждением и карбонизацией. На заготовке формируют шликерное покрытие на основе композиции из мелкодисперсного порошка углерода или его смеси с карбидом кремния, размер частиц которого не более 63 мкм, и временного связующего. Охлаждение до 1350 °С осуществляют при остаточном давлении в реакторе 1–36 мм рт. ст. и скорости охлаждения 100–200 °С/ч. Охлаждение с 1700–1900 °С ведут с изотермическими выдержками в течение 1 ч при 1650–1600 °С, и/или 1600–1550 °С, и/или 1550–1500 °С.

Изобретение может быть использовано в химической, нефтяной и металлургической промышленности, а также в авиатехнике для создания изделий и элементов конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред и требующих герметичности от изделий из углерод-карбидкремниевых композиционных материалов.

«Бюллетень». — 2013. — № 12. — С. 211.

СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА ПАЙКОЙ ТУГОПЛАВКИМ ПРИПОЕМ

Гаранде Ж.-П., Камель Д., Древе Б., Эстатопуло Н., Израэль Р.

Патент RU 2480434
МПК C04B37/00, C04B35/573

Способ соединения по меньшей мере двух деталей из углеродного материала с размером частиц менее 10 мкм, имеющих открытую пористость от 0 до 40 об. %, включает следующие шаги:

a — размещение соединяемых деталей из углеродного материала и кремниевого элемента, в частности имеющего вид полоски кремния, таким образом, что указанный элемент находится между соединяемыми деталями;

b — выдерживание сборной детали, сцепленной из указанных элементов, под давлением с нагревом в инертной атмосфере до температуры от 1410 до 1500 °С в течение от 10 мин до 1 ч, что ведет к расплавлению кремния и формированию шва, содержащего по меньшей мере одну перемычку из карбида кремния на границе раздела соединяемых деталей;

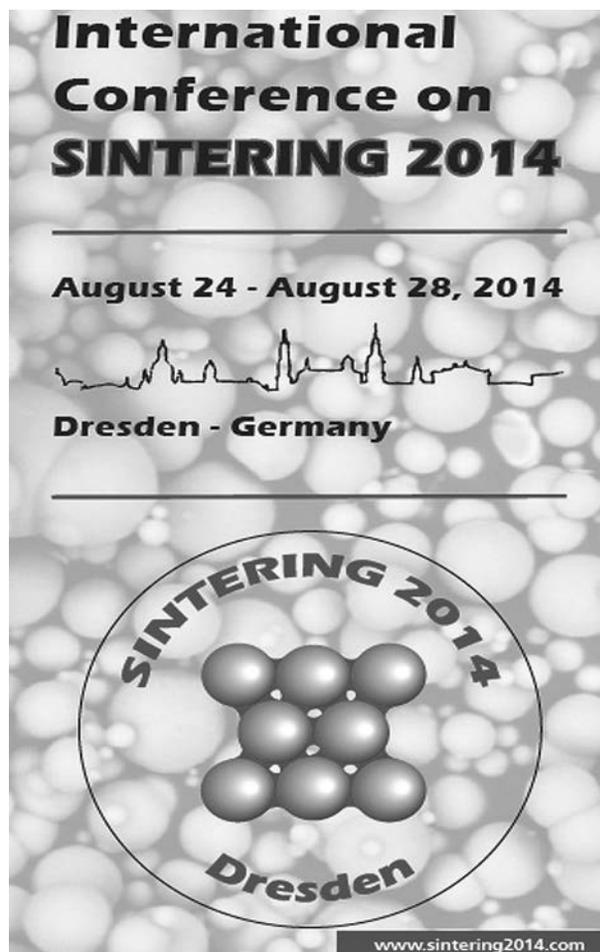
c — нагрев сборной детали, полученной после операции *b*, до температуры, превышающей температуру операции *b* и находящейся в диапазоне от 1500 до 1750 °С, в течение от

3 до 8 ч, с расходом всего расплавленного кремния и формированием шва из карбида кремния по всей поверхности раздела соединяемых деталей из углеродного материала.

Припой, полученный после операции *c*, не содержит остаточного кремния в твердом состоянии. Размер частиц углеродного материала составляет от 1 до 5 мкм. Толщина шва, образовавшегося на границе раздела двух соединяемых деталей, от 10 до 40 мкм, предпочтительно от 20 до 30 мкм. Операция *b* включает нагрев в инертной атмосфере в течение от 20 до 40 мин. Эту операцию выполняют при температуре от 1430 до 1500 °С в течение от 10 до 40 мин. Операцию *c* выполняют при температуре от 1600 до 1700 °С в течение от 3 до 6 ч. Детали из углеродного материала с размером частиц менее 10 мкм, соединенные швом из карбида кремния, проходящим по всей поверхности раздела деталей, получены указанным выше способом. Технический результат изобретения — получение особо чистого соединения углеродных деталей.

«Бюллетень». — 2013. — № 12. — С. 211.

Обзор подготовлен редакцией журнала «Новые огнеупоры»



УДК 666.3.061.3



ИСТОРИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОНФЕРЕНЦИЙ ОАО «ОНПП «ТЕХНОЛОГИЯ»: 1967–2013 гг.

Современное развитие науки и техники, и в первую очередь таких отраслей, как космическая, ракетная, авиационная, ядерная, электронная, увеличивает спрос на материалы и изделия, работающие в экстремальных условиях воздействия высоких температур, термических и динамических нагрузок, ионизирующих излучений и др. Успехи материаловедения в части создания перспективных материалов, технологий и конструкций, работающих в экстремальных условиях, значительно определяют развитие целых отраслей промышленности. Интересно проследить, как разработки новых наукоемких материалов, технологий, конструкций и их серийное производство находят отражение в трудах научно-технических конференций ОНПП «Технология».

Идея проведения конференций зародилась уже с момента создания на базе стекольного завода Филиала научно-исследовательского института технического стекла (ФНИТС). Начальник головного института (НИТС) — известный ученый, доктор технических наук, профессор С. М. Бреховских много сделал для развития научно-производственного потенциала филиала: создавались научные лаборатории, укреплялась производственная база, начинались работы по синтезу новых материалов, разработке технологий изготовления изделий, оборудования и внедрения их в производство. При этом большое внимание уделялось поисковым работам, создающим научно-технический задел. Период становления научных подразделений и конструкторских отделов характеризовался большой творческой активностью. Основной кадровый состав лабораторий, да и всего предприятия, был очень молодым. По инициативе начальника лаборатории исследований и паспортизации материалов А. Г. Ромашина во ФНИТС был создан совет молодых ученых и специалистов (СМУС) и впоследствии принято решение о проведении научных конференций по теме «Жаропрочные неорганические материалы».

Первое научно-техническое совещание молодых ученых «Жаропрочные неорганические материалы» проходило в Обнинске на территории ФНИТС 18–22 июля 1967 г. На совещании рассматривались вопросы получения кварцевой керамики, разработки термостойких стекол и методов их упрочнения, испытаний физико-химических свойств материалов. Было представлено 33 доклада, в том числе 14 докладов от ФНИТС. Следует отметить, что это были первые научные результаты молодых ученых и специалистов. Первая конференция сыграла

положительную роль в налаживании контактов и обмене информацией, координировала и интенсифицировала проводимые работы. Сборник трудов этого научно-технического совещания был издан под редакцией С. М. Бреховских и В. М. Янишевского в 1969 г. в типографии министерства авиационной промышленности. Второе научно-техническое совещание молодых ученых «Синтез, технология производства и методы испытаний жаропрочных неорганических материалов» состоялось 9–12 сентября 1969 г. Было сделано 44 доклада учеными из многих городов РСФСР и республик СССР, в том числе 17 докладов от ФНИТС. Эти материалы заинтересовали в то время многие КБ и НИИ страны.

В дальнейшем конференции стали проводиться регулярно через каждые два года вплоть до 1992 г. Особенность этих конфе-



Д. т. н. С. М. Бреховских на X конференции (1986 г.)



Президиум научно-технического совещания молодых ученых (1967 г.) (слева направо): секретарь комсомольской организации А. В. Пестов, начальник ФНИТС Ф. Т. Горобец, секретарь партийной организации М. Г. Комарков; на трибуне — А. Г. Ромашин

ренций — тематическая направленность, выделяющая определенные классы материалов: оксидную керамику, стекло, стеклокерамику. С каждым годом расширялись спектр исследуемых керамических материалов (кварцевая, нитридная, алюмооксидная керамика), номенклатура термостойких цветных и бесцветных стекол, стеклокристаллических материалов и изделий конструкционной оптики; появились доклады по технологии получения крупногабаритных изделий и методологии исследований высокотемпературных свойств материалов в ИК- и СВЧ-диапазонах спектра.

Научные конференции молодых ученых ФНИТС в Обнинске привлекали внимание не только молодых специалистов, но и известных ученых. Среди них: д. т. н. С. М. Бреховских, Н. В. Соломин, В. М. Янишевский, В. И. Шелюбский, В. Ф. Солинов, И. А. Богуславский (НИТС, Москва); П. П. Будников, П. Д. Саркисов, Д. Н. Полубояринов, Н. М. Павлушкин, Е. С. Лукин, А. С. Власов, Р. Я. Попильский, И. С. Кайнарский, Р. Я. Ходаковская (МХТИ им. Д. И. Менделеева, Москва); Ф. Я. Харитонов (ГИЭКИ, Москва); В. И. Трефилов (ИПМ им. И. Н. Францевича, г. Киев), Г. А. Гогоци (ИПП им. Г. С. Писаренко, г. Киев); Г. Д. Семченко (ХПИ, г. Харьков); И. И. Немец (БелГТАСМ, г. Белгород) и другие. Это придавало ФНИТС авторитет серьезной научной организации.

После создания в 1978 г. ОНПП «Технология» седьмой научно-технической конференции (24–26 ноября 1980 г.) был придан статус всесоюзной; она получила название «Технология неметаллических конструкций». На конференции были представлены две секции: «Технология получения жаропрочных неорганических материалов и изделий» и «Теоретические и экспериментальные методы ис-



Сборники материалов конференций 1969–1977 гг.

следования свойств материалов и изделий». Количество докладов возросло до 125. Материалы были изданы Всесоюзным научно-исследовательским институтом межотраслевой информации (ВИМИ) для обмена передовым научным и техническим опытом. В них были отражены исследования неметаллических конструкционных материалов, технологий изготовления изделий и показана необходимость создания новых методов расчета конструкций из неметаллических материалов.

VIII научно-техническая конференция «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов» (25–27 октября 1982 г.) была посвящена 60-летию образования СССР. Название конференции сохранилось до настоящего времени; тематика была расширена с учетом научных работ филиала ВИАМ. Работа конференции проводилась по трем секциям: «Жаропрочные керамические материалы», «Конструкционная оптика» и «Композиционные материалы».

Количество ученых и специалистов, желающих принять участие в работе конференций, значительно увеличилось; их стали проводить в Доме политической и научно-технической пропаганды. Был создан организационный комитет под председательством А. Г. Ромашина. В работе VIII конференции приняли участие 136 организаций. Среди участников 12 докторов и 122 кандидата наук. Было рассмотрено 225 докладов. Представленные доклады по разработке керамических нитридных конструкционных материалов для элементов газотурбинных двигателей и двигателей внутреннего сгорания (ДВС), термостойких стекол для изделий конструкционной оптики, технологии полимерных конструкционных материалов сыграли большую роль в повышении уровня разработок и в определении основных направлений их дальнейшего развития.

80-е годы XX века характеризуются пиком развития отечественной космонавтики. Создается многообразный космический корабль «Буран». Это вызвало всплеск творческой активности научных работников в области материаловедения для космической техники. Научные разработки специалистов, освещающие их успехи и достижения, были представлены на IX–XII Всесоюзных научно-технических конференциях (1984–1990 гг.). На X Всесоюзной научно-технической конференции были рассмотрены вопросы создания крупногабаритных деталей и агрегатов из полимерных композиционных материалов для космического корабля «Буран», включающие разработку принципиально новых конструктивно-технологических решений для получения деталей створок отсека полезного груза; высокопрочных термостойких радиационно-оптически устойчивых стекол и ионообменной технологии упрочнения крупногабаритных изделий остекления с сохранением оптического качества; отработку материалов и разработку серийной технологии высокотемпературного теплозащитного материала ТЗМК; керамических термобарьерных отсечных мостов. Для их успешного решения было приобретено и создано новое технологическое, исследовательское и испытательное оборудование. Практически все разработки были защищены авторскими свидетельствами СССР на изобретения.

Творческая активность научных работников и значимость конференций подтверждаются нарастающим количеством докладов: в 1990 г. на конференции было рассмотрено 400 докладов. Доклады на конференциях 80-х годов XX века представляли научный интерес не только для специалистов в области космонавтики, авиационной и ракетной техники, но и для разработчиков материалов и изделий судостроения, автомобильной техники, металлургии и медицины. Это обусловлено успешной реализацией конверсии с целью внедрения разработок в другие отрасли промышленности. Появилась рекламная составляющая научных результатов, конференции проходили при поддержке информационно-аналитического и рекламного журнала «Конверсия». На конференции 1990 г. были представлены разработки керамических материалов на основе нитрида и карбида кремния и изделий из них для эксплуатации при температурах выше 1500 °С.

Коренные перемены в стране, связанные с изменениями в государственной и экономической жизни России, резкое снижение финансирования научных исследований, естественно, отразились и на характере проводимых в



VIII Всесоюзная научно-техническая конференция (1982 г.). На трибуне — профессор д. т. н. С. М. Бреховских. В президиуме (слева направо): председатель горисполкома г. Обнинска Н. С. Антоненко, к. т. н. А. Г. Ромашин, к. т. н. А. С. Шаталин, секретарь горкома КПСС В. Я. Киселёв, д. т. н. Р. Я. Попильский; справа вверху — эмблема конференции

ОНПП «Технология» научных конференций. Существенно уменьшилось количество участников и докладов; после 1992 г. конференции проводились с интервалом в три года. На XIII конференции 1992 г., проведенной на базе отдыха ОНПП «Технология», было сделано 110 докладов, на XIV конференции (1995 г.) — 137, на XV (1998 г.) — 87, на XVI (2001 г.) — 101 доклад. С 1998 г. конференции проводились в Центральном институте повышения квалификации (ЦИПК). В период их проведения работал информационно-рекламный центр, были организованы выставки-продажи изделий из стекла, керамики и полимеров, а также экскурсионные поездки в рамках культурной программы.

Накопленный в 90-е годы XX века опыт создания корабля «Буран» был использован для получения новых материалов и изделий остекления железнодорожного транспорта, автоматизированной технологии получения термостойкой посуды, оптических элементов микрокинескопов, изделий для светосигнального и светоосветительного аэродромного оборудования, термopарных чехлов из нитрида кремния, чувствительных элементов λ -датчиков ДВС из диоксида циркония, композиционных керамических бронезащитных элементов, сопел сварочных аппаратов, износостойких деталей штампов, фильер, керамических подшипников, а также товаров народного потребления. Поддержать и в дальнейшем развивать научно-технический потенциал предприятия помогло получение в 1994 г. ОНПП «Технология» статуса Государственного научного центра Российской Федерации. Началось целевое финансирование по Федеральным целевым программам.

Начиная с 2001 г. для организации работы конференций создается программный комитет, в состав которого входят ведущие специалисты и известные ученые с мировым именем; расширяется тематика конференций. На XVI научно-технической конференции (16–18 октября 2001 г.) были представлены доклады по следующим направлениям:

- высокотемпературные керамические конструкционные материалы и технологии изготовления теплонпряженных элементов и узлов газотурбинных и поршневых двигателей, химически-, абразиво-, износостойких, электроизоляционных, теплозащитных изделий различного назначения;

- радиопрозрачные конструкции из керамических, стеклообразных и композиционных материалов для летательных аппаратов;

- термостойкие бесцветные и цветные стекла для остекления транспортных средств, конструкционной оптики, систем навигации, информации, осветительной техники;

- технологии и конструктивно-технологические решения изготовления изделий из полимерных композиционных материалов для авиакосмической техники, наземного транспорта;

- термостойкие электроизоляционные компаунды, герметики и связующие.

В докладах XVII научно-технической конференции (12–14 октября 2004 г.) были изложены совместные результаты керамического и стекольного производства по разработке радиопрозрачных материалов и технологий изготовления обтекателей, объединяющие технологические стадии ситаллообразующего стекла и стеклокерамики. Впервые были озвучены результаты разработки прецизионной технологии нанесения наноразмерных покрытий методом магнетронного напыления, что

позволило создавать многофункциональные покрытия. Представлены исследования в области термостойких связующих теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна, трехслойных стеклопластиковых сотовых конструкций для радиопрозрачных укрытий, многослойных композитных звукопоглощающих конструкций, технологии изготовления крупногабаритных стеклосотоблоков. Отмечен комплексный подход при создании новых изделий из термостойких высокопрочных стекол, полимерных композиционных материалов, высокотемпературной керамики, включающий материаловедческие, конструкторско-технологические исследования, производство и испытание изделий.

Такая же система научных исследований характерна и для докладов последующих XVIII (23–25 октября 2007 г.) и XIX (5–7 октября 2010 г.) международных научно-технических конференций. На них были представлены исследования по созданию нового класса конструкционных материалов — керамоматричных композитов и технологии керамических наноматериалов. Отмечено, что полимерные композиционные материалы значительно улучшают эксплуатационные характеристики новых образцов наземной, воздушной и ракетно-космической техники. Представлены доклады по термостойким связующим и композитам на их основе, крупногабаритным радиопрозрачным изделиям из стеклопластиков, а также результаты исследований по созданию авиационного остекления с учетом новых требований по весовым, прочностным и оптическим характеристикам. Показано, что перспективным является остекление на основе гетерогенных композиций с высокой прочностью и меньшей массой по сравнению с силикатными стеклами.



VIII Всесоюзная научно-техническая конференция (1982 г.). Пленарное заседание, в первом ряду (слева направо): д. т. н. Н. В. Соломин, д. т. н. Р. Я. Попильский, к. т. н. Ю. Е. Пивинский; на трибуне — к. т. н. Р. П. Келина



Президиум X Всесоюзной научно-технической конференции (29–31 октября 1986 г.)

Работы выполнялись с применением наноматериалов, улучшающих свойства композитов, керамики, стекла, что позволило получать «умные материалы» с регулируемыми свойствами.

О важности и актуальности тематики, рассматриваемой на проводимых конференциях, свидетельствует тот факт, что на них были представлены доклады ученых и специалистов ведущих организаций России и стран СНГ:

— академических институтов: ИСМАН, ИПХВ РАН (г. Черноголовка); Научного центра волоконной оптики РАН, ИМАШ им. А. А. Благонравова РАН (Москва); ИХТТМ СО РАН (г. Новосибирск); ИПМ им. И. Н. Францевича, ИПП им. Г. С. Писаренко, ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины (г. Киев); ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН (С.-Петербург); ФТИ и ИТХ АН Латвии (г. Рига); ИХ ДВО РАН (г. Владивосток) и др.;

— вузов: МГУ им. М. В. Ломоносова, МАИ, МГТУ им. Н. Э. Баумана, РХТУ им. Д. И. Менделеева (Москва); ХАИ им. Н. Е. Жуковского, ХПИ (г. Харьков); Томского политехнического университета (г. Томск); УГТУ (г. Уфа); Рижского технического университета (г. Рига); ДонФТИ им. А. А. Галкина НАН Украины (г. Донецк); БелГТАСМ (г. Белгород); Бельского технического университета (Молдова) и др.;

— отраслевых НИИ: ВИАМ, НИТС, ЦАГИ, ЦИАМ, НИАТ, ВНИИЭТО, ГНИИХТЭОС, Государственного института стекла (Москва); ЦНИИСМ (г. Хотьково); ГОИ им. С. И. Вавилова, ВНИИТВЧ, ОНЦ «Прикладная химия» (С.-Петербург); Саратовского института стекла (г. Саратов); УкрНИИО им. А. С. Бережного (г. Харьков); УкрГИС (г. Константиновка); НИКТИД (г. Владимир) и др.;

— предприятий: РКК «Энергия» (Ракетно-космическая корпорация им. С. П. Королёва), НПО «Композит» им. С. П. Королёва (г. Королёв), ОАО «Камов» (г. Люберцы), НПО им. С. А. Лавочкина (г. Химки), ГКНПЦ им. М. В. Хруничева (Москва), ОАО «Авангард» (г. Сафроново), ГП ВНИИПВ (г. Мытищи),

КМПО (г. Казань), ОАО «Лисма» (г. Саранск), НПФ «Керамбет» (С.-Петербург), ОАО «Комбинат «Магнезит» (г. Сатка), БНПО порошковой металлургии (г. Минск), НПО «Физика–Солнце» (г. Ташкент), ОАО «УкрНИИТМ» (г. Днепрпетровск), ГП «Ивченко-Прогресс» (г. Запорожье), ГП «Антонов» (г. Киев), ООО «ЗГМ» (г. Дзержинск), ООО «АпАТЭК-Дубна» (г. Дубна) и др.

Перечень организаций-участников показывает, что конференции ОАО «ОНПП «Технология» пользуются заслуженным авторитетом среди ученых-материаловедов, технологов и конструкторов в области конструкций и технологий получения изделий из неметаллических материалов и проходят на высоком научно-техническом уровне. Уникальные разработки и высокий научно-технический потенциал ГНЦ РФ ОНПП «Технология» в области неметаллических материалов, представленные на 19 научно-технических конференциях (1967–2010 гг.), позволили создавать наукоемкую продукцию для перспективных авиационной, ракетно-космической, автомобильной, металлургической и других отраслей промышленности, в частности крупногабаритные углепластиковые обтекатели РН «Протон», «Рокот», «Ангара», сложнопрофильные композитные детали ПАК ФА V поколения Т-50, авиалайнера МС-21, радиопрозрачные укрытия, авиационное и железнодорожное остекление с многофункциональными покрытиями и другие разработки.

XX научно-техническая конференция «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов» проходила 1–3 октября 2013 г. В работе юбилейной конференции приняли участие более 400 делегатов, представлявших около сотни ведущих предприятий и институтов России и зарубежья. В чис-



XV Всесоюзная научно-техническая конференция (ЦИПК, 15–18 сентября 1998 г.)



XX Международная научно-практическая конференция

«SONIMAT» (Франция) и «VIST COMPOSITE» (Россия) поделились опытом ремонта конструкций из полимерных композиционных материалов. Также было организовано проведение «круглого стола» по вопросам перспектив создания центра превосходства — кластера аэрокосмических технологий и конструкций в Калужской области.

Торжественное собрание, посвященное открытию конференции, было приурочено к 25-летию полета первой советской многоцелевой космической системы «Энергия-Буран», который подтвердил выдающиеся достижения нашей науки и техники, сумевшей реализовать самый масштабный и уникальный проект мирового значения. Запуск отечественного космического челнока заложил основы современного композитного производства в России, а участие Обнинского НПП «Технология» в программе создания космического корабля «Буран» стало знаковым событием, определившим современный облик предприятия как центра компетенций международного уровня.

Опыт работы ОНПП «Технология» и многих ведущих предприятий России при создании новых материалов и конструкций в рамках проекта «Энергия-Буран» явился прекрасным примером комплексной организации современного научного исследования, разработки на его основе уникальной технологии и как результат — организации серийного производства изделий и материалов с заданными свойствами.

В сборник трудов конференции вошли тексты приветствий генерального директора холдинга «РТ-Химкомпозит» С. М. Сокола, заместителя директора Департамента авиационной промышленности А. И. Ляшенко, главы городского самоуправления г. Обнинска В. Н. Савина, а также сделанные на пленарном заседании доклады исполнительного директо-

ле участников — ученые и специалисты ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, ОАО «Компания «Сухой», РКК «Энергия», ОАО «ОАК-Транспортные самолеты», ФГУП «ЦАГИ» ГНЦ РФ, ОАО «Авиадвигатель» и др., а также представители фирм «Mikrosam A.D.» (Македония), «SONIMAT», «STEVİK», «GMI-AERO», «HEXCEL» (Франция), «Airtech Europe Sarl» (Люксембург), ГП «Антонов» (Украина), «AAALaw» (Литва) и др.

В рамках конференции работали традиционные секции: полимерные композиционные материалы и конструкции; стекло и оптические покрытия; керамические материалы со специальными свойствами, а также две новые — ремонт конструкций из полимерных композиционных материалов и управление инновационными процессами. Появление новых секций дало возможность участникам обменяться опытом по таким актуальным вопросам, как ремонт и послепродажное обслуживание изделий из композиционных материалов, развитие инновационной составляющей на крупных предприятиях. Кроме того, в программу конференции впервые включен профильный мастер-класс, на котором специалисты фирм «STEVİK» (Франция), «GMI-AERO» (Франция),

ра ФГУП «ЦАГИ» ГНЦ РФ С. Л. Чернышева, генерального директора ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ Е. Н. Каблова, генерального директора ОАО «НИАТ» О. С. Сироткина, ректора МГТУ им. Н. Э. Баумана А. А. Александрова, генерального директора ОАО «ОНПП «Технология» ГНЦ РФ О. Н. Комиссара. Основное место в издании заняли тезисы 200 докладов. Новые результаты будут с успехом представлены на будущих конференциях в Обнинске. Ниже приведен перечень трудов конференций.

1. Жаропрочные неорганические материалы // Сб. докл. молодых ученых на 1-м науч.-техн. совещ. — М.: НИТС, 1969.

2. Жаропрочные неорганические материалы // Сб. докл. молодых ученых на 2-м науч.-техн. совещ. «Синтез, технология производства и методы испытаний жаропрочных неорганических материалов». — М.: НИТС, 1971.

3. Жаропрочные неорганические материалы // Сб. докл. молодых ученых на 3-м науч.-техн. совещ. «Синтез, технология производства и методы испытаний жаропрочных неорганических материалов». — М.: НИТС, 1974.

4. Жаропрочные неорганические материалы // Сб. докл. на 4-м науч.-техн. совещ. «Синтез, технология производства и методы испытаний жаропрочных неорганических материалов». — М.: НИТС, 1975. — Вып. 4.

5. Жаропрочные неорганические материалы // Сб. матер. V Всес. конф. «Синтез, технология производства и методы испытаний жаропрочных неорганических материалов». — М.: НИТС, 1977. — Вып. 5.

6. Синтез, технология производства и методы испытаний жаропрочных неорганических материалов и конструкций // Сб. VI Всес. конф. — М.: ВИМИ, 1980. — Ч. 1; 1981. — Ч. 2.

7. Технология неметаллических конструкций // Сб. тез. докл. VII Всес. конф. — М.: ВИМИ, 1980.

8. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Матер. VIII Всес. науч.-техн. конф. — М.: ВИМИ, 1982. — Ч. 1: Жаропрочные керамические материалы; — Ч. 2: Конструкционная оптика; — Ч. 3: Композиционные материалы.

9. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. IX Всес. науч.-техн. конф. — Обнинск,

1984. — Ч. 1: Жаропрочные керамические материалы; — Ч. 2: Изделия конструкционной оптики; — Ч. 3: Полимерные композиционные материалы.

10. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. X Всес. науч.-техн. конф. — М.: ВИМИ, 1986. — Ч. 1: Жаропрочные керамические материалы; — Ч. 2: Конструкционная оптика; — Ч. 3: Полимерные композиционные материалы.

11. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XI Всес. науч.-техн. конф. — М.: ВИМИ, 1988. — Ч. 1: Жаропрочные керамические материалы; — Ч. 2: Конструкционная оптика; — Ч. 3: Полимерные композиционные материалы.

12. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XII Всес. науч.-техн. конф. — М.: ВИМИ, 1990. — Ч. 1: Жаропрочные керамические материалы; — Ч. 2: Конструкционная оптика; — Ч. 3: Полимерные композиционные материалы.

13. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XIII науч.-техн. конф. — Обнинск, 1992.

14. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XIV науч.-техн. конф. — Обнинск: Конверсия, 1995.

15. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XV науч.-техн. конф. — Обнинск, 1998.

16. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XVI науч.-техн. конф. — Обнинск, 2001.

17. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XVII науч.-техн. конф. — Обнинск, 2004.

18. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XVIII Междунар. науч.-техн. конф. — Обнинск, 2007.

19. Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов // Тез. докл. XIX Междунар. науч.-техн. конф. — Обнинск, 2010. ■

Получено 15.11.13

© Д. т. н. **А. Г. Ромашин**, к. т. н. **Р. П. Келина**,
к. т. н. **И. Ю. Келина** (ОАО ОНПП «Технология»),
2014 г.

19-я международная

МЕТАЛЛ ЭКСПО

промышленная выставка

2013

В Москве 12–15 ноября 2013 г. состоялась 19-я международная промышленная выставка «Металл-Экспо'2013», в которой приняли участие 714 компаний из 37 стран мира. Экспозицию посетили около 30 тыс. потребителей черных и цветных металлов из стройиндустрии, машиностроения, топливно-энергетического комплекса, транспортных и логистических, металлоторговых компаний.

ТЕМАТИКА ВЫСТАВКИ

— Черные металлы: производство продукции черной металлургии (заготовки, сортовой и листовой прокат, трубы)

— Цветные металлы: производство продукции цветной металлургии (сырье, вторичные металлы, полуфабрикаты, прокат, профили)

— Производство продукции из специальных сталей и сплавов: плоский и сортовой прокат, трубы

— Продукция высоких переделов: лист с покрытием, гнутые профили, металлоконструкции и др.

— Метизные изделия: проволока, канаты, сетка, крепеж и др.

— Металлотрейдеры и складская торговля продукцией черных и цветных металлов

— Оборудование и технологии для металлургической промышленности

— Оборудование и технологии для горнодобывающей промышленности

— Подъемно-транспортное оборудование

— Сырье и материалы для металлургии: ЖРС, ферросплавы, руды цветных металлов, кокс и др.

— Сбор и переработка ломов черных и цветных металлов

— Транспорт и логистика в металлургии и металлоторговле

— Сервисные металлоцентры в металлургии и металлоторговле

— Листо- и сортообработка: резка, профилирование, гибка, сварка

— Оборудование и технологии для сервисных металлоцентров

— Сварочные материалы, оборудование и технологии

— Огнеупоры, техническая керамика для металлургии и литейного производства

— Фундаментальные и прикладные научные разработки в области черной и цветной металлургии и нанотехнологий





— Отраслевые объединения и союзы, СМИ, IT-технологии, интернет-коммерция, автоматизация производственных и бизнес-процессов для металлургии и металлопереработки

— Финансы, инвестиции, страхование, лизинг; экология в металлургии, охрана труда и техника безопасности.

Ежегодный масштабный выставочный форум собрал ведущие металлургические компании, трубные и метизные заводы, предприятия по обработке цветных металлов, производители алюминиевых сплавов, проката, профилей и конструкций, строителей, машиностроителей, нефтяников и газовиков, представителей других отраслей реального сектора экономики. В рамках «Металл-Экспо'2013» состоялась обширная деловая программа — более 50 конференций, семинаров и круглых столов. В выставке «Металл-Экспо'2013» приняли участие также огнеупорные предприятия России: ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», ОАО «Динур», Богдановичское ОАО «Огнеупоры», ОАО «Сухоложский огнеупорный завод»,

ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог», а также другие предприятия и компании, занимающиеся производством и поставкой волокнистых и теплоизоляционных огнеупорных изделий и оборудования: НПП «Изомат», ООО «Региональная торгово-промышленная компания», НПП «Вулкан-ТМ» и др. Среди предприятий, представивших на выставке в этом году свою продукцию:

- **ОАО «Динур».** В перечень новой продукции входят: ковшевые корундопериклазоуглеродистые, кремнеземоуглеродистые термостойкие огнеупоры; фурмы для донной продувки металла в ковше; низкоцементные сводовые изделия и массы для доменных желобов; корундографитовые стопоры-моноблоки, защитные трубы, погружаемые стаканы и стаканы-дозаторы;

- **Богдановичское ОАО «Огнеупоры».** Новая продукция: масса шамотная оборотовочная МШО-28; изделия ШПД-39 для кладки доменных печей; изделия высокоогнеупорные





на фосфатной связке плотные МКФП-90; муллитокремнеземистое иглопробивное одеяло МКРИО-1260; модули МКРИОМ-1260 из муллитокремнеземистого одеяла;

- **ОАО БКО** ведет активную научно-исследовательскую деятельность и предлагает новейшие разработки: изделия легковесные теплоизоляционные; изделия крупноблочные шамотные, муллитовые и муллитокорундовые; изделия периклазошпинельные, периклазоуглеродистые; высокоэффективные изделия для МНЛЗ; изделия из тиксотропных бетонов; низкоцементные бетонные смеси BORCAST; торкрет-массы, смеси, огнеупорные порошки, мертели, высокоглиноземистый цемент;

- **ООО «Волокнистые огнеупоры»** является разработчиком технологий и производителем изделий, выпускаемых по безобжиговой технологии в виде «мокрого» войлока, плит, картона, блоков, и различных фасонных изделий с температурой службы 1200 и 1350 °С. Освоено крупносерийное производство оболочковых вставок прибыльных частей отливок как газового давления с обогревом экзотермическими смесями, так и теплоизоляционных, адиабатных. Возможно серийное изготовление вставок по индивидуальному техническому заданию заказчика;

- **НПП «Вулкан-ТМ»** предлагает проектирование, производство и комплектную поставку современных систем непрерывной разливки стали для ковшей вместимостью 380 т и огнеупорных комплектующих для сталелитейного производства. К ним относятся: шиберные

затворы модульного типа серии ВТ для высокопроизводительных МНЛЗ и сифонной разливки стали; стаканы-коллекторы, ковшевые стаканы, шиберные плиты, гнездовые блоки; горелочные камни, муфели; «бойные» плиты, перегородки, турбостоп; продувочные пробки и узлы; неформованные огнеупоры, мертель; металлургическое оборудование (линии производства порошковой проволоки, трайб-аппарат, смесители, ЗИП);

- **ЗАО НПП «Изомат»** предлагает новую волокнистую огнеупорную теплоизоляцию: одеяло Isulfrax S — новейший продукт в ассортименте продукции, изготовленной из растворимых волокон; одеяло Isofrax 1260С — новое волокно с уникальным запатентованным силикатно-магнезиальным составом;

- **ОАО «Сухоложский огнеупорный завод»** предлагает широкий ассортимент шамотных алюмосиликатных огнеупоров. Большое внимание уделяется освоению и внедрению новых видов изделий. К ним относятся: огнеупорные сухие бетонные смеси БОССЛ-105 и БОССЛ-124; огнеупорный термостойкий клей ТК-1300; теплоизоляционные изделия СЛ-23 (аналог JM 23 — продукции фирмы «Morgan Advanced Materials»);

- **ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог»** разрабатывает, производит и осуществляет поставку высокотемпературного кирпича и монолитных огнеупоров. Новая продукция: огнеупорное керамическое стекловолокно Cerablanket™, Cerachem™ Blanket; плиты Kaowool® Boards (аналог Ceraboard);



В этом году в рамках «Металл-Экспо'2013» в третий раз прошла торжественная церемония вручения награды «Главное событие 2013 года в металлургии России», призванная поддержать и максимально популяризировать инновационные проекты отрасли. Целый ряд компаний награждены золотыми и серебряными медалями выставки «Металл-Экспо'2013» за разработки и внедрение оборудования и технологий, отвечающих современному техническому уровню, молодым ученым присуждены денежные гранты. Кадровые вопросы становятся все острее и острее, поэтому выставка «Металл-Экспо'2013» выступает еще и площадкой привлечения молодежи в реальный сектор промышленности, ежегодно организуя слет студентов и аспирантов профильных вузов «Будущее закладывается сегодня». Подведены также итоги конкурсов «Мисс металлургия», на лучшую видеопродукцию «Metal-Vision», на лучшее корпоративное СМИ, на лучшие решения применения стали и алюминия в строительстве. Выставка «Металл-Экспо'2013» дала возможность привлечь новый научно-промышленный потенциал в российскую промышленность.

- **ООО РТПК** (Группа компаний Барамист) показало на своем стенде образцы традиционной продукции. Впервые был представлен стенд применения теплоизоляционных изделий (участок модульной футеровки печи);

- От Украины на выставке присутствовали компания **GIR** (General Investment Resources) и ее представительство GIR Europe SA (ГИР Восточная Европа). Компания объединяет: ПАО «Красноармейский динасовый завод»; ПАО «Красногоровский огнеупорный завод»; ПАО «Кондратьевский огнеупорный завод»; ПАО «Великоанадольский огнеупорный комбинат». На стенде компании были представлены высокоэффективные огнеупорные изделия для металлургических, коксохимических, машиностроительных предприятий и предприятий стекольной промышленности;

- **ООО «Интермет Инжиниринг»** представило стенд с целым рядом книг по металлургии и производству огнеупорных материалов и изделий, а также выпускаемые журналы «Сталь» и «Новые огнеупоры».

Званиями лауреатов выставки и серебряными медалями «Металл-Экспо'2013» были отмечены достижения следующих предприятий:

- **ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров»** за разработку и освоение производства высококреповых огнеупорных муллитокорундовых изделий марки DRL-150 для кладки воздухопроводов горячего дутья бесшахтных воздухонагревателей;

- **ОАО «Северсталь», НИТУ «МИСиС»** за разработку и освоение производства огнеупорного муллитокорундового бетона с оксидными нанопорошками. ■

Получено 06.12.13

© **Т. П. Кошкина**, 2014 г.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

- 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. Изображения (за исключением диаграмм Excel), введенные в файлы формата doc, в качестве оригиналов не принимаются, как не обеспечивающие стандартного качества полиграфического исполнения.
- Представляя рукопись в редакцию, авторы передают издательское право на публикацию ее в журнале. В качестве гонорара авторы получают 1 экземпляр журнала или оттиск своей статьи, который высылается первому автору или любому другому (по указанию авторов). Направление в редакцию работ, опубликованных или посланных для напечатания 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.

RULES OF DRAWING UP OF ARTICLES

- 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. 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 either one copy of the journal or one copy of the article as the compensation, the copy can be sent to the main author or to any other author (by authors' direction). It is 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.

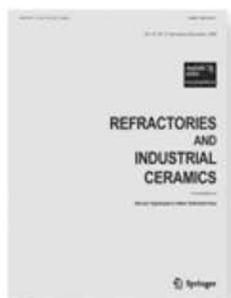
Технические требования к рекламе внутри журнала «Новые огнеупоры» (для каждой страницы)

- 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, цветовая модель CMYK.

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

- 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, 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 666.76:621.746.047

The application of pliable refractories of improved design for the metal stream shrouding in course of continuous casting process

Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Marochkin O. A. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 3–5.

The technologies and equipment are regarded in the article for the metal flows controlling in the steel-teeming ladle–tundish ladle area of the billet continuous casting machine. The constructional details are designed for metal stream shrouding necessary for the continuing casting process at the billet CCM. The equipment eliminates the air penetrating into the metal in course of the metal pouting and provides the reasonable parameters of argon injection into the refractory tube's annular groove, which allows to improve the quality of the pouring metal. Ill. 4. Ref. 4.

Key words: CCM, tundixh ladle, refractories, mechanical arm, argon.

UDC 666.76.001.8.002.33(5-012)

Non-conventional refractory raw materials at the Far East of Russian Federation

Skyarova G. F. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 6–13.

The application potential of the natural refractory raw materials such as high-alumina rock containing sillimanite, disthene and andalusite group of minerals, as well as alunite, anorthosite, and zircon-contained rock is regarded in the article. According to the preliminary quality and quantity estimations these raw materials satisfy the requirements of refractory materials feed composition's quality. Ref. 5. Tab. 1.

Key words: non-conventional refractory raw materials, high-alumina rock, alunite, anorthosite, zircon-contained raw materials, Far East.

UDC 666.762.852:621.979.17(931)

Formation of Si₃N₄ bonded SiC sidewall bricks by dynamic impact pressing

Al-Joubory Kassim // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 14–18.

An inexpensive production method of refractories for aluminium reduction cell cathode is of importance in the operating economics of an aluminium smelter. Unlike hydraulic uniaxial pressing dynamic impact pressing does not require immensely strong mould construction and high capacity press and thus contribute to low cost production of refractories. Careful selection of particle size distribution of SiC grits and Silicon powders, granular mix moisture content increases packing density and provides higher green densities. This method provides high performance sidewall bricks with excellent properties and long service life bricks. Ill. 5. Ref. 6. Tab. 1.

Key words: silicon carbide refractories, Si₃N₄ bonded, dynamic impact pressing, nitriding.

UDC 66.041.498.043.1.013.8:658.011.56

Telescope TBR for the safe and fast converter's relining

Moskovchuk V. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 19–23.

The lining telescope manufactured by TBR Company (INTECO's subsidiary, Austria) for relining of the converter with detachable bottom. The high-value target of the telescope design is not so much the substantial reducing of the work performance length, as both the decreasing of the personnel's physical load and providing the metallurgists the installation which would have followed through with the up-to-date safety worker's health requirements. The regulations relating to the working reliability and the personnel's loads when moving of weights are stated. Ill. 4. Ref. 3. Tab. 2.

Key words: lining telescope TBR, lining, converter with detachable bottom, industrial safety, moving of loads.

UDC 549.517.1:66.065.51

The influence of water on the α -Al₂O₃ crystallizing within alumina gels

Galakhov A. V., Zelenskii V. A., Shelekhov E. V., Kovalenko L. V. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 24–27.

The resulting investigations are presented for phase's transformations in course of α -Al₂O₃ synthesis out of dehydrated alumina gel. It was shown that removing of water from the precursor influences essentially on the transformation chain in the synthesis temperature range. The crystallization temperature of α -Al₂O₃ comparing to that of the gel deposited from the water solution reduces by 300 °C, that is from 1200 till 900 °C. Ill. 2. Ref. 9. Tab. 1.

Key words: α -Al₂O₃, aluminum oxide, phase's transformations, alumina gel, OH-groups.

UDC 666.762.3:621.746.06

Ceramic product for aluminum melts metering out

Shmuradko V. T., Roman O. V., Il'yushchenko A. F., Sudnik L. V., Kirshina N. V. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 28–30.

The production of special aluminum-magnesium alloys and appropriate refractories are regarded in the article from the point of view of both the physical and chemical processes and metallurgy of aluminum, the functional performances of the melting-castable equipment and of the ceramic lining taking into account, all mentioned features intended to control structure and chemical parameters of the cast products in course of their manufacturing. The compositions and process engineering solutions were developed for the obtaining of fabricated refractory bricks on base of cement-free ceramic concrete. Ill. 1. Ref. 7.

Key words: ceramic products, melting-cast equipment, metering out unit, ceramic concrete, highly concentrated ceramic bonding suspensions (HCBS).

UDC 666.762.853+666.762.11

Ceramic composition material on base of silicon carbide and corundum with corundum matrix

Garshin A. P., Shumyacher V. M., Pushkarev O. I. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 31–34.

The results are presented in the article for both the forming process and some properties studied on the abrasive composite material with the corundum matrix in SiC–Al₂O₃ system. The material has been obtained by means of metallic aluminum adding in the batch applied

in the conventional method of commercial silicon carbide fabrication. Ill. 5. Ref. 6. Tab. 2.

Key words: silicon carbide, corundum, silicon dioxide, petroleum coke, metallic aluminum, composite material SiC-Al₂O₃.

UDC 666.762.11-127

Porous permeable corundum ceramics formed out of aluminum hydroxide powders. Part I. The investigation of aluminum hydroxide powders of various brands

Krasnyi B. L., Tarasovskii V. P., Mosin Yu. M., Krasnyi A. B., Omarov A. Yu. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 35–41.

The results on the formation and properties of porous permeable ceramics are given in the article, the ceramics having high values of both the apparent porosity and aluminum hydroxide's powder's strength for aluminum of various brands. The part I of the article is concerned with investigation of the properties of these powders. Ill. 3. Ref. 12. Tab. 3.

Key words: porous corundum ceramics, aluminum hydroxide powders, gibbsite, bayerite, boehmite.

UDC 621.778.1.073:666.3]:669.018.25

Strain inhomogeneity in the ceramics' surface layer under the external load. Part III. The influence of distributed loading

Kuzin V. V., Grigoriev S. N., Ermolin V. N. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 42–46.

The results of complex investigation of the strain inhomogeneities in the ceramics surface layer are given in the article. The surface layer's strain-stress state was investigated under the distributed load for the ceramics on base of zirconium dioxide. The high stress inhomogeneities in the ceramics' structural elements were found out. It is mentioned that the stress inhomogeneities have to be taken into account when describing of the wear and fracture mechanisms, as well as when designing the products made out of this ceramics for the given processing conditions. Ill. 5. Ref. 15. Tab. 1.

Key words: ceramics, inhomogeneities, strain-stress state, surface layer, simulation, zirconium dioxide, designing.

UDC 666.762.1.046.4:66.041.57.043.1

The physics and chemistry of the skull formation in the rotary furnaces when using of the brown fused aluminum's slime's by-products

Sharapova V. V. // *New Refractories*. — 2014. — No 1. — P. 47–50.

The forming of the skull's thick layers in the rotary furnace when using brown fused aluminum's slime's by-products in the batch for the mullite-corundum chamotte depends on the chemical and mineral composition of both the batch and skull's compounds, as well as on wetting process and on the sub-titanites's influence on the physical and chemical processes taking place in the rotary furnace. Ill. 4. Ref. 5. Tab 1.

Key words: skull, brown fused aluminum's slime (BAS), chemical and mineral composition, wetting, sub-titanites.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

57th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2014



September, 24th and 25th 2014 • EUROGRESS, Aachen, Germany

**57-й международный коллоквиум по огнеупорам 2014
ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ**

24–25 сентября 2014 г.

г. Аахен, Германия

ТЕМЫ:

- | | | | |
|------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| ★ Чугун | ★ Цветные металлы | ★ Формованные и | ★ Износ |
| ★ Сталь | ★ Metallургия | неформованные | ★ Управление |
| ★ Медь | ★ Разливка стали | огнеупоры | качеством |
| ★ Легкие металлы | ★ Техника литья | ★ Монтаж и сервис | ★ Утилизация |

www.feuerfest-kolloquium.de/kolloquium-2014

2014



**ПОЛУЧИТЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ
ИНФОРМАЦИЮ!**

Адрес издательства:
127006, Москва,
Старопименовский пер.,
д. 8, строение 1-1А
Телефоны:
(495) 699 97 85, 755 90 91

**Подписаться на журнал
можно в издательстве
(с любого месяца)**

- Цена одного номера журнала без стоимости пересылки 770 рублей (с учетом 10 % НДС)
- Заявку на подписку отправлять по e-mail: info@imet.ru, ogneupor@imet.ru или по факсу: (495) 755 90 40

**Подписку можно также оформить
через агентства:**

- 000 «Урал-Пресс»: тел. (495) 789 86 36
- АРЗИ: Объединенный каталог «Пресса России» (индекс 87595)
- Роспечать: Каталог «Газеты. Журналы» (индексы 81376 и 82708)



Рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр S8 TIGER

- Определение химического состава сырьевых материалов, огнеупоров
- Простая и быстрая пробоподготовка твердых и порошкообразных материалов
- Анализ элементов от бериллия до урана
- Диапазон измеряемых концентраций от долей ppm до 100%
- Воспроизводимость 0,05 % отн.
- Быстрый обзорный анализ и получение полуколичественных результатов без использования стандартных образцов
- Современное программное обеспечение SPECTRA^{plus}

Настольный рентгеновский дифрактометр D2 PHASER

- Качественный и количественный фазовый анализ
- Определение степени кристалличности
- Характеристики фазы (параметры ячейки, размер кристаллитов, микронапряжения)
- Определение кристаллических структур
- Широкий спектр прободержателей стандартного промышленного размера (Ø 51.5 мм) для различных задач



Рентгеновский дифрактометр D8 ADVANCE

- Качественный и количественный анализ кристаллических фаз
- Определение размеров кристаллитов
- Анализ фазовых переходов при изменении температуры, влажности и давления с использованием соответствующих камер
- Определение остаточных напряжений
- Быстрая съемка при помощи позиционно-чувствительного детектора
- Автоматический режим сбора данных и дальнейшая обработка результатов программным пакетом DIFFRAC^{plus}

xray@bruker.ru

www.bruker.ru

ООО «Брукер»

Россия, 119017, Москва,
ул. Пятницкая, 50/2, стр. 1
Тел.: (495) 517 92 84, 517 92 85
Факс: (495) 517 92 86

Региональные представительства:

Санкт-Петербург: (812) 323-4609
Екатеринбург: (343) 257-8592
Казань: (987) 290-8189
Нижний Новгород: (831) 416-0660
Новосибирск: (983) 121-6389