



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

С Днем Металлурга!

Огнеупоры в тепловых агрегатах ▲

Сырьевые материалы ▲

Производство и оборудование ▲

Теплотехника ▲

Научные исследования и разработки ▲

Информация и хроника ▲

7

ИЮЛЬ 2016



QINGHUA REFRACTORIES

Qinghua Refractories: лидер по производству и поставке разных магнезиальных огнеупоров в Китае

Производительность в год : 1 миллион тонн формованных и неформованных огнеупоров

Основные огнеупоры: периклазоуглеродистые, алюмопериклазоуглеродистые, Al_2O_3 -SiC-C-изделия, магнезитоизвестковые, периклазохромитовые, периклазоалюмошпинельные, периклазовые, магнезитоциркониевые, шибберные плиты, ковшевые стаканы и стаканы-коллекторы; мертели, торкрет-массы, набивные массы и т. д.

Применение: агрегаты черной и цветной металлургии, вращающиеся печи цементной промышленности, регенераторы для стекольной промышленности

В России и СНГ для продажи огнеупоров и послепродажного обслуживания

Поиск партнеров, фирмы, компании для сотрудничества огнеупоров
Ищем агентов, дилеров и торговых представителей по сбыту китайских
огнеупоров для металлургической и цементной промышленности

Приглашаем к сотрудничеству компании, профессиональных специалистов,
имеющих обширные клиентские базы,
способных осуществлять техническое обслуживание огнеупоров
и их модернизацию



РЕКЛАМА

Контактное лицо:

Лю Пусяо, начальник отдела по СНГ

Qinghua Refractories Co., Ltd.

Tel.: +86 417 6587888, 6680333 ext. 71931

Fax: +86 417 6587771

Мобиль: +86 13840707667

Skype: pingfan521jz168px

E-mail: puxiao@qinghuaref.com

www.qinghuaref.com

Адрес: Qinghuali Panlong Street, Dashiqiao City, Liaoning, China, 115100

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **КАЩЕЕВ И. Д.**
Зам. главного редактора **АКСЕЛЬРОД Л. М.**

БЕЛЕНЬКИЙ А. М.	ЛЕБЕДЕВ Ю. Н.	ФИЛОНОВ М. Р.
БЕЛЯКОВ А. В.	ЛУКИН Е. С.	ФОМИЧЕВ М. С.
ВЕРЕЩАГИН В. И.	МОЖЖЕРИН В. А.	ШЕВЧИК А. П.
ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	ОДЕГОВ С. Ю.	ШЕШУКОВ О. Ю.
ВОРОНИНА О. Б.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.	ШУБИН В. И.
ГОРБАНЕНКО В. М.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.	ЮРКОВ А. В.
ГОРОХОВСКИЙ А. В.	ПЫРИКОВ А. Н.	
ГОРОХОВСКИЙ А. М.	СМИРНОВ Л. А.	ANEZIRIS CHRISTOS G. (ГЕРМАНИЯ)
ГРИШПУН Е. М.	СОКОВ В. Н.	GARTEN VICTORIA (ГЕРМАНИЯ)
ДАВЫДОВ С. Я.	СОКОЛОВ В. А.	MARTYNENKO VALERY (УКРАИНА)
ДОРОГАНОВ В. А.	СОСКОВЕЦ О. Н.	SEMCHENKO GALINA (УКРАИНА)
КАЛЕНДА А. В.	СТОЛИН А. М.	STONYS RIMVYDAS (ЛИТВА)
КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.	СУВОРОВ С. А.	WOHRMEYER CHRISTOPH (ГЕРМАНИЯ)
КУЗНЕЦОВ Д. В.	СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.	
КУРУНОВ И. Ф.	ТАРАСОВСКИЙ В. П.	

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

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-65789 от 20.05.2016 г.

Адрес редакции:
119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4 (п/я № 217)
Тел.: (495) 955-01-83, (495) 955-01-82
E-mail: ogneupor@imet.ru, ognemet@misis.ru



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

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

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

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

Подписано в печать 19.07.16. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная.
Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,50.
Заказ

Аксельрод Л. М. Конкуренция на металлургическом рынке — двигатель конкуренции на рынке огнеупоров.....3

Aksel'rod L. M. Competition on the metallurgical market is the driver of competition on the market of refractories.....3

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Краснянский М. В., Егоров И. В., Орленко А. Е., Иваница С. И., Джундиет М. Г., Балавнева Ю. В. Разработка металлоприемников для промежуточного ковша, обеспечивающих непрерывную разливку сверхдлинными сериями.....17

Krasnyanskii M. V., Egorov I. V., Orlenko A. E., Ivanitsa S. I., Dzhundiet M. G., Balavneva Yu. V. The metal reservoir's development for the tundish which enables continuous casting by ultra-long series.....17

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

RAW MATERIALS

Эминов А. А., Кадырова З. Р., Абдуллаева Р. И. Исследование кварцитов пород Узбекистана для получения динасовых огнеупоров.....22

Eminov A. A., Kadyrova Z. R., Abdullaeva R. I. Uzbekistan quartzite investigation for the dinas refractory production...22

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Федоровцева А. В., Яковлева Л. П. Производство плавного диоксида циркония в ОАО «Первоуральский динасовый завод».....25

Perepelitsyn V. A., Gorokhovskii A. M., Fedorovtseva A. V., Yakovleva L. P. Fused zirconium dioxide production at JSC «Pervouralsk Dinas Plant».....25

Шлегель И. Ф., Иванов В. Г., Шаповалов Д. Л. Новый типоряд жаровых вентиляторов «Гелиотис».....30

Shlegel' I. F., Ivanov V. G., Shapovalov D. L. New family of high temperature ventilators «Geliotis».....30

ТЕПЛОТЕХНИКА

HEAT ENGINEERING

Кажикенова С. Ш. Мониторинг технологических схем в производстве черных металлов.....33

Kazhikenova S. Sh. The process flow sheets monitoring in the ferrous metals production.....33

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Берш А. В., Мазалов Д. Ю., Соловьев Р. Ю., Судник Л. В., Федотов А. В. Наноструктурные дезагрегированные порошки гидроксида и оксидов алюминия.....37

Bersh A. V., Mazalov D. Yu., Soloviev R. Yu., Sudnik L. V., Fedotov A. V. Nanostructured disaggregated aluminum hydroxide and alumina oxide powders.....37

Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Дзержинский Р. В., Федотов А. В. Исследование термостойкости огнеупоров для импульсных высокотемпературных установок.....43

Kashcheev I. D., Zemlyanoy K. G., Dzerzhinsky R. V., Fedotov A. V. The investigation of the refractories thermal stability for the pulse high-temperature installations.....43

Пивинский Ю. Е., Дякин П. В., Бураков А. Д., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Гусев Н. В., Хабарова В. И., Каратаев Д. А. Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавного кварца. Часть 11. Опыты по реализации новой безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров.....48

Pivinskii Yu. E., Dyakin P. V., Buravov A. D., Gorokhovskii A. M., Karpets L. A., Gusev N. V., Khabarova V. I., Karataev D. A. The investigation of the HCBS-based fused quartz production process. Part 11. Experiments on the non-fired quartz refractory engineering.....48

Шмурадко В. Т., Пантелеенко Ф. И., Реут О. П., Руденская Н. А. Физико-химические процессы в материаловедении и технологиях износостойкой корундовой керамики: дюзы для риммеров подземной проходки грунтов.....54

Shmuradko V. T., Panteleenko F. I., Reut O. P., Rudenskaya N. A. Physical and chemical processes in the material science and in the wear-resistance corundum ceramics technology: nozzles for the underground soil-drilling bevelers.....54

Иконников К. И., Кондрукевич А. А., Съёмщиков Н. С., Беляков А. В., Косточка М. Л. Структурные изменения в связке при окислении периклазоуглеродистых огнеупоров.....61

Ikonnikov K. I., Kondrukevitch A. A., S'emshchikov N. S., Belyakov A. V., Kostochka M. L. The structural changing in the binder in course of periclase-carbonaceous refractories oxidizing.....61

Кузин В. В., Фёдоров С. Ю. Взаимосвязь режимов алмазного шлифования с состоянием поверхности Al_2O_3 -керамики.....65

Kuzin V. V., Fedorov S. Yu. Correlation between the diamond grinding condition and surface state of Al_2O_3 -base ceramics.....65

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

INFORMATION

Международный форум «Стекло и современные технологии XXI века».....71

International forum «Glass and Modern Technology of the 21st Century».....71

Abstracts.....73

Abstracts.....73



УДК 669.1:666.76.001.8

КОНКУРЕНЦИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ РЫНКЕ — ДВИГАТЕЛЬ КОНКУРЕНЦИИ НА РЫНКЕ ОГНЕУПОРОВ*

В ситуации обострения конкуренции между поставщиками продукции черной металлургии на мировом рынке усиливается конкуренция между производителями и поставщиками огнеупорных материалов. Приведена информация об особенностях конкурентной борьбы на российском рынке огнеупоров, о развитии огнеупорной промышленности в России на фоне общемировой практики.

Ключевые слова: производство огнеупорных материалов, тенденции, перспективы, импортозамещение, чистая сталь, совокупная стоимость владения огнеупорами.

ВВЕДЕНИЕ

Рынок огнеупоров не только на постсоветском пространстве последние 10–15 лет является рынком потребителей и существует в условиях избытка предложения огнеупорных материалов и, соответственно, в условиях жесткой конкуренции. В настоящее время можно говорить о новом этапе развития рынка огнеупоров в условиях динамичного развития технологий как в целом в отраслях — основных потребителях огнеупорной продукции, так и в производстве и применении огнеупорных материалов. С учетом того, что в России, в странах Таможенного союза ЕАЭС, как и во всем мире, основным потребителем огнеупорных материалов является черная металлургия — до 75 % потребления высококачественных огнеупорных материалов, в предлагаемой статье рассматривается ряд аспектов взаимовлияния черной металлургии и потребления, а также производства огнеупорных материалов. Дополнительный отпечаток на эту взаимосвязь накладывает то, что российская металлургия — это экспортно

ориентированная отрасль, а российская огнеупорная отрасль в настоящее время скорее импорто-ориентированная, и существуют они в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке.

НАСТОЯЩЕЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

В мире

В 2014 г. мировое производство стали достигло 1.637 млн т, прирост 1,1 %. Производство нераскисленной стали в Китае достигло 823 млн т, прирост в сравнении с 2013 г. 7,5 % (в 2013 г. 779 млн т стали) при внутреннем спросе 740 млн т, что на 30 млн т меньше, чем в 2013 г. (www.indmin.com). Здесь и далее китайской промышленности и ее потенциалу будет уделяться повышенное внимание, так как она реально влияет на конкурентную среду в потреблении и

стали, и огнеупорных материалов. Достаточно сказать, что прирост производства стали в мире с 2000 по 2015 г. составил 89 %, при этом доля Китая непрерывно росла и достигла практически 50 % мирового производства стали; прирост в Китае за те же годы составил 532 %.

В 2015 г. мировое производство стали уменьшилось на 2,8 % к 2014 г. В Китае выплавка стали снизилась до 803,83 млн т (-2,5 %), при этом потребление стали уменьшилось на 3,35 % (-24,3 млн т, WSA). В табл. 1 приведена информация World Steel Association (WSA) о производстве и потреблении стали для ТОП-8 (по производству стали), а также об основных экспортёрах стали в мире. В десятку крупнейших потребителей стали в мире в 2014 г. вошли также Турция и Мексика, потребляя 34,4 и 24,2 млн т стали соответственно.

Спадением внутреннего спроса в 2015 г. объем экспорта стали из Китая достиг 112,42 млн т (+19,9 %). Прогноз WSA: на 2016 г. снижение производства стали в Китае на 4 % до 645,4 млн т, в 2017 г. до 626,1 млн т (-3 %) без роста внутреннего потребления (падение экономики и продолжающиеся реформы). В то же время после спада экспорта металла в январе – феврале 2016 г.

Таблица 1. Основные производители, потребители и экспортёры стали в мире по данным WSA

Страна	Производство стали в 2015 г., млн т; (изменение к 2014 г.)	Потребление стали в 2015 г., млн т*	Экспорт стали в 2014 г., млн т
Китай	803,8 (-2,3 %)	672,0	92,3
Япония	105,2 (-5,0 %)	62,9	41,3
Индия	89,6 (+2,6 %)	79,5	Н. д.
США	78,9(-10,5 %)	95,7	» »
Россия	71,1(-0,5 %)	39,4	27,0
Южная Корея	69,7(-1,9 %)	56,0	31,9
Германия	42,7(-0,6 %)	39,0	24,8
Бразилия	33,2 (-1,9 %)	21,3	Н. д.

* По оценке WSA на 13 апреля 2016 г.

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (7–8 апреля 2016 г., Москва).



Л. М. Аксельрод
E-mail: lakselrod@magnezit.com

в марте экспорт вырос сразу на 30 % как результат подъема цен в мире на прокат (+10 %), в том числе на строительную арматуру. Резервные мощности китайские экспортеры подключают при необходимости. Более того, Центробанк Китая заявляет, что усилит поддержку экспорта стали, решая задачу ослабить давление на внутреннем рынке от перепроизводства стальной продукции (www.steelland.ru). Стабильный прирост потребления металла в 2016 и 2017 гг. в различной степени ожидается в странах ЕС, Ближнего Востока, Северной Африки, в Индии, Вьетнаме, Турции и ряде других государств.

Согласно оценке WSA снижение мирового спроса на сталь в 2015 г. продолжится и в 2016 г. до 1,488 млн т (-0,8 % к 2015 г.), рост спроса ожидается в 2017 г. до 1,494 млн т (+0,4 %). В любом случае сталь и в будущем остается основным конструкционным материалом в мире.

В России

В России 2015 г. завершился незначительным спадом в металлургическом производстве. Произведено 69,4 млн т стали (Росстат), 71,4 млн т (WSA). Сравнительная успешность черной металлургии России в 2015 г. на фоне спада в потреблении стали в РФ на 10–12 % (потребность в прокате упала до 40 млн т против 45 млн т в 2014 г.) — результат интенсификации экспорта металла на зарубежные рынки. Внутреннее же падение спроса обосновывается снижением производства в автомобилестроении, строительстве, машиностроении.

Чего стоит ожидать от 2016 г.? По крайней мере, отрицатель-

но скажется рост инфляции затрат, связанной с ростом тарифов госмонополий; не предвидится и роста внутреннего спроса на продукцию металлургии в таких металлоемких отраслях, как автомобилестроение, строительство и машиностроение. По прогнозам российского объединения производителей стали и WSA, спад в потреблении на российском рынке может составить от 7 до 11 %; некоторый рост прогнозируется в потреблении труб [1]. WSA не видит оснований для роста потребления стали в России и в 2017 г. Есть надежда, что российским металлургам, получившим известные ценовые преимущества в 2015 г. на мировом рынке на фоне ослабевшего рубля, обладающим во многом собственными источниками сырья и успевшим в значительной мере завершить реконструкцию производства, удастся сохранить экспортный потенциал.

Трудности с экспортом продукции российской металлургии в 2016 г. могут иметь место. Во-первых, тренд на расширение экспорта китайского металла в 2016 г. будет сохранен. Избыток металла вследствие снижения его внутреннего потребления с неизбежностью скажется на мировом рынке, как это произошло уже в 2015 г. Во-вторых, снижение цен на металлы на мировом рынке ужесточит конкуренцию (WSA ожидает падение цен во втором полугодии 2016 г.), а в случае роста цен китайская промышленность легко увеличит производство металла (существует значительное количество «законсервированных» мощностей по выплавке металла — до 30 % от эксплуатируемых). В-третьих,

имеют место перманентные расследования в отношении российской стали со стороны ряда стран (США, Евросоюз, Турция и т. д.) по причине «неоправданного протекционизма на экспортных рынках» в стремлении сохранить собственную металлургию. Эти расследования происходят не только в отношении российской стали (в первую очередь китайской в тех же странах и мексиканской в США), но и в отношении продукции сортового производства РУП БМЗ в ЕС и т. д. В любом случае спад в производстве стали в Китае, России и Бразилии в 2016 г. весьма вероятен, по мнению WSA. В первом квартале 2016 г. в России сокращены выплавка стали на 5,45 % и производство проката на 5,1 %.

На фоне ожесточения конкуренции между производителями металла потребители огнеупоров стремятся оптимизировать затраты, и, естественно, одну из статей: затраты на огнеупорные материалы. Одновременно избыточные мощности в производстве огнеупорных материалов будут провоцировать ожесточение конкуренции и поиск нестандартных решений для удержания и завоевания новых рынков.

НАСТОЯЩЕЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ОГНЕУПОРНОЙ ПРОДУКЦИИ РОССИЙСКИМИ МЕТАЛЛУРГАМИ

С уменьшением объема производства стали с неизбежностью будет снижаться потребление огнеупорных материалов в упомянутых трех странах, обладающих достаточно мощным производством огнеупоров. И снова о китайском факторе. В табл. 2 при-

Таблица 2. Изменения в объеме и структуре производства и экспорта огнеупорных материалов и сырья (плавленный периклаз и графит)

Год	Производство огнеупорных материалов, млн т/%*			Экспорт огнеупорной продукции, млн т/%*				
	всего	в том числе		всего	в том числе			
		формованных	неформованных		огнеупорных материалов	сырья (всего)	в том числе	
							плавленного периклаза	графита
2012	28,2 / -4,4	16,4	11,3 / -7,4	5,3 / +0,3	2,0 / +4,4	3,3 / -2,1	0,3 / -5,3	0,16 / +5,7
2013	29,3 / +3,9	Н. д.	11,4 / +1,3		Нет данных		0,3 / -7,7	Н. д. / +4,6
2014	28,0 / -4,5	15,6 / -4,3	10,9 / -4,7	5,7 / +12,6	3,8 / +17	Н. д.	0,4 / +22,2	0,18 / +2,1
2015	26,2 / -6,5	15,3 / -7,8	10,4 / -4,4	Н. д.	Н. д. / -8,8	» »	Н. д. / -3,2	Н. д.

* % — изменение к предыдущему году.

ведена информация о динамике и изменениях в структуре производства огнеупорных материалов в Китае и экспорта из Китая в последние годы (данные Китайской ассоциации производителей огнеупоров приведены в журналах «Refractories Window», «Industrial Minerals», «China Refractories»), а на территории Китая производится более 60 % огнеупорных материалов мира.

В 2013 г. объем производства огнеупорных материалов в Китае, по данным Китайской ассоциации производителей огнеупоров, составил 29,283 млн т (+3,9 %, что соответствует 1,09 млн т продукции). Производство углеродсодержащих огнеупоров достигло 2,95 млн т (+8,79 %), функциональных огнеупоров 0,507 млн т (+11,09 %), огнеупорных бетонов 11,418 млн т (+1,245 %). При этом наблюдался спад в производстве алюмосиликатных и диоксидных материалов.

Параллельно снижался и экспорт огнеупоров, в том числе основного состава на 4,41 %, алюмосиликатного состава на 24,4 % и прочей продукции на 17,7 % при росте цен в среднем на 3,0, 1,4 и 34,9 % соответственно. 2013-й год — год наивысшего на настоящий период развития огнеупорной промышленности Китая [2]. С 2014 г. наблюдается торможение в расширении потребления и производства огнеупоров в Китае (см. табл. 2), и если в 2014 г. еще происходит некоторый прирост экспорта, то и общий объем производства и объем внутреннего потребления снижаются. В 2015 г. произошло снижение средних цен на оксидоуглеродистые огнеупоры (а это 50 % от экспорта китайской огнеупорной продукции) на 9,1 %. Это результат ценовых войн между китайскими производителями огнеупоров на рынке на фоне снижения объемов экспорта и потребления огнеупоров на внутреннем рынке Китая.

Следует отметить и еще один момент, присущий китайскому экспорту сырьевых огнеупорных материалов, — стремление удерживать цены на экспортируемый плавный периклаз на стабильном уровне до 2015 г., в то время как стоимость реализуемой на

экспорт продукции при снижении объема реализации на 9,63 % снизилась только на 0,5 %. Однако цены на графит в 2015 г. упали достаточно ощутимо, незначительно снижены цены и на плавный периклаз.

В 2014 г. за счет увеличения экспорта, при падении внутреннего спроса, не удалось перекрыть давление избыточных мощностей в огнеупорной отрасли Китая, что привело к полному или частично прекращению производства огнеупоров на многих предприятиях, в первую очередь в провинции Ляонин, в которой сосредоточено производство огнеупоров основного состава, в том числе безобжиговых оксидоуглеродистых. Однако, как констатирует Китайская ассоциация производителей огнеупоров, этот процесс в меньшей мере коснулся крупных производителей. Из 58 топовых производителей (всего в Китае огнеупоры производятся на более чем 1000 предприятий) прибыльным в 2015 г. было 51 предприятие.

Дополнительным фактором для снижения внутреннего потребления огнеупорных материалов в Китае является снижение удельного расхода огнеупоров на тонну стали. По оценке, она и сегодня составляет 10–20 кг/т стали, но по мере совершенствования технологии производства и применения огнеупорных материалов, а также в связи с закрытием устаревших производственных мощностей в черной металлургии (это реальный процесс, закрываются предприятия общей мощностью до 25–30 млн т в год) непрерывно снижается и удельный расход огнеупоров. Пятнадцать лет назад эта цифра в Китае достигала 50 кг/т стали.

Неизбежна активизация сбыта на российском рынке огнеупорной продукции, производимой в Китае, обостряя конкуренцию на российском, и не только, рынке огнеупоров. Российские металлурги и в настоящее время приобретают значительное количество огнеупорных материалов в Китае — это как оксидоуглеродистые безобжиговые изделия для футеровки конвертеров, электродуговых печей и сталеразливочных ковшей, так и функциональные огнеупоры:

изделия изостатического формования для МНЛЗ (трубы для защиты струи металла, стопоры-моноблоки, погружаемые стаканы, стаканы-дозаторы промежуточных ковшей), изделия для бесстопорной разливки стали (плиты, стаканы-коллекторы, стаканы сталеразливочных ковшей), донные фурмы для сталеразливочных ковшей и конвертеров и т. д. Поставляется из Китая значительная доля огнеупоров для доменного производства: как для футеровки нижнего строения домы, так и желобные массы и т. д., причем вся упомянутая продукция высокого класса, успешно конкурирующая, а в чем-то и превосходящая аналогичную продукцию европейских фирм.

На российском рынке формованных изделий превалирует китайская продукция, в том числе продукция фирм RHI AG (Австрия), «Magnesita Refractories S. A.» (Бразилия), которые поставляют продукцию с производственных площадок в Китае. Поставляют огнеупорную продукцию со своего китайского производства и российские предприятия: Группа «Магнезит», Боровичский комбинат огнеупоров и Динур. По ряду позиций, в первую очередь в функциональных огнеупорах для МНЛЗ, традиционно сильны позиции на российском рынке фирмы «Vesuvius» (Великобритания); присутствует в отдельных сегментах рынка и продукция фирм «Refratechnika Group» (Германия), «Ropczysze s. a.» (Польша). В то же время неформованные огнеупоры традиционно поступают в основном из Европы. Здесь лидируют RHI, EKW, «Weerulin», «Intocast», «Calderys», «Seven Refractories» (все Германия), «SMZ Jelsava» (Словакия), «Slovmag» (Словакия, входит в состав Группы «Магнезит»). По отдельным позициям осуществляются поставки и китайских неформованных огнеупоров.

Сформирована конкурентная площадка для борьбы за потребителя огнеупорной продукции на российском рынке, и вхождение новых поставщиков возможно с предложением нового качества и конкурентной цены. Продвижению на рынке в сложившихся условиях способствует реализация следующих шагов:

– стремление к укреплению позиций ведущих производителей огнеупоров в мире, в том числе в России, в качестве ведущих игроков, использование возможностей для роста производства и совершенствования системы распространения продукции на рынке, локализация по возможности производства в регионах с ориентацией на локальное потребление продукции;

– усиление позиций за счет системных решений в технологических инновациях широкого профиля, создание качественно новых и экономичных продуктов, технологий их применения, умение при этом ориентироваться на конкретных заказчиков, на расширение спектра предлагаемых услуг и технического обслуживания;

– быстрое и гибкое реагирование на запросы клиентов; постоянный мониторинг возникших и перспективных запросов в подразделениях потребителей по различным направлениям; эффективное использование огнеупоров как с технической, так и с экономической точки зрения; учет энергоэффективности предлагаемых решений, экологической безопасности работы персонала и оборудования; уменьшение негативной роли человеческого фактора; снижение издержек у потребителя, включая уменьшение доли затрат на тонну стали от применения предлагаемых огнеупорных материалов и технологий их применения; умелое использование опыта, полученного на других предприятиях, с учетом новых конкретных условий;

– реорганизация производственного и распределительного бизнеса с учетом экономических факторов, сформировавшихся на конкретном производстве, что сопровождается организацией консигнационных складов для быстрой поставки огнеупоров; организация с той же целью производства в максимальной близости от потребителей и своевременное прекращение эксплуатации производств на старых промплощадках. RHI в 2015 г. прекратила производство оксидоуглеродистых огнеупоров на низко- и среднотемпературных предприятиях в Дортмунде (Германия) и изделий для МНЛЗ в Clydebank (Шотландия), рас-

ширив в то же время производство оксидоуглеродистых огнеупоров на китайской производственной площадке и на предприятиях на американском континенте. «Magnesita» прекратила в 2015 г. производство известковопериклазовых обожженных огнеупоров в Китае в связи с падением спроса, Группа «Магнезит» прекратила производство алюмосиликатных, в том числе неформованных огнеупоров, на Кыштымском огнеупорном заводе, но расширила производство неформованных огнеупоров на Саткинской производственной площадке. Фирма «Seven Refractories» анонсировала организацию производства неформованных огнеупоров (38 тыс. т) в Казахстане с ориентацией 75 % производимой продукции на российский рынок;

– усиление позиций за счет репутации надежности поставщика: гарантии своевременных поставок, гарантии стойкости футеровки, выполнение гарантий по удельным затратам на тонну готовой продукции, предоставление финансовых льгот;

– предоставление сервиса в разнообразных формах, основанного на взаимной заинтересованности участников процесса.

ТРИ КИТА, НА КОТОРЫХ СТОИТ СОВРЕМЕННАЯ ОГНЕУПОРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

В условиях, когда качество используемого оборудования на предприятиях — производителей огнеупоров постепенно выравнивалось и позволяет при надлежащей эксплуатации воспроизводить заданный производственный цикл (третий кит), когда ряд ведущих фирм (RHI, «Magnesita», Группа «Магнезит») выстроил производственную схему с максимальным самообеспечением сырьем собственного производства, хотя одновременно на рынке можно приобрести сырьевые материалы необходимого качества и по достойной цене, на первый план выходят компетенции производителей огнеупоров.

Компетенции

Под компетенцией понимается способность успешно действовать на основании теоретических

знаний, накопленных в процессе обучения и самообразования, и практического опыта для качественной продуктивной деятельности. Компетенция в производстве огнеупоров складывается в том числе из умения воспользоваться технологическими возможностями производства, а также из возможностей изготовителя совершенствовать технологии и создавать новые материалы. Кроме того, в компетенцию входит правильная оценка перспектив развития производственных возможностей в интересах потребителей огнеупорных материалов. Создание более стойких огнеупоров формируется в результате анализа существующих технологий, патентной и технической литературы, изучения продукции конкурентов, а также процессов, в которых служат огнеупорные материалы, и задач, которые ставят потребители соответственно своим целям и задачам.

Разработка нового продукта и совершенствование существующей технологии может включать:

– формулирование задачи и оценку перспектив нового или усовершенствованного продукта, включая экономический аспект;

– испытание сырьевых материалов, создание новой технологии и продукции, в том числе технологии оценки качества нового продукта, включая динамические испытания на стойкость к шлаку, клинкеру, штейну во вращающейся лабораторной печи или в индукционной печи с последующей оценкой механизма износа с применением петрографического, рентгенофазового и термогравиметрического анализов;

– оценку характеристик огнеупорных материалов, полученных в результате лабораторной разработки, и влияния этих характеристик на служебные свойства огнеупоров, сравнительный анализ результатов лабораторных исследований и натурных испытаний в металлургических агрегатах;

– моделирование процессов взаимодействия огнеупора с агрессивной средой, процессов сушки футеровки, особенно при использовании водосодержащих масс, таких как торкрет-массы, средне-, низко- и бесцементные

бетоны, распределения температуры в футеровке в процессе ее эксплуатации и т. д. [3–6];

- совершенствование технологии выполнения футеровочных работ и ухода за футеровкой в процессе ее эксплуатации, разработку или подбор материалов и оборудования, используемых при этом;

- эксплуатация футеровки, конечно, не в последнюю очередь участвует в решении производственных задач, но при создании щадящей технологии (отсутствие избыточного перегрева металла, отсечка высокоокисленного шлака при выпуске металла из сталеплавильного агрегата, оптимизация состава шлака, например регулирование основности шлака, концентрация MgO и Al_2O_3 в шлаке сталеразливочного ковша и т. д.) можно получить прирост стойкости футеровки с минимальными затратами. Успех возможен при возникновении синергетического эффекта от усилий участников процесса, включая технологов-металлургов.

Практически все ведущие фирмы располагают в настоящее время собственными исследовательскими центрами: RHI, «Vesuvius», Calderys, «Magnesita», «Posco» (Южная Корея), «Пуянг» (Китай), «Krosaki Harima» (Япония), «Refratechnika Group» и др. В России комплексными центрами, включающими технологические и материаловедческие лаборатории, обладают Группа «Магнезит», Боровичский комбинат огнеупоров и Динур. Все крупные фирмы, в том числе и российские, сотрудничают с вузами в своих странах, а зачастую и в иных государствах. В Китае помимо исследовательских центров при ведущих фирмах эффективно работает отраслевой институт «Sinosteel Luoyang Institute of Refractories Research Co., Ltd» с мощной производственной базой. Исследовательские лаборатории по направлениям функционируют при многих вузах, например в «Wuhan University of Science and Technology», «Sichuan University», «Zhengzhou University», «Hechi University» и т. д. Наличие множества дочерних предприятий ведущих производителей мира на территории КНР, в том числе RHI, Группа «Магнезит», «Krosaki Harima», «Posco», «Magnesita» и т. д.,

с неизбежным переходом специалистов из одних предприятий в другие, также способствует расширению информационных и практических знаний.

В мире укоренилась традиционная схема формирования информации и обогащения специалистов знаниями — это, конечно, ряд специальных журналов, таких как «Refractory Worldforum», «Intercleram Refractories Manual» (оба Германия), «China Refractories» (Китай), «Taikabutsu Overseas» (Япония), «Новые огнеупоры», «Огнеупоры и техническая керамика», «Industrial Minerals», «The Refractories Engineer» (оба Великобритания) и т. д. Свой вклад вносят международные и национальные объединения, в которых специалисты-огнеупорщики участвуют в семинарах, обмениваются информацией, совместно формулируют и решают задачи: FIRE (Federation for International Refractory Research and Education), MORE-Frieberg e.V. (Meeting of Refractory Manufactures), PRE (European Refractories Producers Federation), VDFFI (Verband der Deutschen Feuerfest-Industrie). В США работает ACerS (American Ceramic Society, Refractory Division); огнеупорщиков Латинской Америки объединяет ALAFAR (Latin American Association of Refractory Manufacturies), огнеупорщиков Японии — TARJ (Technical Association of Refractories, Japan), огнеупорщиков Индии — IRMA (Indian Refractory Makers Association); есть объединяющие огнеупорщиков структуры в Китае, Турции, Испании и в других странах.

В России функцию объединения специалистов для обмена информацией в очной форме в области создания, производства и применения огнеупорных материалов в металлургии выполняет ежегодная международная конференция огнеупорщиков (в апреле 2016 г. прошла 14-я). Организатором первой конференции был Международный союз металлургов РФ под руководством С. В. Колпакова, сегодня организатором выступает НИТУ МИСиС при информационной поддержке журнала «Новые огнеупоры», учредителем которого с 2016 г. также является МИСиС.

Функцию отраслевых исследовательских центров, центров обучения будущих специалистов в области огнеупоров выполняют немецкий институт огнеупоров и керамики в Кобленце (Германия) — Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik (DIFK), институты в составе Рейнско-Вестфальского технического университета в Аахене и Горной академии во Фрайберге (оба Германия), Горный университет в Леобене (Австрия), университет в Шеффилде (Великобритания), Государственная горно-металлургическая академия в Кракове (Польша), Витватерсрандский университет в Йоганнесбурге (ЮАР) и т. д. Задаче развития знаний в области технологии огнеупоров подчинены многочисленные международные и региональные коллоквиумы и семинары: UNITECR (проводится раз в 2 года на различных континентах, в 2017 г. организатором очередной конференции выступит Чилийская и Латиноамериканская ассоциации огнеупорщиков); в 2016 г. специалисты различных стран соберутся на 59-й международный коллоквиум в Аахене (Германия); в Сант-Луисе (США) в 2016 г. прошли 52-й симпозиум и выставка огнеупорных материалов; несколько конференций ежегодно проводятся в Китае, в том числе международные в Пекине и Шеньяне.

В России исследовательские работы с упразднением отраслевых исследовательских институтов традиционно выполняются на кафедрах СПбГТИ (ТУ), Уральского федерального университета, БГТУ им. В. Г. Шухова и ряда других вузов. В 2014 и 2015 гг. на совещаниях огнеупорщиков и металлургов, которые проходили в МИСиСе, была изложена оригинальная система обучения, совершенствования знаний специалистов в области технологии производства и эксплуатации огнеупоров в металлургическом производстве [7]. Эта совместная разработка ученых и специалистов СПбГТИ (ТУ), МИСиС и ПАО «Северсталь», апробированная на практике.

Следует отметить, что сегодня часть исследований в создании конкурентной технологии берут на себя поставщики сырьевых

материалов. В первую очередь это касается неформованных материалов. Такие фирмы, как «Almatis», «Rutgers», «Sibelco», «Cimmer&Shwarc», «Kerneos», «Momentum» (все Германия), «Elkem» (Норвегия) и т. д., предлагают не только свою продукцию, но и элементы технологии или даже технологию производства огнеупорных материалов с использованием своих продуктов. Все перечисленные фирмы имеют лаборатории, в которых создаются технологии сопровождения предлагаемого продукта, и потребитель этой информации может использовать ее напрямую или как стартовую площадку, начиная разработку не с нуля.

Сырье

Ситуация с сырьем на мировом рынке за последние годы изменилась несущественно. По-прежнему лидирует как мировая сырьевая база Китай [8, 9], причем если потребность в кварцитах, огнеупорных глинах падает вместе со снижением потребности в дианасовых и шамотных огнеупорах, то для огнеупоров, широко применяемых в современной металлургии, как в черной, так и в цветной, в цементной промышленности (а это более 85 % потребляемых огнеупоров) и в других отраслях, необходимы спеченный и плавленный периклаз различного качества, корунд белый и коричневый, боксит огнеупорного качества и андалузит, табулярный глинозем, хромитовый концентрат, графит, карбид кремния и т. д. По разным оценкам, до 80 % спеченного периклаза, до 70 % плавленного периклаза, 90 % обожженного боксита, 70 % графита, более 50 % плавленного корунда производятся в Китае, значительная доля табулярного глинозема — в Китае, Германии и Словении, хромитовый концентрат и руда огнеупорного качества — в основном в ЮАР, Турции, Пакистане, Индии и Китае, андалузит — в ЮАР, микросилика — в Норвегии, Германии и Польше, качественный оливин — в Норвегии и Турции. Есть и другие изготовители, импортирующие огнеупорное сырье, но доля их по-прежнему незначительна. В последние годы появилась информация о перспек-

тивах создания новых мощностей по производству графита в Танзании, Австралии, Канаде, новых мощностей в России и т. д. Развитие темы «графит» связано не только с потребностью огнеупорного производства, но и других отраслей промышленности.

Все большую роль играют синтетические сырьевые материалы, и здесь лидируют шпинели различного состава: алюмомagneзиальная шпинель с различным соотношением Al_2O_3 и MgO , хромосодержащая шпинель с различным содержанием Al_2O_3 , Cr_2O_3 и MgO , герцинит $FeO \cdot Al_2O_3$, галаксит $MnO \cdot Al_2O_3$, корундохром $Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3$, табулярный глинозем состава, близкого к коричневому корунду, бонит и т. д., которые производятся в различных странах.

В России расширяется производство периклаза высокого качества, как спеченного, так и плавленного (Группа «Магнезит»), организовано производство плавленной глиноземистой шпинели и герцинита (Группа «Магнезит»), табулярного глинозема (Кералит), плавленного ZrO_2 и глиноземистой шпинели (Динур). Производство карбида кремния осуществляется на Волжском абразивном заводе, и в принципе может обеспечить огнеупорщиков России сырьевыми материалами необходимого качества. Производство плавленного белого корунда организовано в РУСАЛ Бокситогорский глиноземный завод и на заводе «Казогнеупор» (г. Рудный, Казахстан). Алюминий металлический, используемый в качестве антиоксиданта, тоже отечественного производства. Производство графита осуществляет Тайгинский горнообогатительный комбинат (г. Кыштым), фенолоформальдегидное связующее производят Уральская химическая компания (г. Нижний Тагил) и Карболит (г. Орехово-Зуево). Однако, за исключением белого плавленного корунда, фенолоформальдегидного связующего и алюминия металлического, значительная доля остального сырья для обеспечения отечественного производства высококачественных огнеупоров приобретает за рубежом, в первую очередь в Китае, а также в Европе (Carbores — углеродистое термопластичное

связующее, высокоглиноземистый цемент, алюминия реактивити, микросилика и т. д.) и ЮАР (хромконцентрат и андалузит).

Наряду с эффективным использованием сырья природного происхождения и синтетического все чаще используют отработанные огнеупорные материалы, извлеченные из футеровки после завершения ее эксплуатации. Речь идет о рециклинге огнеупорных материалов. В Европе это уже самостоятельное направление в технологии. Руководитель исследовательского центра RHI в Леобене г-н Шрибл (Schriebl) говорит о перспективе к 2020 г. использования рециклинговых материалов в количестве до 20 % от сырьевых материалов [10]. На многих фирмах как металлургических, так и производящих огнеупоры нормой является добавление к первичному сырью рециклинговых материалов: отработанных оксидоглеродистых и периклазовых огнеупоров в производство периклазосодержащих изделий и масс; алюмо- и диоксидцирконийсодержащих отработанных изделий и масс в производство алюмосодержащих неформованных огнеупоров и масс и т. д. Появились предприятия, специализирующиеся на сборе и переработке рециклинговых материалов (например, «LKAB Mineral's Moerdijk», Нидерланды; «Horn & Co. Group» и «TYMO Engineering», Германия; DERE, Италия; «Valoref», Франция, и т. д. [11, 12]), полуфабрикатов с последующей передачей производителям огнеупорных материалов, флюсов различного состава. Это направление интенсивно развивается усилиями многих фирм и в России.

Реальность импортозамещения

Производство оксидоглеродистых огнеупорных материалов расширяется на Саткинской производственной площадке Группы «Магнезит» на основе полуфабрикатов, произведенных из собственных высококачественных сырьевых материалов, в первую очередь плавленного и спеченного периклаза различных сортов [13]. Магнитогорское ООО «Огнеупоры» обеспечивает периклазоуглеродистыми огнеупорами ковши

конвертерного и электростале-плавильного производства; можно говорить о развитии производства изделий для ДСП в перспективе; известное количество оксидоуглеродистых огнеупоров выпускается на Динуре с использованием собственных возможностей производства плавного корунда и алюмомагнезиальной шпинели. Оба последних предприятия приобретают периклаз в первую очередь в Китае. Доля отечественных оксидоуглеродистых огнеупоров в футеровке конвертеров, ДСП и сталеразливочных ковшей российских металлургических предприятий не превышает 50 %. Производство это затратное как в части оборудования, так и в части сырьевых материалов, требует соответствующей компетенции, включая квалифицированных разработчиков технологии и инжиниринговые структуры. Очевидно, что кроме Группы «Магнезит», которая способна нарастить выпуск оксидоуглеродистых огнеупоров по мере реализации инвестпрограммы, направленной на расширение производства плавного и спеченного периклаза с $>97\%$ MgO и модернизацию производства изделий, отечественных игроков с отечественными огнеупорами на рынке не предвидится. Помимо периклаза в технологии используют отечественные антиоксиданты, углеродистое связующее и частично графит российского производства, термопластичное связующее Carbores («Rutgers», Германия). Производство алюмопериклазо- и периклазоалюмоуглеродистых огнеупоров для сталеразливочных ковшей (стены и «бойная» зона) с использованием плавного корунда, выпускаемого на заводе «Казогнеупор», также организовано на Саткинской производственной площадке Группы «Магнезит». Производит аналогичные огнеупоры и Динур.

В 2015 г. осуществлен прорыв в продвижении формованных высокообоженных изделий на основе плавного периклазохромита для футеровки вакууматоров. Уже несколько металлургических предприятий получают изделия марки ХПП-1 и иных марок производства Группы «Магнезит», которые демонстрируют

стойкость в футеровке патрубков вакууматоров, не уступая импортной продукции [14]. Следует отметить успешное «сопротивление» российских огнеупорщиков, в первую очередь Группы «Магнезит», продвижению поставок импортных огнеупоров для цементной промышленности и цветной металлургии. На Динуре производятся функциональные огнеупоры как из плавного кварца, так и корундографитового состава, используемые для МНЛЗ, но доля импорта в этих огнеупорах превышает 80 %.

Производство неформованных огнеупоров и изделий из огнеупорных бетонов (precast) развивается в России интенсивно на протяжении последних 7–10 лет — это общемировая тенденция. В настоящее время в Японии, США, Евросоюзе 45–60 % используемых огнеупоров — это высококачественные неформованные огнеупорные материалы. В производстве этих материалов капитальные затраты, затраты на оборудование и энергозатраты не столь велики, как в производстве формованной, тем более обожженной продукции, однако на первые роли выходят компетенции участников технологического процесса — и разработчиков, и инжиниринга, и производственников. За последние 35 лет (в мире) и 20 лет в России это направление непрерывно развивается при изобилии сырьевых материалов различных производителей. Мировой опыт в области современных огнеупорных неформованных материалов обобщен в монографии, изданной в 2015 г. при содействии FIRE [15].

Можно выделить следующие направления в производстве неформованных огнеупоров, где импортозамещение эффективно и успешно развивается:

► корундошпинельные бетоны немецкого производства RHI, «Dalmond», VGH в футеровке дна и стен сталеразливочных ковшей традиционно используются российскими металлургами. С 2014 г. все большую долю на рынке с аналогичной продукцией занимают российские производители: тандем Группы «Магнезит» — Алитер-Акси [16], Кералит, БКО. Однако, за

исключением белого плавного корунда и табулярного глинозема, остальные компоненты, а их в составе тиксотропных и саморастекающихся бетонов до десяти и более, в том числе коричневый плавный корунд, андалузит, огнеупорные сорта обожженного боксита, высокоглиноземистый цемент и реактивный глинозем различных марок, микросилика, дефлокулянты, ускорители и замедлители схватывания и т. д., импортируются из Европы и Китая. В России все чаще используют бетон в дне сталеразливочного ковша как в конвертерном производстве (НЛМК, Северсталь), так и в электросталеплавильном (Уральская сталь, НЛМК-Калуга, Евраз-ЗСМК, УГМК «Электросталь Тюмени», Надеждинский металлургический завод и т. д.). Корундошпинельные бетоны для футеровки патрубков вакууматоров, не уступающие по стойкости импортным бетонам, предлагаются упомянутым тандемом. Перечисленные производители огнеупорных неформованных материалов, а также Богдановичское ОАО «Огнеупоры» (БОЗ), Динур и другие освоили производство муллитовых и муллитокорундовых сухих масс для постоянной футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ и иных огнеупорных сухих смесей различного состава и назначения;

► ряд предприятий освоили производство бетонных изделий на основе корунда, табулярного глинозема, а также высокоглиноземистого состава и периклазо-содержащих (только Группа «Магнезит») различного назначения, широко используемых российскими металлургами, и не только металлургами. Это цельные и составные своды ДСП и для установок ковш-печь, гнездовые кирпичи и горелочные блоки, металлоприемники-«рейнстрим™», перегородки, «бойные» плиты и т. д. Изделия по бетонной технологии с различным содержанием Al_2O_3 — своды ДСП, металлоприемники и перегородки для промежуточных ковшей МНЛЗ и т. д. производят Группа «Магнезит», БКО, Динур, БОЗ, магнитогорское ООО «Огнеупоры», Кералит, Промресурс, Сибпроект, Северо-Запад огнеупор, АС «Теплострой» и др. На Кералите и Северо-Запад

огнеупор освоено производство бетонных фурм для десульфурации чугуна и вдувания аргона в сталеразливочный ковш сверху; в стадии освоения эта технология и на Саткинской производственной площадке Группы «Магнезит». Можно ожидать, что в ближайшее время российские производители займут большую долю рынка изделий из огнеупорных бетонов;

► доля торкрет-масс для футеровки рабочего слоя промежуточных ковшей МНЛЗ производства Группы «Магнезит» увеличивается с каждым годом, залог этого продвижения — собственная сырьевая база и компетенции, накопленные разработчиками технологии, наличие современного производства и инжинирингового обеспечения в сочетании с желанием металлургов осуществить импортозамещение по этой многотоннажной позиции [17]. И все же доля отечественных торкрет-масс составляет пока 65–70 % от рынка;

► желобные карбидкремний-содержащие массы для доменного производства в России производятся в настоящее время на Динуре и КERALITE. Массы нашли применение на ряде металлургических предприятий, но доля нарастает медленно, так как предложения и компетенция зарубежных конкурентов в этих огнеупорах (китайские производители, «Calderys», «Seven Refractories») достаточно сильна.

ЧИСТАЯ СТАЛЬ (CLEAN STEEL)

Современные требования к качеству стали, такие как коррозионная стойкость, штампуемость, прочность, хладостойкость, эксплуатационная надежность и

т. д., за последние 5 лет возросли в несколько раз [18, 19]. Эти требования выражены обычно через ограничение содержания в готовой стали вредных примесей, таких как сера, фосфор, оксидные, сульфидные неметаллические включения, водород, азот и т. д. (рис. 1). Это комплексная проблема в первую очередь технологии обработки металла. Однако общепризнано, что решение этой проблемы зависит в том числе от качества огнеупорных материалов и технологии их использования. Решение соответствующих задач с привязкой к качеству конкретного сортамента металла — важнейший вопрос, и он не обходится без обсуждения роли огнеупорных материалов или как источника неметаллических включений (НВ), или как инструмента, участвующего в их удалении [20, 21].

Огнеупорные материалы, как и шлаки, могут служить источником экзогенных включений (шлаковые включения, частицы футеровки) на различных этапах сталеплавильного процесса (т. е. поступающие извне), а в случае образования неметаллической фазы на границе раздела фаз в результате химического взаимодействия с металлическим и шлаковым расплавами или выделения из футеровки соединений, участвующих в образовании неметаллической фазы в объеме расплава, как результат связывания элементами-раскислителями избыточного растворенного кислорода — эндогенных. На различных этапах сталеплавильного процесса неизбежно принятие технологических мер для решения задачи удаления включений.

На этапе выплавки металла в конвертере и ДСП НВ носят обыч-

но экзогенный характер: сколы футеровки, элементы футеровки, вымываемые под действием расплава, фрагменты шлакового гарнисажа, образовавшегося на футеровке в межплавочный период. Эти включения, как правило, являются крупными, что облегчает их удаление во время последующей внепечной обработки. Они выносятся из объема металлического расплава на границу раздела фаз металл — шлак за счет конвекции и гравитационного всплывания НВ вследствие разности плотностей металла и НВ. Отсечка шлака на стадии выпуска металла из сталеплавильного агрегата тем или иным способом является обязательным элементом технологии, так как присутствие окисленного шлака (источника кислорода) требует дополнительных мер для устранения образования уже эндогенных НВ в процессе раскисления и модифицирования металла. Немецкие специалисты оценили эффективность использования различных способов отсечки шлака [22] (рис. 2). Эффективность отсечки конусом подтверждается и отечественным опытом. Эта технология нашла применение на НЛМК, на Северстали, Евраз-ЗСМК. Технология изготовления устройств, включающих конус для отсечки шлака, в конвертерах осваивается в Группе «Магнезит», что предполагает в ближайшее время замену импортируемых изделий (рис. 3).

Внепечная обработка жидкого металла на отечественных предприятиях, на предприятиях экономического содружества (Белоруссия, Казахстан и Россия) является обязательным инструментом технологии производства качественного металла. Многие операции сегодня производят в сталеразливочном ковше, в установке ковш-печь (УКП). С использованием различных присадок, раскислителей, обработки металла порошковой проволокой с кальцийсодержащим (для десульфурации) или иным наполнителем регулируется содержание фосфора и серы. При этом важно усреднить температуру и химический состав металла, скорректировать химический состав шлака, для чего необходимо правильно выбрать состав футе-

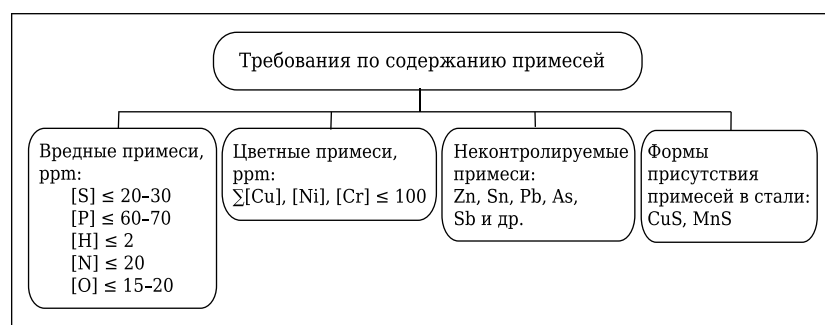


Рис. 1. Требования по содержанию примесей для современных массовых высококачественных сталей

ровки сталеразливочного ковша и организовать перемешивание металла и шлака аргоном через донные фурмы. Продувка металла аргоном через донные фурмы способствует всплыванию НВ. Эффективность обработки металла в У КП определяется также качеством огнеупорных донных аргонных фурм (число, сечение, размещение газоподводящих каналов, их форма). Количество фурм для одного ковша, их размещение в дне сталеразливочного ковша, режим продувки (непрерывный, циклический, пульсирующий) являются предметом исследований и оптимизации.

Наиболее распространены в России установки вакуумирования металла в ковше (LF-VD, LF-VOD), а также и в России, и в Белоруссии установки циркуляционного вакуумирования (RH). RH-вакуумирование осуществляется в конвертерном производстве (ММК, НЛМК и ЕвразНТМК), в электросталеплавильных цехах (ОЭМК, РУП БМЗ); единственный агрегат порционного вакуумирования эксплуатируется в конвертерном цехе ЧМК. Использование этих RH-агрегатов эффективно для решения проблем удаления водорода и азота, обезуглероживания стали [23, 24]. Агрегаты RH и DH футеруются высококачественными огнеупорными материалами, и их работоспособность однозначно сказывается на производительности цеха и себестоимости производимого металла. Высокая эффективность в плане удаления НВ и газовых включений для достижения заданного качества металла оправдывает затраты.

Как показали исследования, загрязненность металла НВ может существенно возрастать на этапе разливки (рис. 4) [25]. Попадание оксидных включений в кристаллизатор, в свою очередь, вызывает изменение состава и, соответственно, свойств шлакообразующей смеси (ШОС), что способствует дефектообразованию в слитке, возникновению нарушений качества оболочки слитка вплоть до прорывов заготовки. Неметаллические включения и газы, растворенные в стали, попадающие в кристаллизатор с раз-

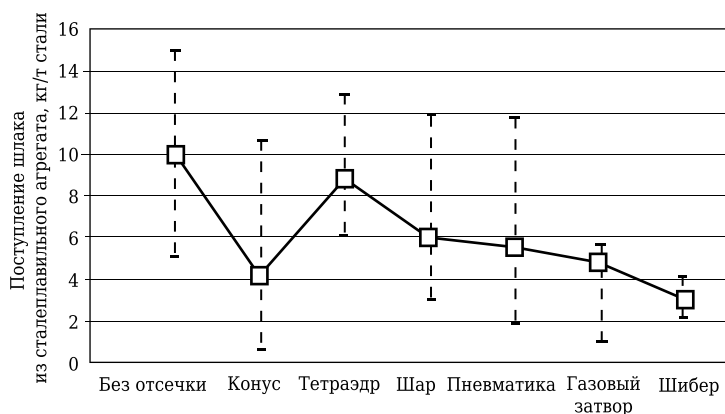


Рис. 2. Сравнение различных способов отсечки шлака



Рис. 3. Огнеупорные изделия для отсечки шлака (конус)

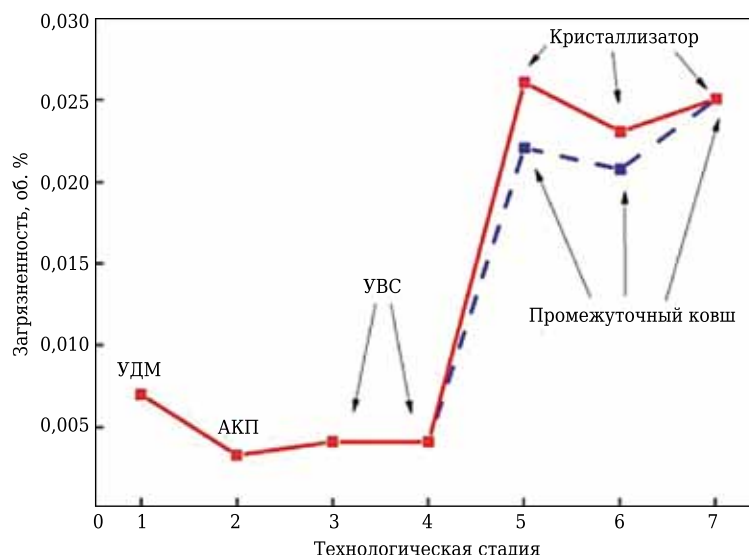


Рис. 4. Изменения объемной доли НВ по ходу внепечной обработки и разливки

ливаемым металлом, также являются причиной дефектов в слитке и готовом прокате. Факторы, влияющие на загрязнение металла, и способы снижения загрязненности представлены в табл. 3.

Реализация мер по устранению загрязненности НВ в промежуточном ковше и кристаллизаторе:

– устранение подсоса воздуха в разливаемый металл с использованием газоплотного шибберного затвора, например фирмы «Knoellinger FLOTEC GmbH»;

– устранение подсоса воздуха в стык стакана-коллектора с огнеупорной трубой для защиты струи металла за счет уплотне-

ния соответствующей вставкой, а лучше за счет уплотнения в сочетании с подачей аргона в стык и создания в трубе положительно-го давления инертного газа;

– размещение в промежуточном ковше различного рода металлоприемников [26] (рис. 5), перегородок, порогов. Эти изделия используют для организации потоков металла, увеличивая вре-

мя пребывания металла в промежуточном ковше до его попадания в стакан-дозатор. Корректировка потоков металла позволяет обеспечить всплытие НВ в зону контакта с шлаковой сорбирующей смесью; дополнительный положительный эффект для всплытия НВ создается размещением в футеровке дна, возможно и как часть перегородки (рис. 6), или во-

круг стакана-дозатора газопроницаемых продувочных элементов [27, 28];

– использование погружаемого стакана-моноблока (единое изделие стакан-дозатор – погружаемый стакан, устанавливаемый в промежуточный ковш), уплотнение стыка стакана-дозатора и погружаемого стакана для предотвращения вторичного окисления компонентов стали; организация потоков в кристаллизаторе за счет особенностей конфигурации дна погружаемого стакана и сталевыпускных отверстий, а также за счет оптимизации размещения сталевыпускных отверстий в стенках погружаемого стакана — например, применение стакана с четырьмя сталевыпускными каналами вместо двух для отливки заготовки круглого сечения или сечения, близкого к квадрату [29].

Управление содержанием НВ на различных этапах металлургического передела, в том числе за счет выбора качества футеровки, применения технических и технологических решений с использованием огнеупоров, является вопросом, который подвергается постоянному исследованию в поисках оптимума.

Из вышесказанного вытекает ответственность выбора поставщика огнеупорных материалов, технологии эксплуатации агрегата, технологии ухода за футеровкой в процессе ее эксплуатации. Начинается же все с обоснованного выбора следующего комплекса: схемы футеровки, огнеупорных материалов, режима эксплуатации, режима и технологии ухода за футеровкой и т. д. Для этого необходимо сформулировать производственную задачу — обеспечение безаварийного производства, максимальной либо фиксированной стойкости, исходя из оптимального в настоящий момент межремонтного цикла для металлургического агрегата, с достижением заданного удельного расхода огнеупоров, а точнее, минимальных удельных затрат, и т. д. Для реализации этой комплексной задачи необходимы постоянное тесное сотрудничество с поставщиками огнеупоров, работа с литературой, участие в конференциях, приобретение как

Таблица 3. Механизм формирования включений на последнем этапе разливки металла и способы снижения его загрязненности

Источник включений	Характер включений (механизм образования)	Технология снижения загрязненности
1. Футеровка сталеразливочного ковша (MgO–C)	$(MgO) + 2[Al] = Al_2O_{(r)} + Mg_{(r)}$ $Mg_{(r)} + (Al_2O_3) + [O] = (MgO \cdot Al_2O_3)$	Замена материала огнеупора (там, где возможно)
2. Эжекция воздуха через механизм шиберного затвора (подсосы между плитами)	$O_2 \rightarrow y[O] + x[Al, Si, Mn \text{ и др.}] \rightarrow ((Al, Si, Mn)_x O_y)$ $N_2 \rightarrow [N] + [Al] \rightarrow (AlN)$	Использование шиберного затвора с газовым уплотнением механизма
3. Эжекция воздуха через стык стакана-коллектора с трубой для защиты струи металла		Уплотнение, использование аргона
4. Эжекция воздуха в стык стакана-дозатора промежуточного ковша и погружаемого стакана		То же
5. Рабочий слой футеровки промежуточного ковша МНЛЗ	$3(2MgO \cdot SiO_2)_{\text{огнеупор}} + 4[Al] = 2(MgO \cdot Al_2O_3) + 4[MgO] + 3[Si]$ $H_2O_{(ж)} \rightarrow 2[H] + [O]$	1. Использование арматуры + бетона с минимальным содержанием воды 2. Использование рабочего слоя футеровки без H_2O к моменту подачи стали в промежуточный ковш
6. Неметаллические отложения в стакане-дозаторе	$CO_{(\text{огнеупор})} = [C] + [O]$ $\downarrow$ $2[Al] + 3[O] = (Al_2O_3)$	1. Управление гидродинамикой в промежуточном ковше и кристаллизаторе 2. Использование ШОС с высокой ассимилирующей способностью к включениям 3. Безуглеродные огнеупоры



Рис. 5. Металлоприемники «рейнстрим™»: слева — высокоглиноземистый; справа — периклазовый

практического опыта, так и теоретических знаний.

ЭКОНОМИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Экономика применения огнеупоров сегодня актуализирована в конкурентной среде задач снижения затрат по переделу, в том числе затрат на огнеупорные материалы на каждом этапе технологии. Снижение производственных и трудовых затрат, энергетических затрат, расхода ресурсов, улучшение или поддержание заданного качества стали — забота о реализации этих направлений частично переложена, естественно, на поставщика огнеупоров.

Эффект от корректного использования огнеупорных материалов обычно отражается в удельном потреблении огнеупорных материалов (табл. 4) [30], которое на многих российских предприятиях сегодня менее 10 кг/т литой заготовки (в Японии в среднем для конвертерных и электросталеплавильных производств в настоящее время удельный расход составляет 7 кг/т стали). И здесь, естественно, лидерство за мини-заводами, производящими сортовой металл. Эти предприятия не обременены доменным производством, на сортовых МНЛЗ через один промежуточный ковш разливается до 125 плавков (сталеразливочных ковшей). Этот рекорд поставлен в начале 2016 г. на НЛМК-Калуга. Однако более информативно обсуждать удельные затраты с учетом технологического цикла. Широкое использование внепечной обработки металла (стойкость нижнего строения вакуум-камеры 200–350 плавков, патрубков вакууматоров 100–180 плавков, после чего заменяется вся соответствующая футеровка) приносит существенные затраты. Разливка качественного металла на слябовых и блюмовых МНЛЗ сопровождается заменой промежуточного ковша каждые 6–15 плавков, что предусматривает замену и комплекта дорогостоящих функциональных огнеупоров, эксплуатируемых ограниченное время (рабочая футеровка промежуточного ковша, стопоры-моноблоки, погружаемые стаканы и т. д.), что, естественно, увеличивает удельные затраты на



Рис. 6. Бетонная перегородка основного состава с пористой вставкой в нижней части

Таблица 4. Удельный расход огнеупоров, кг/т стали

Территория	1950 г.	1980 г.	2000 г.	2008 г.	2014 г.
Япония	50	15	11	8	7
Европа (западная)	60	17	12	10	9
США	50	20	12	11	10
Китай	Н. д.	55	30	23	20
Мир	60	30	18	16	15

тонну стали. Речь идет о металле для автолиста, трубном и рельсовом металле, металлокорде, подшипниковых марках стали и т. д. Речь идет о металле для автолиста, трубном и рельсовом металле, металлокорде, подшипниковых марках стали и т. д.

Наиболее современным представляется сегодня подход к оценке эффективности применения футеровки с позиции совокупности факторов, как затратных (материалы на исходную футеровку и ремонтные операции, потери производства на ремонтные

операции, соответствующие трудозатраты и затраты на сушку и разогрев футеровки и т. д.), так и формирующих положительный эффект (увеличение производства за счет повышения межремонтного цикла, повышение стойкости как за счет качества огнеупоров, так и за счет их корректного использования, снижение затрат на капитальную перефутеровку, включая затраты на огнеупоры, на разогрев футеровки, на зарплату исполнителей футеровочных работ и т. д.) (рис. 7); речь идет об оценке совокупной эффективно-



Рис. 7. Эволюция в подходе к экономической оценке использования огнеупорных материалов

сти использования огнеупорных материалов, о «стоимости владения огнеупорами» [31].

Безусловно, полномасштабная реализация такого подхода возможна только при наличии конкретной заинтересованности потребителя. Наиболее конструктивна и эффективна для потребителя реализация технологии «full service» — полного комплекса услуг [32, 33]; в этом случае весь комплекс работ, связанных с футеровкой, выполняется сервисной компанией. За рубежом, в том числе в части использования огнеупоров, эта тема получила развитие и является нормой. В России оказание сервисных услуг потребителю огнеупоров медленно, но развивается, причем в сервис переда-

ются как вся служба выполнения футеровочных работ предприятия (например, ПНТЗ, Северсталь – Сортовой завод Балаково), так и отдельные агрегаты или даже отдельные операции по уходу за футеровкой (ломка футеровки, торкретирование конвертеров, футерование сталеразливочных ковшей и т. д.), что имеет место на ЧМК, Евраз3СМК, ОМК-Выкса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Российским производителям огнеупоров необходимо найти оригинальные пути для завоевания новых позиций на рынке. Для этого необходимо задействовать инновационный потенциал в поисках нового качества огнеупор-

ных материалов, оптимизировать процесс производства огнеупоров и технологию применения своей продукции. Подчиняясь требованиям потребителя к эксплуатационному качеству огнеупоров, необходимо способствовать снижению производственных и энергетических затрат у потребителя, улучшению или поддержанию заданного качества стали.

Конкурентоспособность на рынке определяется не просто качеством огнеупорных материалов, а их влиянием на качество и себестоимость производимой потребителем конечной продукции — металла.

Примечание. В статье приведены фотографии бетонных изделий производства Группы «Магнезит».

Библиографический список

1. **Кришер, Б.** Российский рынок стали в кризисе / Б. Кришер // Черные металлы. — 2015. — Ноябрь. — С. 63, 64.
2. **Xu, Dianli.** Production and running status of China's refractories and main down stream industries / Dianli Xu // China's Refractories. — 2014. — Vol. 23, № 2. — P. 1–6.
3. **Zhao, S.** Thermodynamic evaluation of $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--Al}_2\text{O}_3$ refractory corrosion by smelting reduction ironmaking slag / S. Zhao, B. Cai, P. Li [et al.] // China's Refractories. — 2015. — Vol. 24, № 2. — P. 6–10.
4. **Устинов, В. А.** Модель оценки эффективности использования высокомагнезиальных флюсов на примере корректировки состава шлака в сталеразливочном ковше / В. А. Устинов, Л. М. Аксельрод, М. Б. Оржих // Сталь. — 2011. — № 7. — С. 30–36.
5. **Аксельрод, Л. М.** Математическое моделирование разрушения футеровки металлургического оборудования под действием термоударов / Л. М. Аксельрод, А. В. Заболотский // Современная наука : сб. статей. — 2010. — № 2 (4). — С. 165–169.
6. **Jansson, S.** Corrosion mechanism and kinetic behavior of refractory materials in contact with $\text{CaO--Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--SiO}_2$ slags / S. Jansson, V. Brabie, I. Bohlin // International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts, Loganburg. — 2004. — P. 341–347.
7. **Чистякова, Т. Б.** Электронная информационно-образовательная среда для подготовки и повышения квалификации специалистов металлургических предприятий в области технологий производства и эксплуатации инновационных огнеупорных материалов / Т. Б. Чистякова, С. А. Суворов, В. В. Козлов [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 3. — С. 17.
8. **Аксельрод, Л. М.** Выплавка стали, применение огнеупорных материалов, корректировка тенденций, прогноз / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 117–130.
9. **Dickson, T.** Raw materials trends in Refractories / T. Dickson // Industrial Minerals. — 2014. — № 9.
10. RHI AG: Research and Development under New Direction // Refractories Worldforum. — 2016. — № 1. — P. 12–15.
11. **O'Driscoll, M.** Recycling Refractories / M. O'Driscoll // Glass-international. — 2016. — № 3. — P. 38, 39.
12. **Shiotani, T.** Methods of recycle with used MgO--C fire brick / T. Shiotani, N. Nishimura // Taikabutsu-Refractories. — 2014. — Vol. 66, № 7. — P. 312–316 (Новости черной металлургии за рубежом. — 2015. — № 4. — С. 71–74).
13. **Akselrod, L. M.** Two challenges to the system of periclase quality evaluation / L. M. Akselrod, I. G. Maryasev, A. A. Platonov, D. R. Melnikova // METEC 2nd ESTAD, 2015, Dusseldorf, 15–19 June, 2015. — P. 384.
14. **Аксельрод, Л. М.** Совершенствование технологии периклазошпинельных огнеупоров для внепечной обработки стали : тезисы Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (7–8 апреля 2016 г., Москва) / Л. М. Аксельрод, Т. В. Ярушина, А. В. Заболотский // Новые огнеупоры. — 2016. — № 3. — С. 48, 49.
15. **Luz, A. P.** Refractory Castable Engineering / A. P. Luz, M. A. L. Draulio, V. C. Pandolfelli // Goller Verlag, F.I.R.E. Compendium Series. — 2015. — P. 720.
16. **Пат. 2579092 Российская Федерация, С 04 В 28/06.** Огнеупорная бетонная смесь / Жидков А. Б., Долгих С. В., Денисов Д. Е., Власовец С. А., Аксельрод Л. М. ; опубл. 27.03.2016.
17. **Аксельрод, Л. М.** Применение торкрет-масс основного состава в промежуточных ковшах МНЛЗ, разработка составов / Л. М. Аксельрод, В. В. Ряшин, Е. И. Поспелова, И. Г. Маряев // Новые огнеупоры. — 2013. — № 5. — С. 16–25.
18. **Akselrod L. M.** Use of Basic Composition Torcrete Mix in CBCM Tundishes, Development of New Compositions / L. M. Akselrod, V. V. Ryashin, E. I. Pospelova, I. G. Maryasev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2013. — Vol. 54, № 3. — P. 169–177.
19. **Углов, В. А.** Основные направления развития металлургической технологии для обеспечения современных требований по уровню и стабильности технологических и служебных свойств стали / В. А. Углов, А. И. Зайцев, И. Г. Родионова // Бюл. Черная металлургия. — 2012. — № 3. — С. 85–93.
20. **Зенк Д.** Металлургия стали-проблемы материалов / Д. Зенк // Черные металлы. — 2015. — Июль. — С. 60–68.
21. **Tomas, M.** Feuerfestloesungen zur Verbesserung des Shahrenheitsgrades / M. Tomas, M. Kirschner, I. Rotsch [et al.] // Stahl und Eisen. — 2012. — Bd. 132, № 8. — S. 3–45.
22. **Buhr, A.** Fahndrich The steel industry in Germany — Trends in Clean Steel Technology and Refractory Engineering

/ A. Buhr, R. Bruchausen // Refractories Worldforum. — 2016. — № 1. — P. 57–63.

22. **Poirrier J.** A review: influence of refractories on steel quality / J. Poirrier // Metallurgical Research & Technology. — 2015. — Vol. 112, № 4. — P. 410–430.

23. **Айхерт, Т.** Внедрение технологии RH-вакуумирования стали на примере российских заводов / Т. Айхерт // Металлургическое производство и технология. — 2012. — № 2. — С. 20–30.

24. **Виноградов, С. В.** Развитие вакуумирования стали на НТМК / С. В. Виноградов, М. А. Третьяков, А. А. Фетисов // Сталь. — 2007. — № 12. — С. 13, 14.

25. **Казаков, А. А.** Управление процессами образования неметаллических включений при производстве конвертерной стали / А. А. Казаков // Черные металлы. — 2014. — № 4. — С. 43–48.

26. **Вдовин, К. Н.** Разработка рафинирующих устройств модернизируемых промежуточных ковшей МНЛЗ / К. Н. Вдовин // Механическое оборудование металлургических заводов. — 2015. — № 1 (4). — С. 42–46.

27. **Смирнов, А. Н.** Инновационные решения в области непрерывной разливки стали (по материалам 8-й европейской конференции по непрерывной разливке / А. Н. Смирнов // Сталь. — 2014. — № 9. — С. 17–22.

28. **Пат. 2167031 Российская Федерация, В 22 Д 441/50.** Глухой погружаемый стакан / Носов С. К., Кузовкин А. Я., Ильин В. И., Вислогузова Э. А., Фёдоров Л. К., Паршин В. М., Коротков Б. А., Аксельрод Л. М.; заявл. 03.11.00; опубл. 20.05.01.

29. **Tassot, P.** Ways of improving steel quality in the tundish / P. Tassot, N. Reichert // Revue de Metallurgie. — 2010. — Vol. 107, № 5. — P. 179–185.

30. **Roberts, J.** Outlook for refractory end-user markets to 2020 / J. Roberts, A. Saxby // 57th International Colloquium on Refractories, 2014. — Aachen-2014. — P. 228–230.

31. **Аксельрод, Л. М.** Развитие огнеупорной отрасли — отклик на запросы металлургии / Л. М. Аксельрод // Черная металлургия. Бюллетень. — 2013. — № 3. — С. 125–142.

32. **Токарев, А. В.** Огнеупоры в металлургии: от логистики и обслуживания к инновационному сервису / А. В. Токарев, М. Х. Шаимов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 6. — С. 141–144.

33. **Ланге, Э.** Все больше предприятий доверяют профессионалам сервиса / Э. Ланге // Черные металлы. — 2014. — Июль. — С. 65, 66. ■

Получено 04.06.16
© Л. М. Аксельрод, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

59-й коллоквиум по огнеупорам

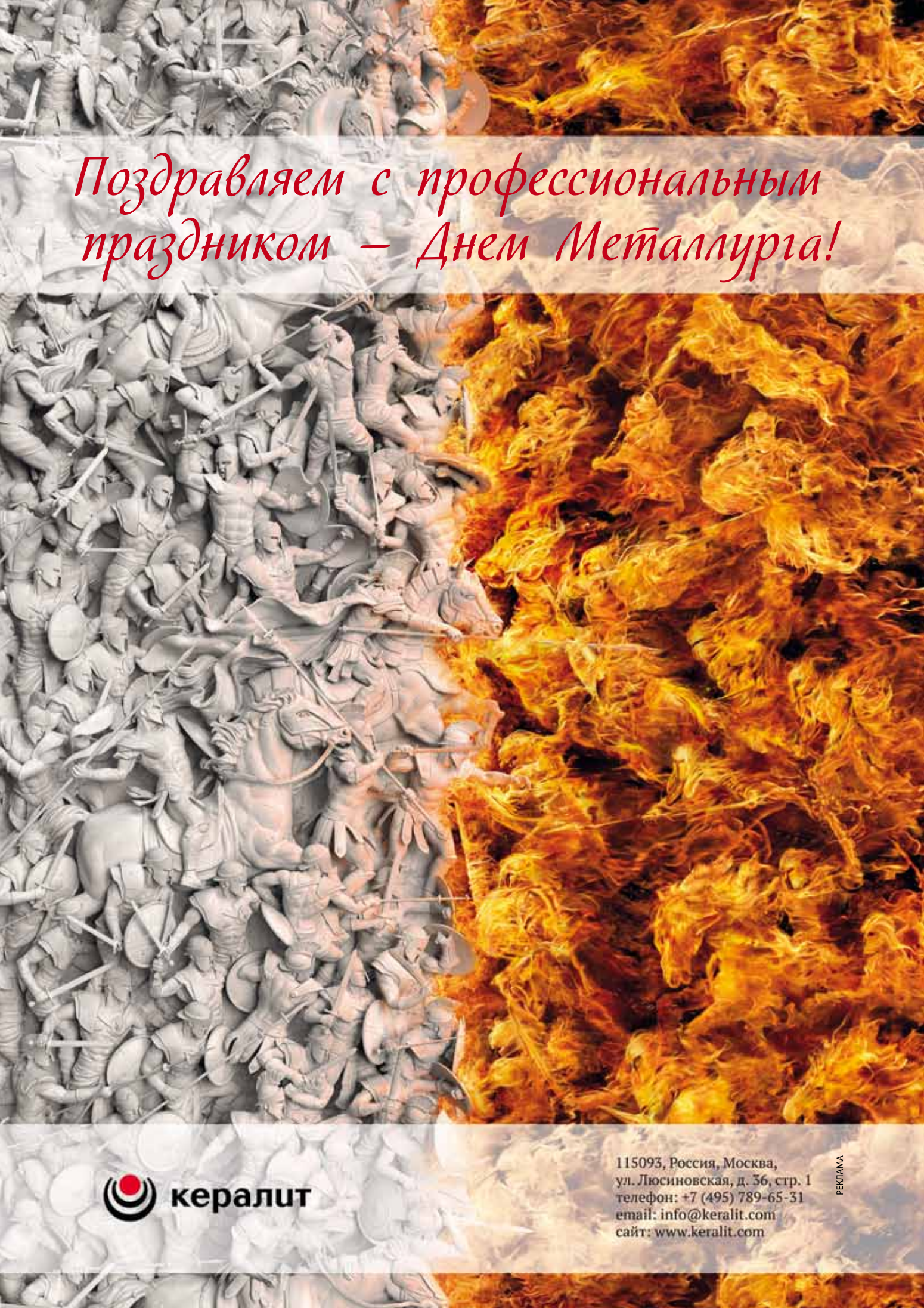
28—29 сентября 2016 г.
г. Аахен, Германия

Темы:

- ▷ Чугун
- ▷ Сталь
- ▷ Непрерывная разливка стали
- ▷ Черные и цветные металлы
- ▷ Литье
- ▷ Формованные и неформованные огнеупоры
- ▷ Функциональные огнеупоры и теплоизоляция
- ▷ Новые концепции и инжиниринг
- ▷ Сырье
- ▷ Управление качеством
- ▷ Рециклинг

EUROPEAN CENTRE
ECREF
FOR REFRACTORIES

www.feuerfest-kolloquium.de



*Поздравляем с профессиональным
праздником – Днем Металлурга!*



кералит

115093, Россия, Москва,
ул. Люсиновская, д. 36, стр. 1
телефон: +7 (495) 789-65-31
email: info@keralit.com
сайт: www.keralit.com

РЕКЛАМА

К. Т. Н. М. В. Краснянский¹ (✉), И. В. Егоров¹, А. Е. Орленко¹,
С. И. Иваница², М. Г. Джундиет², Ю. В. Балавнева²

¹ ООО «Кералит», Москва, Россия

² ООО «НЛМК-Калуга», с. Ворсино Боровского р-на Калужской обл., Россия

УДК 666.974.2:666.762.1]:[621.746.329.047:669.18.046.518

РАЗРАБОТКА МЕТАЛЛОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ НЕПРЕРЫВНУЮ РАЗЛИВКУ СВЕРХДЛИННЫМИ СЕРИЯМИ

Приведен обзор современных металлоприемников для промежуточных ковшей. На основании математического моделирования и промышленных испытаний разработана новая комбинированная конструкция металлоприемника для многоручьевых сортовых МНЛЗ, позволяющая достичь высоких показателей серийности и повысить качество разливаемой заготовки.

Ключевые слова: непрерывная разливка, промежуточный ковш (ПК), металлоприемники, шлаковый пояс, стойкость футеровки ПК.

Повышение серийности разливки металла на сортовых машинах непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) является важной задачей для любого металлургического предприятия. Оно приводит не только к увеличению выхода годного металла за счет снижения количества технологической обрезки, но и к снижению удельного расхода огнеупоров, улучшению качества литой заготовки, сокращению длительности простоев и в конечном итоге к повышению производительности всего предприятия. Особенно это актуально для металлургических мини-заводов, основной концепцией которых является минимизация производственных затрат и издержек.

Как известно [1, 2], на современных сортавых МНЛЗ, оснащенных системой быстрой замены стаканов-дозаторов, серийность ограничена в основном стойкостью рабочего слоя футеровки в приемной зоне промежуточного ковша (ПК). Струя металла, воздействуя на футеровку ПК в «бойной» зоне, повышает ее механический износ. Кроме того, после отражения струи образуются турбулизированные потоки металла, которые с высокой скоростью воздействуют на футеровку стен ПК в этой области. Для защиты «бойной» зоны ПК традиционно применяют металлоприемники. Однако при работе на современных многоручьевых сортавых МНЛЗ металлоприемник должен выполнять одновременно несколько важных функций: усилить «бойную» зону ПК, тормозить

поток металла и гасить его турбулентную кинетическую энергию, защищать шлаковый пояс футеровки ПК в приемной зоне, а также распределять поток металла между ручьями, обеспечивающий усреднение температуры, химического состава и всплывание неметаллических включений [3, 4].

В настоящее время на рынке огнеупорных изделий в основном представлены металлоприемники двух типов: струегасители и для длительных серий. Металлоприемники первого типа обычно применяют на одно-, двух-ручьевых МНЛЗ при разливке малыми сериями (рис. 1, а–в). Вогнутая форма стенок ударной поверхности таких металлоприемников позволяет эффективно тормозить падающую струю металла непосредственно внутри изделия за счет взаимного гашения поступающего и отраженного потоков металла и направлять ламинарные потоки металла в объем ПК. Однако струегаситель не обеспечивает защиту рабочего слоя футеровки стенки ПК (в особенности шлакового пояса) в приемной зоне, что и является причиной низкой серийности разливки при его использовании. Для разливки большими сериями применяют металлоприемники с высокими стенками, защищающими футеровку ПК в приемной зоне, а также противоположную стенку в этой зоне (рис. 1, г–е). Кроме того, благодаря проемам в стенках использование таких металлоприемников позволяет перенаправлять потоки металла к крайним ручьям ПК для более равномерного распределения новых порций металла из сталеразливочного ковша между ручьями. По этой причине на многоручьевых МНЛЗ рекомендуется использовать металлоприемники этого типа.

Компания «Кералит» имеет в своем арсенале большой спектр металлоприемников обоих



М. В. Краснянский
E-mail: krasnyansky@keralit.com

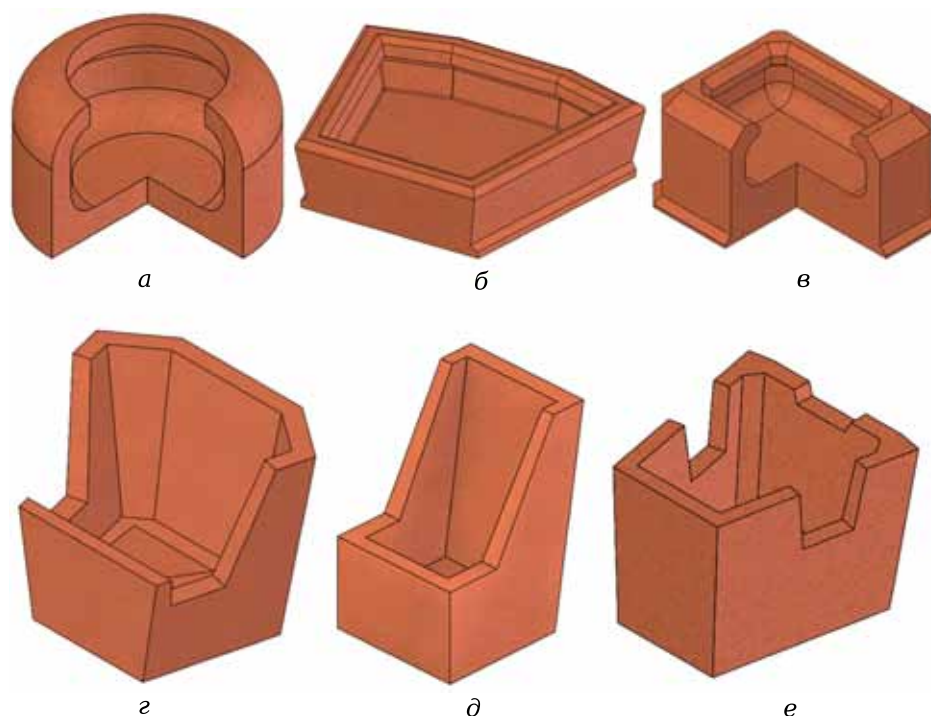


Рис. 1. Металлоприемники конструкции компании «Кералит»: а–в — струегасители; г–е — для разливки больших серий

типов (см. рис. 1), предназначенных для различных конструкций ПК и обеспечивающих необходимую серийность разливки. Бетоны, применяемые для производства металлоприемников, изготавливают из табулярного глинозема и благодаря этому готовые изделия имеют высокую огнеупорность и прочность как в горячем состоянии, так и в холодном. Кроме того, добавка в бетон металлической фибры из жаропрочной стали позволяет повысить износо- и трещиностойкость металлоприемников. Результаты их эксплуатации приведены в таблице.

Результаты эксплуатации металлоприемников на металлургических предприятиях России и стран СНГ

Предприятие	Тип МНЛЗ, подразделение	Вместимость ПК, т	Стойкость, плавки
<i>Металлоприемники для разливки больших серий</i>			
Челябинский МК	Сортовая № 3	30	72
	Сортовая № 4	30	75
Енакиевский МЗ	Сортовая, ККЦ	30	40
Северсталь	Сортовая, ЭСПЦ	30	40
БМЗ	Сортовая № 1 и 2, ЭСПЦ-1	20	50
НСММЗ	Сортовая № 2	25	40
НЛМК-Калуга	Сортовая	39	125
<i>Металлоприемники-струегасители</i>			
Уральская сталь	Слябовая, ЭСПЦ	25	11
Узметкомбинат	Блочная № 1–3, ЭСПЦ	25	8
НТМК	№ 2, ККЦ	30	14
	№ 4, ККЦ	30	10
Алчевский МК	№ 1 и 2	60	10
БМЗ	№ 3	20	7
Ашинский МЗ	Слябовая, ЭСПЦ-2	16	12
ОЭМК	Сортовая № 6	30	15
НЛМК	Сортовая, КЦ-2	50	10

В 2013 г. была запущена первая очередь современного отечественного электрометаллургического мини-завода «НЛМК-Калуга», включающая ДСП-120, УКП и 8-ручьевую сортовую МНЛЗ. Перед специалистами компании «Кералит» была поставлена задача предложить металлоприемник, учитывающий специфику разливки на первой в стране высокопроизводительной 8-ручьевой МНЛЗ и обеспечивающий разливку сверхдлинными сериями (100 плавов и более). Для этого было решено спроектировать новое изделие, объединяющее преимущества обоих

вышеописанных типа металлоприемников. В технической литературе описаны результаты исследований и разработок подобных комбинированных изделий [5, 6], однако сведения об их успешном применении на металлургических предприятиях России или стран СНГ отсутствуют.

Для разработки нового металлоприемника предварительно было проведено математическое моделирование процесса разливки стали в 8-ручьевом ПК мини-завода «НЛМК-Калуга» с использованием различных вариантов металлоприемников. Результаты, полученные на математической модели ПК, подтвердили высокую эффективность металлоприемника-струегасителя CERALIT 012028 (см. рис. 1, а) в торможении падающей струи металла и

гашении ее кинетической энергии (рис. 2, а, б). Скорость потока металла при достижении дна ПК составляет около 1 м/с, в то время как на выходе из металлоприемника она уменьшается примерно до 0,1 м/с (см. рис. 2, а). Тем не менее из-за отсутствия у металлоприемника защитных стенок потоки металла воздействуют на футеровку в приемной зоне ПК, вызывая повышенную эрозию шлакового пояса, что подтверждается высокими касательными напряжениями, возникающими в этой области (см. рис. 2, б). Кроме того, из рис. 2, а видно, что потоки из металлоприемника направляются к средним ручьям ПК, в то время как у

крайних ручьев образуются застойные зоны, что может негативно влиять на качество разлитого металла.

При использовании металлоприемника CERALIT 012376 (см. рис. 1, з) стенки ПК в приемной зоне надежно защищены конструкцией металлоприемника (см. рис. 2, б'). В то же время ударная поверхность этого металлоприемника не обеспечивает достаточного торможения струи металла, и потоки металла после отражения с высокой скоростью ($\sim 0,2$ м/с) воздействуют на стенки металлоприемника, что видно из рис. 2, а'. Это может привести к их преждевременному размыванию и, как

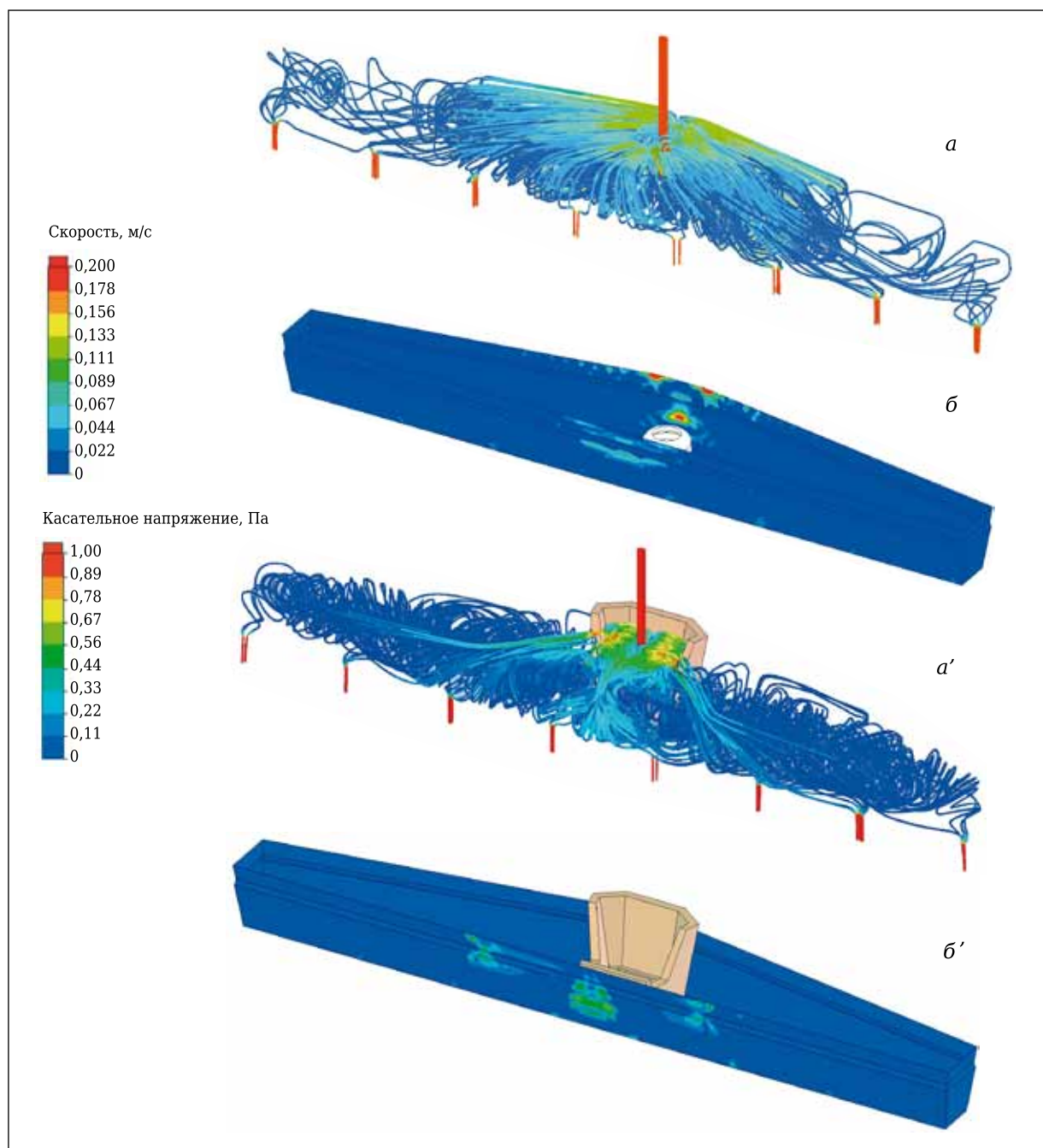


Рис. 2. Траектории потоков металла в ПК (а, а') и касательные напряжения от их воздействия (б, б') при использовании металлоприемников CERALIT 012028 (а, б) и CERALIT 012376 (а', б')

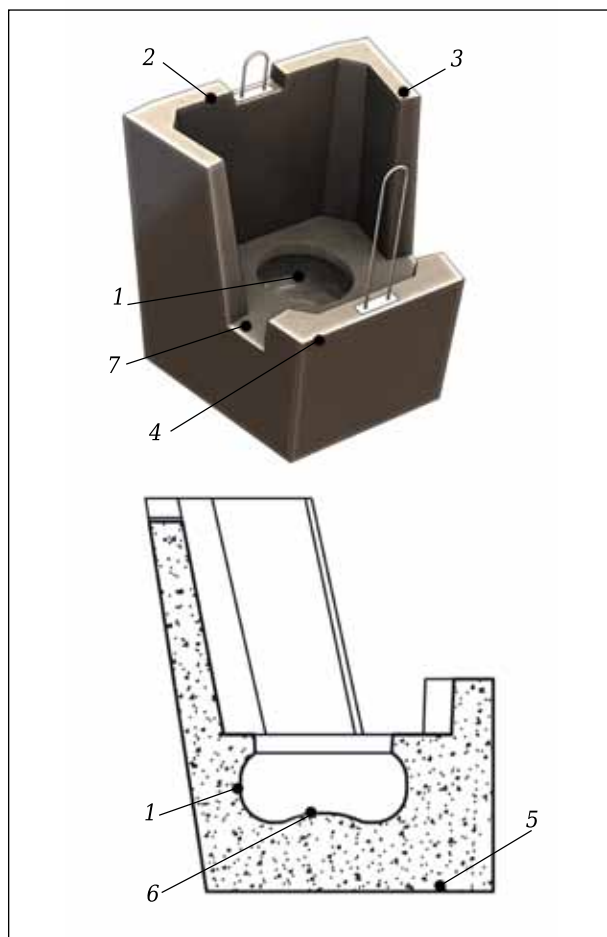


Рис. 3. Комбинированный металлоприемник CERALIT 012723

следствие, к снижению стойкости футеровки ПК. Тем не менее металлоприемник CERALIT 012376 обеспечивает равномерное распределение потоков между ручьями и благодаря усиленной «бойной» зоне позволяет достичь средней серийности 40–50 плавов (см. таблицу).

Предварительные исследования, основанные на анализе распределения потоков металла, многолетний опыт специалистов компании «Кералит» в проектировании футеровки ПК и активное сотрудничество технического отдела мини-завода «НЛМК-Калуга» позволили разработать новую конструкцию металлоприемника CERALIT 012723 (рис. 3), базирующуюся на хорошо зарекомендовавших себя изделиях CERALIT 012028 и CERALIT 012376.

Новый металлоприемник состоит из приемной емкости 1, задней 2 и боковых стенок 3 одинаковой высоты, а также передней стенки 4, высота которой составляет 0,2–0,6 от высоты задней стенки. Внутреннее пространство приемной емкости имеет сфероидальную форму, как у металлоприемников-струегасителей, для более эффективного гашения кинетической энергии падающей струи металла. Основание 5 приемной емкости имеет форму шестиугольника. В «бойной» зоне приемной емкости имеется утолщение 6 для повышения стойкости изделия. Задняя стенка 2 металлоприемника повторяет форму и наклон задней стенки ПК для более плотного встраивания в футеровку. Между передней и боковыми стенками имеются проемы 7 для перенаправления потоков металла к край-

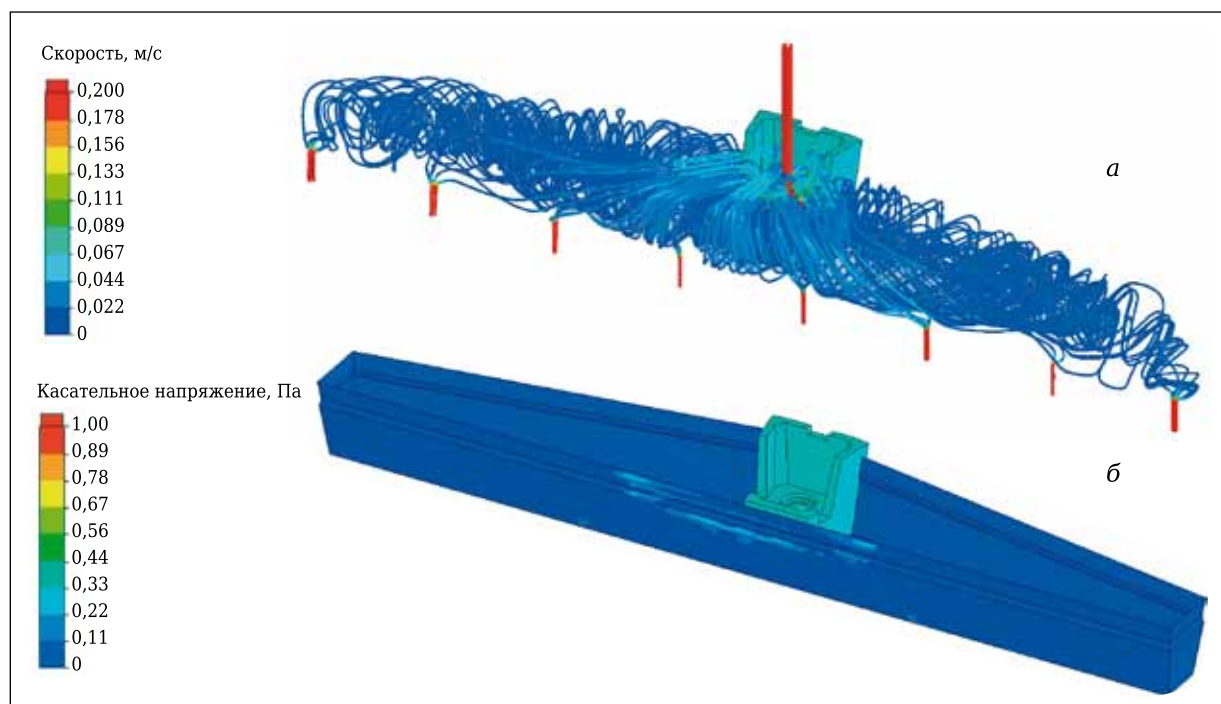


Рис. 4. Траектории потоков металла в ПК (а) и касательные напряжения от их воздействия (б) при использовании металлоприемников CERALIT 012723

ним ручьям ПК. На семейство комбинированных металлоприемников типа CERALIT 012723 получен патент 155940 [7].

Результаты моделирования потоков металла при разливке с комбинированным металлоприемником в условиях мини-завода «НЛМК-Калуга» показаны на рис. 4. Металл поступает в ПК из сталеразливочного ковша закрытой струей. Струя металла попадает в приемную емкость металлоприемника, где она тормозится благодаря вогнутой форме ударной поверхности и приемной емкости. После этого часть металла из металлоприемника поступает в пространство ПК через проемы в боковых стенках, а другая часть — через переднюю стенку. Из рис. 4, а видно, что скорость металла на выходе из металлоприемника не превышает 0,07 м/с. Таким образом, потоки металла направляются и к крайним ручьям, и к центральному, обеспечивая равномерное распределение новых порций металла между ними. При этом происходит усреднение температуры и химического состава металла, а также всплытие неметаллических включений и ассимиляция их шлаком. Равномерное распределение потоков металла минимизирует контакт новых порций горячего металла из сталеразливочного ковша с футеровкой шлакового пояса ПК в приемной зоне. Из рис. 4, б видно, что величина касательных напряжений на передней стенке ПК в 2–4 раза ниже, чем при применении изделий CERALIT 012028 и CERALIT 012376 (см. рис. 2).

Эксплуатация металлоприемника CERALIT 012723 на мини-заводе «НЛМК-Калуга» подтвердила результаты теоретических исследований и математического моделирования. На первой плавке в серии при наполнении ПК отсутствовало раз-

брызгивание металла, характерное для металлоприемников с плоской ударной поверхностью. При заполненном ПК не наблюдалось сильного бурления и оголения зеркала металла от покровного шлака в приемной зоне. Кроме того, отмечалось общее повышение качества разливаемой заготовки благодаря снижению количества неметаллических включений и частиц шлака, а также более равномерному распределению металла между ручьями. Применение металлоприемника наряду с другими мероприятиями по оптимизации технологического процесса позволило достичь рекордных показателей серийности разливки — 125 плавов на одном ПК [8]. При этом общее время непрерывной разливки составило 84 ч 57 мин, а количество разлитого металла в серии 16,02 тыс. т.

Таким образом, семейство комбинированных металлоприемников компании «Кералит» отвечает всем требованиям современной высокопроизводительной разливки, а именно обеспечивает необходимое торможение струи металла, защиту футеровки ПК и организацию движения потоков металла при разливке на многоручьевых МНЛЗ. Однако сверхвысоких показателей серийности разливки невозможно достичь только лишь за счет инновационной конструкции и повышенной стойкости металлоприемника. В частности, значительное снижение уровня металла в ПК при перековках, несвоевременное скачивание шлака, а также отклонение защитной трубы от вертикальной оси может привести к заметному снижению стойкости футеровки ПК. Поэтому строгое соблюдение технологических инструкций и рекомендаций — один из главных факторов, влияющих на серийность разливки на сортовых МНЛЗ, а следовательно, и на эффективность работы всего цеха.

Библиографический список

1. **Смирнов, А. Н.** Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования / А. Н. Смирнов, А. Л. Подкорытов // Технологии. — 2009. — № 12. — С. 18–25.
2. **Орленко, А. Е.** Использование металлоприемников с целью увеличения ресурса эксплуатации промежуточных ковшей / А. Е. Орленко // Огнеупоры и техническая керамика. — 2008. — № 5. — С. 45–50.
3. **Вдовин, К. Н.** Разработка огнеупорных конструкций для промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, И. М. Ячиков // Новые огнеупоры. — 2015. — № 11. — С. 3–7.
4. **Vdovin, K. N.** Designing refractories for the tundish of a continuous caster / K. N. Vdovin, V. V. Tochilkin, I. M. Yachikov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Vol. 56, № 6. — P. 569–573.
4. **Вдовин, К. Н.** Анализ работы системы сталеразливочный ковш - промежуточный ковш сортовой МНЛЗ и совершенствование огнеупорных конструкций приемной камеры промежуточного ковша / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, В. В. Точилкин // Новые огнеупоры. — 2016. — № 5. — С. 3–5.
5. **Смирнов, А. Н.** Развитие конструкции металлоприемников для проковшей высокопроизводительных сортовых МНЛЗ / А. Н. Смирнов, А. В. Кравченко // Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях : сб. науч. тр. — Донецк : ДонНТУ, 2013.
6. **Пат. 149743 Российская Федерация, МПК⁷ В 22 D 41/00.** Металлоприемник для промежуточного ковша / Можжерин В. А., Мигаль В. П., Новиков А. Н. и др. ; ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» ; заявл. 22.05.14.
7. **Пат. 155940 Российская Федерация, МПК⁷ В 22 D 41/00.** Металлоприемник промежуточного ковша / Белецкий Ю. М., Горбаненко В. М., Городинец А. В., Егоров И. В. и др. ; ООО «Кералит» ; заявл. 03.07.15.
8. НЛМК-Калуга провел 125 плавов на одном проковше. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.metalinfo.ru/ru/news/84813> (Дата обращения: 06.06.16). ■

Получено 29.06.16

© М. В. Краснянский, И. В. Егоров,
А. Е. Орленко, С. И. Иваница, М. Г. Джундиет,
Ю. В. Балавнева, 2016 г.

А. А. Эминов, д. х. н. З. Р. Кадырова (✉), д. т. н. Р. И. Абдуллаева

Институт общей и неорганической химии АН РУз, г. Ташкент,
Республика Узбекистан

УДК 552.45:666.76.001.8(575.1)

ИССЛЕДОВАНИЕ КВАРЦИТОВЫХ ПОРОД УЗБЕКИСТАНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДИНАСОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

Приведены результаты физико-химического исследования кварцитовых пород Койташского и Джерданакского месторождения Республики Узбекистан для проектирования состава динасовых материалов. Установлено, что исследуемые кварцитовые породы представляют большой интерес и являются перспективной сырьевой базой для огнеупорной промышленности Республики Узбекистан.

Ключевые слова: динасовые огнеупоры, кварцитовые породы, Койташское и Джерданакское месторождения, огнеупорная промышленность Республики Узбекистан.

В настоящее время в связи с организацией ряда предприятий по выпуску стекольной продукции, а также металлических изделий различного назначения в Республике Узбекистан потребность в огнеупорных футеровочных материалах, в частности динасовых изделиях и набивных массах, неуклонно растет. В этой связи разработка составов динасовых материалов на основе местных сырьевых ресурсов — актуальная задача предприятий народного хозяйства республики. При этом следует отметить, что дефицит отечественных высококачественных сырьевых материалов обуславливает необходимость комплексного исследования ранее разведанных месторождений, а также вовлечения в производство нетрадиционных минерально-сырьевых ресурсов для решения проблемы импортозамещения, поскольку из-за отсутствия производства отдельных видов огнеупорных материалов, в частности динасовых изделий и набивных масс, их приходится завозить из-за рубежа.

Известно [1–3], что для производства динасовых материалов из кремнеземистых сырьевых ресурсов используют в основном кварцево-жильные образования, кварциты, а также значительно реже кварцевые песчаники. Следует отметить, что особенности промышленного использования кремнеземистого сырья обуславливаются физико-химическими свойствами кварца. Высококачественный жильный кварц и кварцит обычно содержат 97–99 % SiO_2 , кварцевый песок 95–97 % SiO_2 .

На основе геологических исследований [4–6] выявлено около ста безрудных кварцевых

жил, большая часть которых распространена в Султануиздаге, Кызылкумах, Нуратинских, Кураминских и Зирабулак-Зиаэтинских горах. Определено, что из 12 перспективных объектов кварцево-жильного сырья республики всего лишь пять могут представлять практический интерес для огнеупорной промышленности. Кроме того, кварциты на территории Узбекистана распределяются локально в виде достаточно небольших пластов и пропластов, строго приуроченных к толщам определенного возраста. Наибольшего внимания заслуживают месторождения кварцитов Койташа, Кокпатаса, Джерданака, Кудука и Султануиздага.

В настоящей статье приведены результаты физико-химического исследования кварцитов Койташского и Джерданакского месторождений для проектирования состава набивных динасовых масс. Кварциты Койташского месторождения расположены в Галляаральском районе Джизакской обл. в 40 км от железнодорожной станции Галляарал в пределах вольфраммолибденового рудника. Кварциты среди метаморфизованных пород в виде пластов прослеживаются на несколько сотен метров при мощности 80 м. Отличаются частой полосчатостью, обусловленной чередованием темных и серых прослоев. Кварциты Джерданакского месторождения расположены в предгорной части восточного склона хребта Кугитангтау на территории Шерабадского района Сурхандарьинской обл., в 4 км южнее кишлака Вандоб. Долина Джерданак разделяет месторождение на две части: участок Южный и участок Северный. Последующими работами установлена перспективность Северного участка, на котором определены прогнозные ресурсы кварцитов в количестве около 1,0 млн т. Причем горно-технологические и гидрогеологические условия и инфраструктура обоих месторождений благоприятны для дальнейшей отработки получения динасовых материалов.



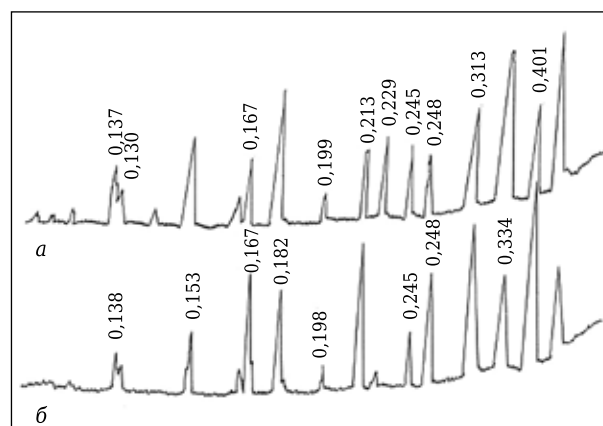
З. Р. Кадырова
E-mail: kad.zulayho@mail.ru

Для проектирования состава и разработки технологии получения динасовых масс были исследованы кварцитовые породы обоих месторождений, изучены их химико-минеральный состав и физико-химические характеристики. В табл. 1 и 2 приведены результаты рентгеноспектрального и химического анализов кварцитовых пород Койташского и Джерданакского месторождений. Для сравнения указан химический состав привозных кварцитов Овручского и Первоуральского месторождений, которые в настоящее время широко используют для производства динасовых изделий и набивных масс.

Для изучения полиморфных превращений кварца опытные образцы подвергали термообработке в интервале 1000–1450 °С. Опытные образцы готовили следующим образом: кварцит обоих месторождений предварительно мыли для освобождения от земли, мягкого известняка, глины и т. д. Затем дробили в обычных щековых дробилках и мололи в помольных бегунах. Измельченный кварцит просеивали с помощью набора сит, отсеивали домальывали в бегунах для получения тонкой фракции. Далее полусухим методом кварцитовые порошки влажностью 7–8 % формовали в виде таблеток диаметром 50 мм. Образцы высушивали на воздухе и в сушильном шкафу при 100–110 °С и обжигали в лабораторных силитовых печах со скоростью подъема температуры 200 °С/ч и выдержкой

при конечной температуре 1 ч. Контроль температуры осуществляли с помощью платина-платинародиевой термопары. Затем обожженные образцы подвергали физико-химическим исследованиям, результаты которых приведены в табл. 3.

Результаты рентгенофазового анализа исходных образцов показали, что на рентгенограммах проб кварцитов Койташского и Джерданакского месторождений обнаруживаются дифракционные максимумы, относящиеся к минералам β-кварца, являющегося главной кристаллической



Рентгенограммы кварцитовых образцов, обожженных при 1450 °С: а — койташский кварцит; б — джерданакский кварцит

Таблица 1. Результаты спектрального анализа кварцитовых пород

Кварцит	Содержание, %										
	Si	Al	Ca	Na	K	Fe	Mg	P	Mn	V	Ti
Койташский:											
К-1	45,1	0,09	0,001	0,05	0,18	0,21	0,12	0,017	0,002	0,11	0,02
К-2	44,9	0,07	0,001	0,05	0,19	0,21	0,11	0,019	0,003	0,10	0,03
Джерданакский:											
ДЖ-1	45,0	0,08	0,002	0,04	0,20	0,20	0,10	0,020	0,003	0,10	0,03
ДЖ-2	46,2	0,06	0,002	0,03	0,22	0,21	0,12	0,018	0,002	0,08	0,03

Таблица 2. Химический состав используемых сырьевых материалов

Сырье	Содержание оксида (на воздушно-сухое вещество), %									Δm _{прк} *, %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃		
Койташский кварцит:										
К-1	96,71	0,40	0,79	0,21	0,24	0,20	0,65	Сл.	1,34	
К-2	95,78	0,20	0,15	0,51	Сл.	0,15	0,58	0,14	2,55	
Джерданакский кварцит:										
ДЖ-1	98,70	0,31	0,65	0,15	0,22	0,18	0,56	Сл.	1,25	
ДЖ-2	93,30	2,41	0,72	1,05	0,11	0,14	0,18	0,06	2,03	
Овручское	97,31–98,60	0,49–1,34	0,08–0,34	0,21–0,33	0,08–0,12	0,17	0,06	0,03	–	
Первоуральское	98,30–98,99	1,35–0,85	0,39–0,04	–	–	–	–	–	1,10–0,02	

* С учетом гигроскопической, конституционной, кристаллизованной воды, органических и летучих веществ и CO₂.

Таблица 3. Основные физико-химические показатели образцов на основе кварцитовых пород

Кварцит	Огнеупорность, °С	Плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Водопоглощение, %
Койташский:				
К-1	1700–1720	2,51	8,25	0,40
К-2	1720–1740	2,54	8,30	0,35
Джерданакский:				
ДЖ-1	1700–1720	2,48	8,74	0,15
ДЖ-2	1700–1720	2,50	8,35	0,21

ской фазой природных сырьевых кварцитов. Результаты рентгенографического исследования обожженных опытных образцов показали, что в процессе термообработки происходят фазовые превращения кристаллических фаз кварца (0,425, 0,334 и 0,245 нм) с переходом его в высокотемпературную модификацию — тридимит (0,313, 0,198 и 0,137 нм) и частично в кристобалит (0,401, 0,248 и 0,167 нм), благодаря чему дианасовая масса набирает прочность и термостойкость. На рисунке показаны рентгенограммы обожженных кварцитовых пород исследуемых месторождений.

Таким образом, судя по вещественному составу и физико-химическим показателям, кварциты Койташского и Джерданакского месторождений являются перспективными сырьевыми ресурсами для разработки эффективного состава дианасовых материалов. Использование этих кварцитов для получения дианасовых материалов представляет большой практический интерес и расширяет сырьевую базу огнеупорной промышленности Республики Узбекистан.

Библиографический список

1. **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов. — М. : Металлургия, 1985. — 480 с.
2. Химическая технология керамики и огнеупоров : уч. для вузов ; под общ. ред. П. П. Будникова и Д. Н. Полуобяринова. — М. : Стройиздат, 1972. — 553 с.
3. **Кайнарский, И. С.** Динас / И. С. Кайнарский. — М. : Металлургия, 1961. — 469 с.
4. Минерально-сырьевая база строительных материалов УзССР : справочник. — Ташкент : Фан, 1967. — 600 с.
5. **Хамидов, Р.** Определение направлений геолого-разведочных и научно-исследовательских работ на алюмосиликатное, кремнеземистое и углеродистое огнеупорное сырье с учетом потребности промышленности и имеющихся геологических предпосылок / Р. Хамидов [и др.]. — Ташкент : Фонды ИМР, 2002. — 650 с.
6. **Барковская, Е. И.** О геолого-съемочных работах масштаба 1 : 25000, проведенных на восточном окончании Зибулакских гор в 1965–1966 гг. : отчет Зарафшанской ГРЭ, Самарканд / Е. И. Барковская [и др.]. — Ташкент : ГГФ, 1967. — 465 с. ■

Получено 15.04.16

© А. А. Эминов, З. Р. Кадырова,
Р. И. Абдуллаева, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Министерство образования и науки Украины
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
ПАО «УкрНИИОгнеупоров имени А. С. Бережного»



Международная научно-практическая конференция

**«Пятые научные чтения имени
академика НАНУ А. С. Бережного
«Физико-химические проблемы
в технологии тугоплавких
и неметаллических материалов»**

к 90-летию кафедры технологии керамики,
огнеупоров, стекла и эмалей»

11–14 октября 2016 г.

г. Харьков, Украина



Тематика конференции:

- Секция 1. Керамические материалы и огнеупоры: от теории к практике
- Секция 2. Химия и технология вяжущих и композиционных материалов
- Секция 3. Физико-химические основы технологии конструкционных, в том числе наноструктурных материалов
- Секция 4. Стеклоэмали и стеклокомпозиционные материалы и покрытия.

Контактная информация:

Федоренко Елена Юрьевна fedorenko_e@ukr.net
+380507130335, +380632970313

Саввова Оксана Викторовна savvova_oksana@ukr.net
+380502010444

Корогодская Алла Николаевна korogodskaya@yandex.ru
+380662296068

Воронов Геннадий Константинович voronov1976@ukr.net
+380661449973



Д. Г.-М. Н. В. А. Перепелицын¹ (✉), А. М. Гороховский²,
А. В. Федоровцева², К. Г.-М. Н. Л. П. Яковлева²

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург,
Россия

² ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск
Свердловской обл., Россия

УДК 666.762.5.046.5:621.365.22

ПРОИЗВОДСТВО ПЛАВЛЕНОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ОАО «ПЕРВОУРАЛЬСКИЙ ДИНАСОВЫЙ ЗАВОД»^{*1}

Выполнен теоретический расчет относительной износостойчивости в службе огнеупоров различного химико-минерального состава. На основании величины термоэнергоплотности установлено, что среди всех оксидов высшей огнеупорности (температура плавления $>2500^\circ\text{C}$) диоксид циркония находится на первом месте. Среди доступных тугоплавких минералов (соединений) других химических классов ZrO_2 по относительной износостойкости уступает только графиту и карбиду кремния ($\alpha\text{-SiC}$). На основании исследований разработан технологический регламент, спроектирована, построена технологическая линия и освоено промышленное производство плавленного частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСДЦ). С использованием ЧСДЦ осуществляется производство цирконистографитовых погружаемых стаканов для МНЛЗ.

Ключевые слова: частично стабилизированный диоксид циркония (ЧСДЦ), кларк химического элемента, высшая огнеупорность, термоэнергоплотность, относительная износостойчивость огнеупоров.

Главными направлениями непрерывного технологического развития ОАО «Первоуральский динасовый завод» являются разработка и внедрение новой эффективной продукции, совершенствование технологии, улучшение качества серийных изделий и неформованных огнеупоров, расширение ассортимента и объема производства качественного синтетического сырья, импортозамещение (особенно в решении сырьевых проблем).

Общеизвестно, что примерно 60–70 % футеровок в службе разрушаются в результате химического взаимодействия с жидкими, газообразными и твердыми веществами — активными корродиентами тепловых агрегатов. Так как скорость растворения, испарения и химических реакций огнеупоров с агрессивными средами обратно пропорциональна размерам кристаллов слагающих их минералов, максимальной химической коррозионной устойчивостью обладают плотные крупнокристаллические плавленные материалы. На основании многочисленных сравнительных промышленных испытаний в службе

установлено, что относительная коррозионная стойкость плавленных материалов на 30–60 % выше, чем спеченных идентичного химико-минерального состава.

В ОАО «Динур» постоянно расширяется ассортимент и увеличивается объем выпуска современной огнеупорной продукции с использованием плавленных сырьевых материалов собственного производства [1]. В течение последних 15–20 лет в Инженерном центре завода разработаны физико-химические основы и организовано промышленное производство плавленных материалов: магнезиальноглиноземистой шпинели MgAl_2O_4 , белого электрокорунда, легированных разновидностей корунда $(\text{Al,Ti})_2\text{O}_3$, $(\text{Al,Cr})_2\text{O}_3$, корундомуллита $(\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)$. Все эти материалы имеют температуру плавления в интервале $1713\text{--}2200^\circ\text{C}$, что уже недостаточно для ряда современных и новых технологических высокотемпературных процессов в электротермии, космической, атомной и других отраслях. Для применения в экстремальных высокотемпературных условиях в окислительных средах необходимы огнеупоры высшей огнеупорности с температурой плавления выше 2500°C .

Согласно инновационной программе расширения ассортимента продукции на заводе выбор сырьевых материалов для промышленного производства новых высокостойких огнеупоров осуществляется на основе комплексной оценки максимальной износостойчивости с учетом материаловедческих, геохимических, экологических, технологических и экономиче-

^{*1} По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (7–8 апреля 2016 г., Москва).



В. А. Перепелицын
E-mail: pva-vostio@bk.ru

ских факторов. При этом немаловажное значение имеют экономические параметры производства и применения продукции [2]. Главными геохимическими факторами всех технологий с использованием минерального сырья являются кларк химического элемента и наличие его промышленных концентраций (месторождений) в земной коре. Износоустойчивость огнеупоров находится в сложной функциональной зависимости от теплофизических и кристаллохимических свойств составляющих их минералов или неорганических соединений. Первостепенное значение имеет максимальный резерв огнеупорности (превышение температуры плавления над температурой службы) футеровки.

В настоящее время и в обозримом будущем наибольшую практическую ценность для службы в экстремальных условиях в окислительной среде при 2000 °С и выше имеют высокоогнеупорные оксиды с температурой плавления выше 2500 °С (табл. 1). Однако число таких термостабильных соединений весьма мало, их всего восемь (в скобках указаны температура плавления, °С, и название аналога — природного минерала): ThO₂ (3300, торинит), MgO (2800, периклаз), HfO₂ (2780), UO₂ (2750, уранинит), CeO₂ (2727), ZrO₂ (2700, бадделеит), CaO (2625, известь), BeO (2570, бромеллит). Среди перечисленных восьми оксидов пять невозможно использовать в массовом производстве вследствие радиоактивности

(ThO₂, UO₂) и токсичности (BeO), а также весьма низкого кларка (содержание в земной коре в 1000 раз меньше, чем CaO и MgO).

Среди трех доступных оксидных сырьевых материалов ZrO₂ обладает уникальным сочетанием физико-химических свойств для повышения износоустойчивости огнеупоров, а также является эффективным веществом для легирования и модифицирования большинства огнеупорных материалов. Реальная практика службы и теоретические расчеты показали, что относительная износоустойчивость этих трех высокоогнеупоров резко различается и сильно снижается в ряду ZrO₂, MgO, CaO.

Ранее было установлено, что наиболее достоверным количественным оценочным критерием для прогнозирования относительной износоустойчивости огнеупоров является термоэнергоплотность T_d вещества [2–5]:

$$T_d = ET_{пл} = (\Delta G/V)T_{пл} = (\Delta G\rho/M)T_{пл}, \text{ кДж}\cdot\text{град}/\text{см}^3,$$

где ΔG — изобарно-изотермический потенциал (энергия Гиббса) для оксидов или энергия атомизации для элементов и бескислородных соединений, кДж/моль или кДж/атом соответственно; V — молярный или атомный объем, см³/моль или см³/атом; $T_{пл}$ — температура плавления, °С; ρ — истинная плотность, г/см³; M — молярная или атомная масса, г/моль или г/атом.

Формула термоэнергоплотности включает в краткой форме весь комплекс главных теплофизических, термодинамических и кристаллохимических свойств тугоплавких минералов (соединений). Расчетные значения термоэнергоплотности приведены в табл. 2 и показаны на рис. 1. От наиболее износоустойчивого минерала графита к менее устойчивому кварцу T_d снижается почти в 8 раз. Диоксид циркония — бадделеит среди доступных сырьевых материалов по относительной износоустойчивости находится на третьем месте после графита и карбида кремния, что подтверждается практикой их эксплуатации в экстремальных условиях. Среди доступных высокоогнеупорных оксидов ZrO₂ занимает лидирующую позицию.

До 2016 г. на заводе при производстве изделий для МНЛЗ несколько лет использовали импортный плавный ZrO₂. Для импортозаме-

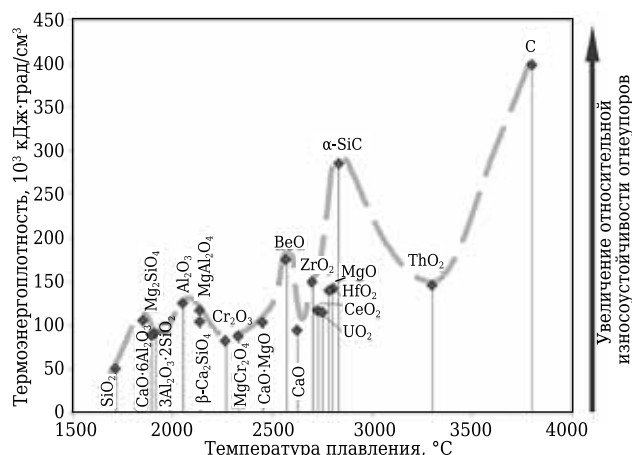


Рис. 1. Термоэнергетические параметры огнеупорных минералов

Таблица 1. Оксиды высшей огнеупорности

Соединение	Температура плавления, °С	Природный минерал	Кларк*, мас. %	Примечание
BeO	2570	Бромеллит	$3,8 \cdot 10^{-4}$	Токсичный, низкий кларк в земной коре
MgO	2800	Периклаз	1,87	Доступность
CaO	2625	Известь	2,96	»
ZrO ₂	2700	Бадделеит	$17 \cdot 10^{-3}$	—
CeO ₂	2727	Церианит	$7 \cdot 10^{-3}$	Низкий кларк в земной коре
HfO ₂	2780	—	$1,0 \cdot 10^{-4}$	» » » » »
ThO ₂	3300	Торинит	$1,3 \cdot 10^{-3}$	Радиоактивный
UO ₂	2750	Уранинит	$2,5 \cdot 10^{-4}$	Радиоактивная урановая руда

* Указан кларк оксидообразующего химического элемента.

шения разработан технологический регламент, спроектирована, построена и в 2015 г. введена в эксплуатацию технологическая линия по производству плавного ZrO_2 . В структуре себестоимости производства цирконийсодержащих материалов более 60 % составляют расходы на сырье. Особенно дорогим является технически чистый ZrO_2 , получаемый сложной химико-термической переработкой $ZrSiO_4$ (содержит ~72 % ZrO_2). По суммарному количеству балансовых запасов циркониевых руд Россия занимает третье место в мире после Австралии и ЮАР [6]. Госбалансом учтено 13 месторождений (12 циркона и одно бадделеита). Однако ни одно месторождение циркона пока не разрабатывается; осуществляется подготовка к освоению на двух из них. По данным Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС) в настоящее время Россия — единственный в мире производитель бадделеитового концентрата, получаемого в качестве ценного дополнительного продукта из комплексных руд Ковдорского железорудного месторождения (Мурманская обл.) [6]. К сожалению, до 90 % получаемого концентрата экспортируется. В то же время наша страна импортирует до 30 тыс. т в год цирконового концентрата, в основном из Украины. В природе ZrO_2 моноклинной модификации (бадделеит) известен с 1893 г. В 1969 г. в Сибири найден природный твердый раствор на основе ZrO_2 кубической системы (Zr , Ti , Ca) O_2 , названный тажеранитом. Минерал весьма редкий, представляет только научный интерес [7].

В качестве основного сырьевого компонента для производства ZrO_2 выбран бадделеитовый концентрат Ковдорского месторождения. Для стабилизации ZrO_2 в кубической кристаллохимической модификации ZrO_2 (мон.) используют природный карбонат кальция. Химический состав исходных природных сырьевых материалов приведен в табл. 3. Обе разновидности минерального сырья имеют высокое содержание основного оксида (>98,0 %). Минеральный состав бадделеитового концентрата представлен изоморфной смесью $ZrO_2 + HfO_2$ моноклинной модификации (98–99 %). В виде примесей встречается незначительное количество апатита $Ca_5(PO_4)_3(OH,F)$, сфена $CaTiSiO_5$, форстерита Mg_2SiO_4 и магнетита. Ми-

Таблица 2. Взаимосвязь температуры плавления и термоэнергетичности огнеупорных соединений

Минерал, соединение	Химическая формула	Температура плавления, °C	Термоэнергетичность, 10^3 кДж·град/см ³
Графит	C	3800	397,9
Карбид кремния	α -SiC	2830	285,3
Бромеллит	BeO	2570	176,1
Бадделеит	ZrO_2	2700	150,1
Торианит	ThO_2	3300	146,2
Периклаз	MgO	2800	142,3
Оксид гафния	HfO ₂	2780	140,7
Корунд	Al ₂ O ₃	2050	125,9
Церианит	CeO ₂	2727	117,8
Шпинель	MgAl ₂ O ₄	2135	117,6
Уранинит	UO ₂	2750	115,2
Бонит	CaO·6Al ₂ O ₃	1850	106,6
Ларнит	β -Ca ₂ SiO ₄	2135	104,8
«Доломит»	CaO·MgO	2450	104,1
Известь	CaO	2625	94,7
Муллит	3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	1910	91,0
Форстерит	Mg ₂ SiO ₄	1890	88,6
Магнохромит	MgCr ₂ O ₄	2330	87,8
Эсколаит	Cr ₂ O ₃	2265	82,5
Кварц	SiO ₂	1713	50,7

↑ Увеличение относительной износоустойчивости огнеупоров

Таблица 3. Характеристика сырьевых материалов

Показатели	Требования НД	Результаты испытаний ОАО «Динур»
<i>Бадделеитовый концентрат</i>		
Химический состав, мас. %:		
$ZrO_2 + HfO_2$	Не менее 98,5	98,60
SiO ₂	Не более 0,4	0,29
Fe ₂ O ₃	Не более 0,1	0,10
TiO ₂	Не более 0,13	0,10
P ₂ O ₅	Не более 0,2	0,18
Влажность, %	Не более 0,5	0,02
Фазовый состав, %:		
ZrO_2 (мон.)		100
Зерновой состав, %, фракции, мм:		
>0,2		2,30
>0,1		31,40
<0,1		66,30
<i>Карбонат кальция (кальцит)</i>		
Химический состав, мас. %:		
CaO	Не менее 98,0	98,20
Fe ₂ O ₃	Не более 0,25	0,24
$m_{прк}$	—	43,40
Влажность, %	Не более 0,20	0,42

неральный состав карбоната кальция представлен практически полностью кальцитом $CaCO_3$ (содержание примесей <1,0 %).

Практикой производства и применения цирконисто-оксидных огнеупоров установлено, что наиболее оптимальное сочетание свойств и поведения в службе обеспечивает частично стабилизированный диоксид циркония (ЧСДЦ), в котором соотношение кубической и моноклинной модификаций находится в пределах 65–85 : 35–15 мас. % (среднее 75 : 25 %) [8]. В отличие от полностью стабилизированной кубической модификации ЧСДЦ обладает рядом положительных свойств, в частности заметно более вы-

Таблица 4. Химический и фазовый составы плавленного ЧСДЦ (готовый продукт фракции <0,5 мм)

ЧСДЦ	Химический состав, мас. %							Фазовый состав, %	
	ZrO ₂ +HfO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	m _{прк}	ZrO ₂ (куб.)	ZrO ₂ (мон.)
Номер партии:									
1	94,10	0,28	0,50	0,14	3,56	0,24	0,05	78,0	28,0
2	94,34	0,32	0,47	0,12	3,56	0,36	0,06	73,1	26,9
Норматив	>94,0	–	–	<0,2	3,3–4,5	–	–	65–85	–

сокими термостойкостью, механической прочностью и ударной вязкостью.

Подготовка шихты включает дозирование компонентов и тщательное смешение порошкообразной смеси фиксированного зернового состава. Шихту плавят в футерованной электродуговой печи оригинальной конструкции собственного изготовления при заданных электрических параметрах. В результате проведения серии опытных плавов удалось получить качественный плавленный ЧСДЦ, в котором содержание кубической модификации составляет 83–85 мас. % при суммарном содержании ZrO₂ не менее 94,0 мас. %. Химический и фазовый составы плавленного ЧСДЦ приведены в табл. 4. Характерная особенность минерального состава ЧСДЦ (табл. 5) — незначительное содержание примесей, представленных в основном стеклофазой сложного силикатного состава и ничтожным количеством единичных микровключений металлического железа, восстановленного из примесного магнетита при плавке в электропечах с графитовыми электродами.

Таблица 5. Характеристика ЧСДЦ

Минеральный состав, мас. %:	
ZrO ₂ (куб.)	71–72
ZrO ₂ (мон.)	18–19
стекло R ₂ O·RO·R ₂ O ₃ ·nSiO ₂	≤1
Fe _{мет}	<<0,01
Размер кристаллов (для идиоморфной структуры), мкм:	
пределы	80–600
преобладающий	160–250

чи с графитовыми электродами. Выплавленные слитки имеют зональное макростроение. В горизонтальном сечении блоков отчетливо видны плотная зона изометричных кристаллов с мелкой закрытой пористостью (рис. 2, а) и зона удлиненных столбчатых кристаллов, переходящая в поверхностную пористую корочку (рис. 2, б).

Полученный плавленный материал имеет следующие характеристики: содержание (ZrO₂ + HfO₂) 94,3–94,8 мас. %; открытая пористость фракции 3–6 мм 8,8–11,6 %; кажущаяся плотность фракции 3–6 мм 5,11–5,27 г/см³; термостойкость данной монофракции 97,8 / 2,2 %*² (на уровне термостойкости табулярного глинозема фирмы «Алматис»). Петрографическим исследованием установлена неоднородная по размеру кристаллов и пор микроструктура различных зон слитка. Плотная зона имеет преимущественно равновесную форму кристаллов ZrO₂ + HfO₂ гексагонального габитуса в сечении. Кристаллы образуют плотный и прочный трехмерный сросток с прямыми связями (рис. 3). При большом увеличении микроскопа видны прерывистые выделения стеклофазы, локализованные на поверхности 3–4 контактирующих кристаллов главного минерала. Малое содержание и локальное пространственное расположение стеклофазы не оказывает заметного отрицательного влияния на термopочность и расплавоустойчивость плавленного материала (рис. 4).

С использованием плавленного ЧСДЦ собственного производства и импортных аналогов изготовлены погружаемые стаканы для МНЛЗ и другая продукция. Сравнительные испытания опытных партий изделий при службе в анало-

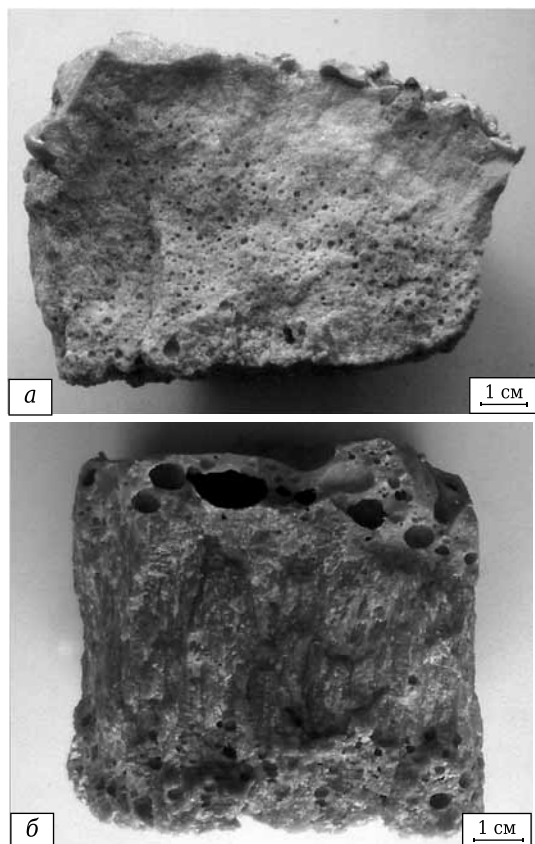


Рис. 2. Макростроение плотной зоны (а) и зоны столбчатых кристаллов (б) плавленного ЧСДЦ

*² В числителе — количество нерастрескавшихся зерен, в знаменателе — то же, но подвергнутых разрушению на фрагменты размерами менее 3,0 мм в результате термоциклов.

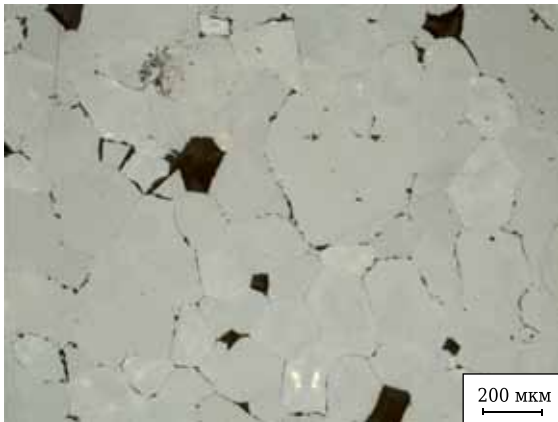


Рис. 3. Микроструктура плавного ZrO_2 . Свет отраженный

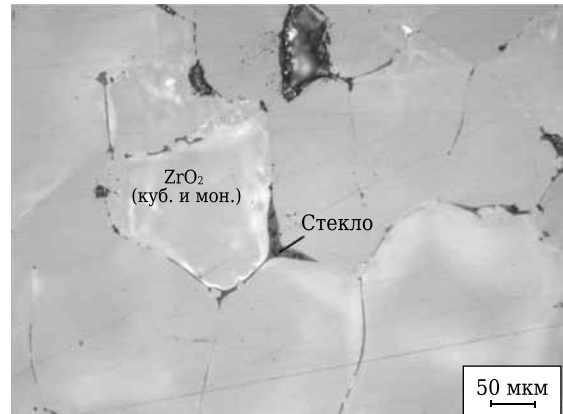


Рис. 4. Стеклофаза сложного состава в плавном ZrO_2

гичных условиях показали одинаковую износостойкость. В настоящее время продолжают работы по оптимизации всех технологических параметров производства цирконисто-оксидной продукции и анализу стойкости в МНЛЗ в сравнении с аналогичными импортными огнеупорами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Теоретическими расчетами и многолетней практикой производства и применения огнеупоров различного вещественного состава установлен иерархический ряд относительной износостойкости тугоплавких минералов (соединений) различных химических классов (элементы, карбиды, простые и сложные оксиды, силикаты).

2. На основании расчетов термоэнергоплотности выявлено, что среди доступных оксидов высшей огнеупорности (температура плавления

$>2500\text{ }^{\circ}\text{C}$) диоксид циркония находится на первом месте, а по относительной износостойкости уступает только графиту и карбиду кремния ($\alpha\text{-SiC}$).

3. На основании исследований разработан технологический регламент, спроектирована и построена технологическая линия, осваивается промышленное производство плавного ЧСДЦ, уточняются технологические параметры.

4. Сравнительные испытания цирконисто-графитовых погружаемых стаканов, изготовленных из ЧСДЦ собственного и импортного производства, показали одинаковую износостойкость при службе на МНЛЗ.

5. Освоенное производство ЧСДЦ позволяет не только обеспечивать потребности в сырье для собственных технологий, но и при необходимости производить материал для отгрузки сторонним потребителям (свойства по требованию заказчика).

Библиографический список

1. **Гороховский, А. М.** Производство плавных огнеупорных материалов в ОАО «Динур» / А. М. Гороховский, Л. А. Карпец, В. А. Перепелицын [и др.] // Новые огнеупоры. — 2007. — № 3. — С. 95–98.
2. **Перепелицын, В. А.** Теоретические и прикладные аспекты прогнозирования огнеупоров будущего / В. А. Перепелицын, Ф. Л. Капустин, О. Ю. Шешуков [и др.] // Новые огнеупоры. — 2016. — № 3. — С. 116–122.
3. **Перепелицын, В. А.** Энергоплотность и энергопрочность силикатов и оксидов / В. А. Перепелицын // Высокотемпературная химия силикатов и оксидов : тезисы докладов 6-го Всесоюз. совещ. — Л. : Наука, 1989. — С. 13, 14.
4. **Перепелицын, В. А.** Минералого-петрографические основы технологии новых основных огнеупоров : дис. ... докт. геол.-минер. наук / Владимир Алексеевич Перепелицын. — Л. : ЛГИ, 1989. — 48 с.

5. **Перепелицын, В. А.** Сырьевая база для производства высокоизносостойчивых огнеупоров / В. А. Перепелицын // Огнеупоры на рубеже веков (XX–XXI) : сб. науч. тр. ВостИО. — Екатеринбург, 1991. — С. 21, 22.
6. **Быховский, Л. З.** О минерально-сырьевой базе металлов для производства ферросплавов в России / Л. З. Быховский, Л. П. Тигунов // Сталь. — 2007. — № 1. — С. 42–45.
7. **Перепелицын, В. А.** Основы технической минералогии и петрографии : уч. пособие для вузов / В. А. Перепелицын. — М. : Недра, 1987. — 255 с.
8. **Рутман, Д. С.** Высокоогнеупорные материалы из диоксида циркония / Д. С. Рутман, Ю. С. Торопов, С. Ю. Плинер [и др.]. — М. : Металлургия, 1985. — 136 с. ■

Получено 19.04.16

© В. А. Перепелицын, А. М. Гороховский,
А. В. Федоровцева, Л. П. Яковлева, 2016 г.



УДК 621.6.02

К. Т. Н. И. Ф. Шлегель (✉), В. Г. Иванов, Д. Л. Шаповалов

ООО «ИНТА-СТРОЙ», г. Омск, Россия

НОВЫЙ ТИПОРЯД ЖАРОВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ «ГЕЛИОТИС»*

Рассмотрено оборудование для транспортировки горячих газов. Предлагается повышение качества керамической и огнеупорной продукции вследствие использования жаровых вентиляторов «Гелиотис» для выравнивания температурных полей по сечению печи.

Ключевые слова: дымовые газы, жаровой вентилятор, транспортировка горячих газов.

Производство огнеупоров и керамических изделий приводит к образованию большого количества горячих газов. При этом зачастую встает вопрос о способах транспортировки и смешивания горячих газов с температурой от 500 до 1000 °С. Для работы с горячими газами обычно используют вентиляторы различных конструкций, имеющие как преимущества, так и недостатки [1]. Первый вариант — вентиляторы с удлиненной осью выноса крыльчатки, применяемые в туннельных печах. Их характерной особенностью является то, что они в основном перемешивают, а не транспортируют потоки. Применение таких вентиляторов требует наличия в своде печи отверстий с диаметром большим, чем окружность лопастей, и их теплоизоляции, а также наличия подсводного пространства, что снижает общую эффективность печи. Второй вариант — вентиляторы с принудительной водяной рубашкой охлаждения подшипниковой опоры вала крыльчатки. Они прекрасно справляются с транспортировкой высокотемпературных потоков, но их стоимость и сложность эксплуатации заставляют задуматься о целесообразности применения. Третий вариант — общепромышленные вентиляторы с графитовой смазкой подшипников. Они способны работать с температурой транспортируемой среды до 350 °С, что приводит к перегреву подшипников и снижению их долговечности.

Занимаясь проектированием кирпичного завода, наш институт также столкнулся с этой проблемой. При рассмотрении доступных вариантов было решено модернизировать стандартные общепромышленные вентиляторы для работы с температурами в диапазоне от 650 до 850 °С.

Была разработана и реализована оригинальная схема отвода тепла от подшипников вала крыльчатки вентилятора за счет самоохлаждающейся промежуточной муфты. Конструкция муфты представляет собой два диска с лопастями, соединенные через теплоизолирующую прокладку, вращающиеся в окружающем воздухе и охлаждаемые им, а вал выполнен из двух частей, соединенных этой муфтой (рис. 1). В настоящее время получен патент на данное изобретение [2] и разработан модельный ряд жаровых вентиляторов «Гелиотис» для различных условий эксплуатации и объемов перекачиваемого горячего воздуха (см. таблицу).

Размеры жаровых вентиляторов сопоставимы с размерами вентиляторов общепромышленного назначения, что значительно упрощает их монтаж и эксплуатацию. Отсутствие дополнительных систем охлаждения существенно сокращает эксплуатационные расходы. Эксплуатация жарового вентилятора на нашем заводе в течение двух лет показала его высокую надежность, устойчивость к агрессивным средам и неприхотливость в обслуживании. Во время проведения контрольных замеров температура подшипникового узла не превышала 35 °С при температуре дымовых газов 650–710 °С (рис. 2).

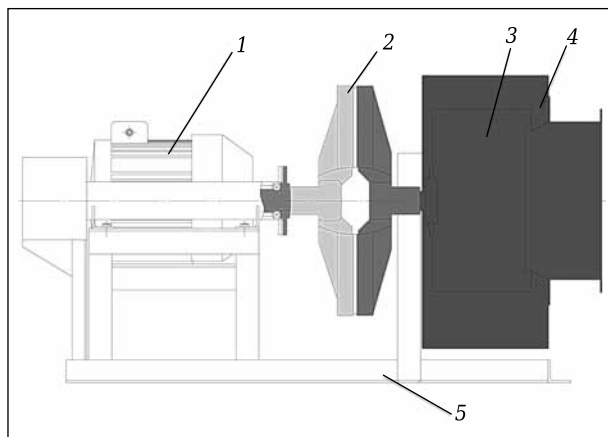


Рис. 1. Схема устройства жарового вентилятора: 1 — двигатель; 2 — муфта; 3 — крыльчатка; 4 — улитка с воздухозаборником; 5 — рама

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (7–8 апреля 2016 г., Москва).

✉
И. Ф. Шлегель
E-mail: info@inta.ru

Типоразмерный ряд жаровых вентиляторов «Гелиотис»

Индекс	Производительность, тыс. м³/ч	Мощность, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ШЛ 416.40.00.000	0,6–1,1	2,2	660×491×660	75
ШЛ 416A.40.00.000	1,1–2,5	4	660×491×660	100
ШЛ 553.01.00.000	2,5–10,0	7,5	1262×991×672	195
ШЛ 557.01.00.000	7,5–22,0	11	1750×1350 ×1250	390
ШЛ 558.01.00.000	14,5–32,0	22	2115×1430×1287	815

Качество обжигаемого керамического или огнеупорного изделия напрямую зависит от равномерности температуры теплоносителя по высоте канала туннельной печи. При этом в зоне подогрева печи затруднительно получить равномерную температуру по высоте садки из-за высоких потерь тепла вниз, из-за чего нижний слой газов имеет более низкую температуру, а верхние ряды садки находятся в потоке горячих газов. Кроме того, в зоне подогрева газы движутся за счет разрежения, создаваемого дымососом, что приводит к подсосам большого количества холодного воздуха через неплотности в печи. Подобная ситуация может возникать и в зоне охлаждения. Такое расслоение теплоносителя особенно опасно в зоне рекристаллизации, т. е. в момент перехода α -кварца в β -кварц при 573 °С, сопровождающегося изменением объема керамического изделия. Резкий переход через эту зону значительно снижает прочность материала вплоть до полного разрушения. Поэтому в зоне

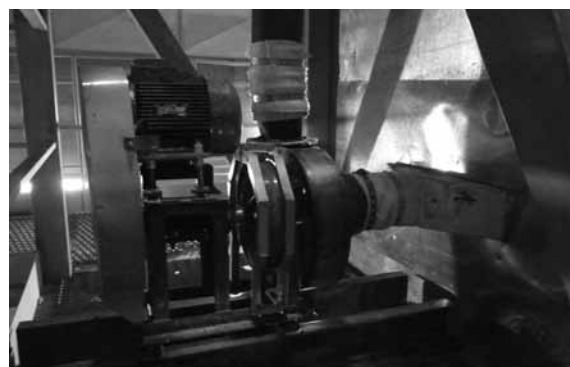


Рис. 2. Установка жарового вентилятора на печи

рекристаллизации необходимо изменять температуру плавно, чтобы не снизить прочность получаемого изделия, а расслоение теплоносителя «растягивает» эту зону, что в итоге уменьшает производительность печи (рис. 3). Для снижения температурного расслоения газовой среды в

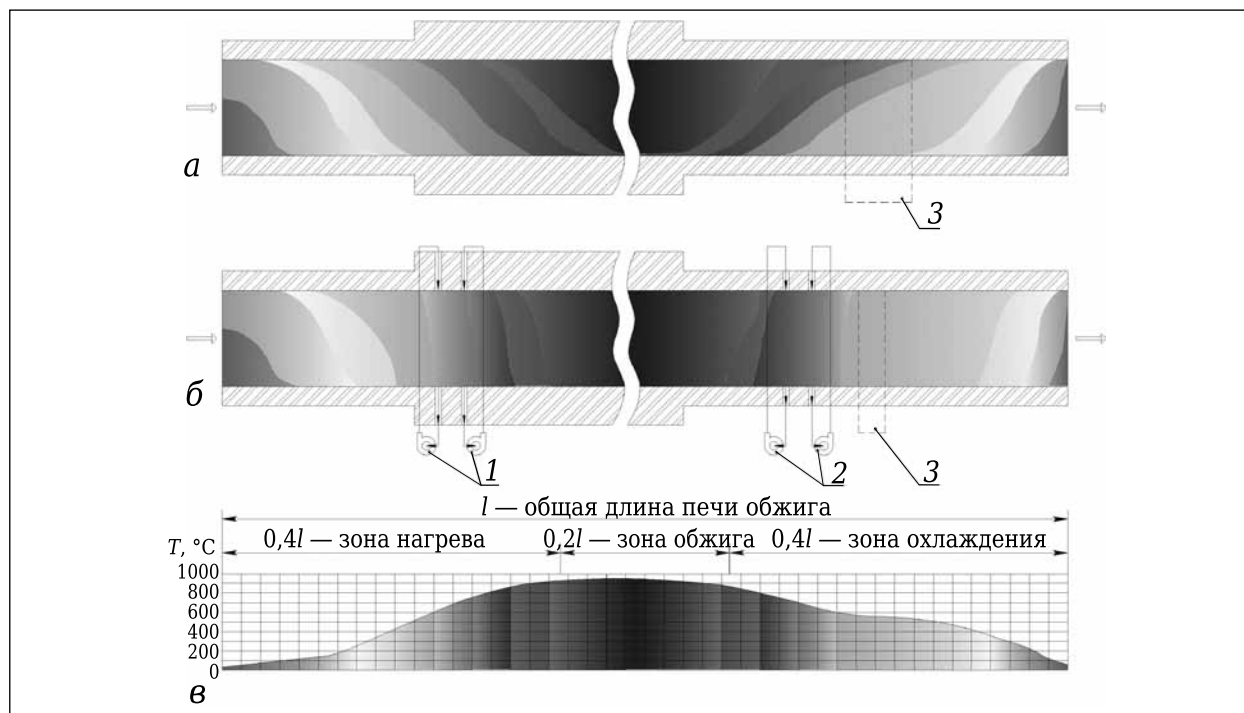


Рис. 3. Схема температурного распределения теплоносителя по высоте канала печи: а — без применения жаровых вентиляторов; б — с применением жаровых вентиляторов; в — рекомендуемая температурная кривая; 1, 2 — жаровые вентиляторы в зоне нагрева (1) и в зоне охлаждения (2); 3 — зона рекристаллизации (573 °С)

туннельных печах можно применять [3] укладку изделий на вагонетку с большим аэродинамическим сопротивлением сверху и наименьшим снизу или различные устройства для перемешивания потоков газа в зонах подогрева и охлаждения. В качестве дополнительных устройств можно использовать также тепловые завесы, инжекторные устройства и вентиляторы. Но обычные вентиляторы можно применять в основном в низкотемпературных зонах (до 200–300 °С), в то время как жаровый вентилятор «Гелиотис» позволяет расширить зону перемешивания потоков до 850 °С.

Проработан вопрос изготовления вентиляторов из жаропрочной стали с температурой применения до 1050 °С, что позволяет использовать их не только в керамической промышленности, но и в металлургии. По заказу предприятий может быть разработан жаровый вентилятор с параметрами, отличающимися от параметров, приведенных в таблице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Способность жаровых вентиляторов «Гелиотис» к постоянной работе при транспортировке горя-

чих дымовых газов с температурой до 1050 °С делает их востребованными во всех отраслях промышленности, связанных с высокотемпературными процессами. Широкий диапазон рабочих температур позволяет усовершенствовать технологические процессы и модернизировать производственное оборудование.

Библиографический список

1. **Нохратян, К. А.** Сушка и обжиг в промышленности строительной керамики / К. А. Нохратян. — М. : Госстройиздат, 1962. — С. 195.
2. **Пат. RU 2541076. МПК F 04 D 29/00.** Вентилятор для перемещения горячих газов / Шлегель И. Ф. ; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4.
3. **Мамыкин П. С.** Печи и сушила огнеупорных заводов / П. С. Мамыкин, П. В. Левченко, К. К. Стрелов. — Свердловск : Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по черной и цветной металлургии, 1963. — С. 473. ■

Получено 31.03.16

© И. Ф. Шлегель, В. Г. Иванов,
Д. Л. Шаповалов, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

IWAC 07

International Workshop on Advanced Ceramics



Limoges - France

2016
September
26 - 28

IWAC 07 — 7-й Международный семинар по высокотехнологичной керамике

26—28 сентября 2016 г.

г. Лимож, Франция

Темы:

1. **Энергетические материалы** Топливные и солнечные элементы, провода, материалы для производства и хранения водорода, преобразования энергии, ядерная керамика
2. **Материалы для охраны окружающей среды** Катализаторы, огнеупоры, гидравлические вяжущие, строительные материалы, тепловые барьеры, супертеплоизоляция, износостойкие материалы
3. **Информационные и коммуникационные технологии** Функциональная электрокерамика, линейные и нелинейные диэлектрики, магнитные оксидные материалы, микроволновые диэлектрики, обожженные керамические материалы
4. **Биоматериалы**
5. **Материалы нового поколения**

www.iwac07.sciencesconf.org

МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Совершенствование технологических процессов производства цветных и черных металлов с учетом беднеющего и комплексного по составу сырья целесообразно проводить не только на основе традиционных методов вскрытия причинно-следственных связей в процессах общей технологической схемы с анализом их материальных и тепловых балансов. Возможен дополнительный анализ этих процессов на основе информационной энтропии Шеннона с целью объединения разрозненных до сих пор показателей по содержанию и извлечению ценных компонентов в технологических продуктах по переделам и в целом по технологической схеме для сравнительного анализа и оценки металлургических процессов. На основании энтропийно-информационного анализа технологических схем черной металлургии разработаны информационные критерии комплексной оценки неопределенности и завершенности технологических схем производства стали.

Ключевые слова: энтропия, информация, металлургический процесс, производство стали, энтропийно-информационный анализ, извлечение.

С учетом беднеющего и комплексного по составу сырья совершенствование технологических процессов производства черных металлов невозможно на основе только анализа их материальных и тепловых балансов. Необходим дополнительный анализ с учетом энтропийно-информационных аспектов для определения баланса между неопределенностью и завершенностью технологических переделов или схемы в целом. Подобное дополнение диктуется тем, что если материальный и тепловой балансы основаны на использовании всеобщих законов сохранения массы и энергии, то последний из всеобщих законов сохранения — закон сохранения суммы информации и энтропии — до сих пор в металлургии не используется.

Для энтропийно-информационного анализа любых объектов широко используется статистическая формула Шеннона [1]

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i,$$

где H — энтропийная характеристика; p_i — вероятность обнаружения элементов в их множестве N ; $\sum_{i=1}^N p_i = 1$, $p_i \geq 0$.

До опубликования созданной К. Шенноном теории Р. Хартли предложил определять количество информации по формуле [2]

$$H_{n(\max)} = k^n \log N_0, \quad (1)$$

где n — порядковый номер уровня системы, $n \in Z$,

$n \geq 0$; k — длина кода элементов на каждом уровне; N_0 — число элементов уровня $n = 0$.

Рассмотрим технологическую схему с $k = 2$. Различие дифференциальной и интегральной моделей (табл. 1) проиллюстрируем графически в координатах n, d в соответствии с рис. 1.

В качестве характеристики вероятности обнаружения главного элемента системы можно принять его содержание, выраженное в долях единицы. Например, это содержание извлекаемого химического элемента железа в соответствующих продуктах. То же самое относится и к процессу извлечения элемента в тот или иной продукт. Тогда применительно к единственному контролируруемому элементу системы обычные математические расчеты для выражения информационной неопределенности становятся более краткими и сводятся к следующему. Если p — вероятность обнаружения в продукте или перехода при извлечении контролируемого элемента, то неопределенность поведения только одного элемента системы выразится формулой

$$H = \log_2 \frac{1}{p} = -\log_2 p = -\frac{\ln p}{\ln 2}. \quad (2)$$

Определим качество технологических переделов и передельных продуктов на основании сравнительного анализа конкурирующих схем по единому обобщенному критерию комплексной неопределенности и завершенности технологической схемы производства стали в доменных печах и прямым получением железа. Поскольку извлечение любого компонента пропорционально его содержанию в исходном веществе и обратно пропорционально содержанию в продукте, то извлечение железа из зем-



С. Ш. Кажикенова

E-mail: sauleshka555@mail.ru

Таблица 1. Расчетные энтропийно-информационные характеристики технологических переделов в иерархической системе для $k = 2$, $N_0 = 2$

n	$I_n(d)$, бит/эл.*	$H_{n(\max)}$, бит/эл.	$d_n = \frac{I_n(d)}{H_{n(\max)}}$	$I_{\Sigma_n}(d)$, бит/эл.	$H_{\Sigma_{n(\max)}}$, бит/эл.	$d_{\Sigma_n} = \frac{I_{\Sigma_n}(d)}{H_{\Sigma_{n(\max)}}}$
	$2^n \left[1 - \frac{1}{(n+1)!} \right]$	2^n	$\left[1 - \frac{1}{(n+1)!} \right]$	$\sum_{i=0}^n 2^i \left[1 - \frac{1}{(i+1)!} \right]$	$\sum_{i=0}^n 2^i$	$\frac{\sum_{i=0}^n 2^i \left[1 - \frac{1}{(i+1)!} \right]}{\sum_{i=0}^n 2^i}$
0	0	1,0	0	0	1,0	0
1	1,0000	2,0	0,5000	1,0000	3,0	0,3333
2	3,3333	4,0	0,8333	4,3333	7,0	0,6190
3	7,6667	8,0	0,9583	12,0000	15,0	0,8000
4	15,8667	16,0	0,9917	27,8667	31,0	0,8989
5	31,9556	32,0	0,9986	59,8222	63,0	0,9496
6	63,9873	64,0	0,9998	123,8095	127,0	0,9749
7	127,9968	128,0	1,0	251,8063	255,0	0,9875
8	255,9993	256,0	1,0	507,8056	511,0	0,9937
9	511,9999	512,0	1,0	1019,8055	1023,0	0,9969
10	1024,0000	1024,0	1,0	2043,8055	2047,0	0,9984
11	2048,0000	2048,0	1,0	4091,8055	4095,0	0,9992
12	4096,0000	4096,0	1,0	8187,8055	8191,0	0,9996
13	8192,0000	8192,0	1,0	16379,8055	16383,0	0,9998
14	16384,0000	16384,0	1,0	32763,8055	32767,0	0,9999
15	32768,0000	32768,0	1,0	65531,8055	65535,0	1,0
16	65536,0000	65536,0	1,0	131067,8055	131071,0	1,0

* $I_n(d)$ — информационная характеристика (информация) системы на n -м уровне иерархической системы; бит/эл. — единица измерения количества информации и энтропии (размерность бит на элемент).

ной коры в рудное месторождение можно оценить выражением

$$\beta_0 \cong \frac{\alpha_{з.к.}}{\alpha_{р.м.}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где β_0 — показатель извлечения на нулевом уровне технологической схемы; $\alpha_{з.к.}$ — показатель содержания в земной коре; $\alpha_{р.м.}$ — показатель содержания в рудном месторождении.

Так как для железа $\alpha_{з.к.} = 5,1\%$ [3], $\alpha_{р.м.} \cong 50,0\%$, то

$$\beta_0 \cong \frac{\alpha_{з.к.}}{\alpha_{р.м.}} \cdot 100\% = \frac{5,1}{50,0} \cdot 100\% = 10,2\%. \quad (4)$$

На основании информационной формулы Шеннона (2) проведем энтропийно-информационный анализ каждого технологического передела и технологической схемы в целом на примере производства стали. Получив характеристику комплексной неопределенности

технологической схемы H_k , можно с помощью обращенной формулы [4]

$$p_k = \exp(-H_k \ln 2) = 2^{-H_k}, \text{ доли единицы (д. е.)}, \quad (5)$$

найти соответствующую ей характеристику комплексной определенности технологической схемы производства стали.

При сравнении справочных данных по извлечению и содержанию целевого компонента по технологии производства стали в доменных печах (табл. 2) с характеристиками новой модели (2) и (5) выявляется адекватная корреляция ($R = 0,847942$, $t_R = 6,035314 > 2$ для системной детерминации, $R = 0,991408$, $t_R = 115,8812 > 2$ для уровневой детерминации). В производстве стали прямым получением железа (табл. 3) также выявляется адекватная корреляция ($R = 0,733544$, $t_R = 3,176112 > 2$ для системной детерминации, $R = 0,96213$, $t_R = 25,89641 > 2$ для уровневой детерминации). Сопоставление расчетных данных по новой модели (2) и (5) с практическими данными показано на рис. 2.

Таким образом, на основании энтропийно-информационного анализа автором настоящей статьи определена более тесная корреляция практических результатов производства черных металлов с дифференцированной моделью идеальной иерархической системы, что свидетельствует о более детальной разработке каждого передела в черной металлургии в отличие от производства цветных металлов. О более основательной проработке каждого передела в черной металлургии свидетельствует также и то, что в

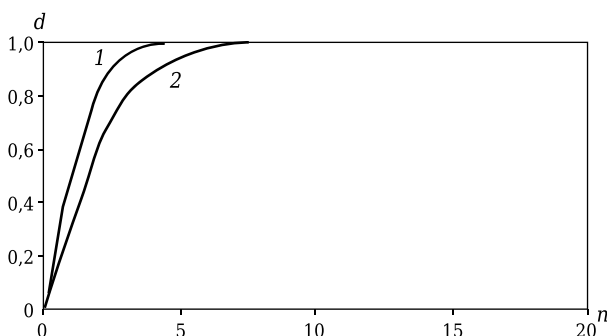


Рис. 1. Зависимость степени детерминации d от уровня n идеальной иерархической системы: 1 — дифференциальная модель; 2 — интегральная модель

Таблица 2. Информационная оценка производства стали в доменных печах

Технологический передел	Показатели содержания α		Показатели извлечения β		$H_{\alpha\beta}$	$p_{\alpha\beta}$
	α	H_{α} , бит	β	H_{β} , бит		
Добыча	0,5000	1,0000	0,1020	3,2934	4,2934	0,0510
Обогащение	0,6550	0,6104	0,8700	0,2009	0,8113	0,5696
Доменная плавка	0,8830	0,1795	0,9910	0,0130	0,1925	0,8751
Плавка	0,9550	0,0664	0,9980	0,0029	0,0693	0,9531
Переплав	0,9950	0,0072	0,9990	0,0014	0,0086	0,9940
Рафинирование	0,9999	0,0001	0,9999	0,0001	0,0002	0,9998
H_k , бит	—	1,8636	—	3,5117	5,3753	—
p_k , д. е.	0,2748	—	0,0877	—	—	$2,4087 \cdot 10^{-2}$

Таблица 3. Информационная оценка производства стали прямым получением железа

Технологический передел	Показатели содержания α		Показатели извлечения β		$H_{\alpha\beta}$	$p_{\alpha\beta}$
	α	H_{α} , бит	β	H_{β} , бит		
Добыча	0,5000	1,0000	0,1020	3,2934	4,2934	0,0510
Обогащение	0,7140	0,4860	0,8920	0,1649	0,6509	0,6368
Металлизация	0,9800	0,0291	0,9950	0,0072	0,0363	0,9751
Плавка	0,9910	0,0130	0,9980	0,0029	0,0159	0,9890
Переплав	0,9950	0,0072	0,9990	0,0014	0,0086	0,9940
Рафинирование	0,9999	0,0001	0,9999	0,0001	0,0002	0,9998
H_k , бит	—	1,5354	—	3,4699	5,0053	—
p_k , д. е.	0,3449	—	0,0902	—	—	$3,1131 \cdot 10^{-2}$

большинстве случаев промежуточные продукты различных переделов реализуются как самостоятельные товарные продукты между предприятиями отрасли в масштабах как одной страны, так и нескольких государств.

Основная тенденция развития процессов прямого восстановления железа из руды в наши дни определяется расширением объема производства губчатого чистого железа и металлизированной шихты высокого качества, а также интенсификацией его использования для выплавки стали. Но сравнительная оценка на основе энтропийно-информационных характеристик двух альтернативных процессов сталеплавильного производства показывает, что сегодня еще нет сравнимых по мощности с традиционными доменными производствами промышленной технологии и соответствующих агрегатов для активизации такого процесса, что и подтверждается большей близостью доменного производства к идеальной иерархической системе.

Для совершенствования сталеплавильного производства специалисты многих ведущих металлургических компаний мира продолжают разрабатывать экологически безопасные и более дешевые технологии выплавки стали. В последние годы в мировой сталелитейной отрасли идет активный поиск рентабельных технологий, способных заменить традиционный процесс производства стали в доменных печах и кислородных конвертерах. Но, по нашим прогнозам, доменный процесс производства стали будет все же превалировать над любыми иными процессами получения стали. Такова информационная оценка определенности реализации технологических схем, которая может быть использована для сравнения их состояния до и после усовершенствования наряду с базовой характеристикой комплексной неопределенности.

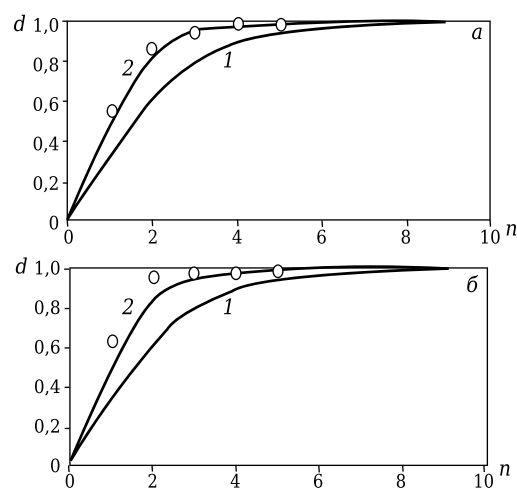


Рис. 2. Зависимость информационной оценки показателей от уровня n технологической схемы производства стали в доменных печах (а) и прямым получением железа (б): 1 — системная детерминация; 2 — уровневая детерминация; точки — практические данные

Библиографический список

1. Shannon, C. E. A mathematical theory of communications / C. E. Shannon // Bell Systems Tech. J. — 1948. — Vol. 27. — P. 623–656.
2. Хартли, Р. Передача информации / Р. Хартли // Теория информации и ее приложения. — М.: ИЛ, 1959. — С. 5–35.
3. Гудима, Н. В. Краткий справочник по металлургии цветных металлов / Н. В. Гудима, Я. П. Шейн. — М.: Металлургия, 1975. — 536 с.
4. Malyshev, V. P. A qualitative and quantitative evaluation of the technological processes in the metallurgy of nonferrous metals / V. P. Malyshev, S. Sh. Kazhikenova, A. Turdukozhayeva // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. — 2009. — Vol. 50, № 4. — P. 335–337. ■

Получено 03.03.16
© С. Ш. Кажикенова, 2016 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), внедренные в файлы формата doc, в качестве оригиналов не принимаются, как не обеспечивающие стандартного качества полиграфического исполнения.
- Представляя рукопись в редакцию, авторы передают издательское авторское 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 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.

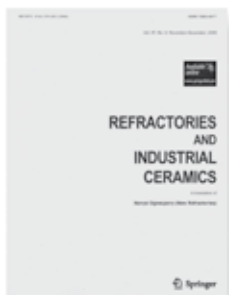
Технические требования к рекламе внутри журнала «Новые огнеупоры» (для каждой страницы)

- 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

А. В. Берш, Д. Ю. Мазалов, К. Т. Н. Р. Ю. Соловьев, Д. Т. Н. Л. В. Судник,
К. Т. Н. А. В. Федотов (✉)

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский технологический
институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка»,
Москва, Россия

УДК 546.621-31-492.2.001.5

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ДЕЗАГРЕГИРОВАННЫЕ ПОРОШКИ ГИДРОКСИДА И ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований процесса дезагрегации порошка гидроксида алюминия (бёмита), полученного методом гидротермального окисления порошка алюминия. Исследовано влияние температуры термообработки, сушки перегретым паром, помола в шаровой и ножевой мельницах, обработки в роторно-пульсационном аппарате, добавки ПАВ на дезагрегацию исходного порошка и получение наноструктурного бёмита и оксида алюминия. Определены технологические параметры получения наноструктурных порошков.

Ключевые слова: наноструктурный бёмит, гидротермальный синтез (ГТС), метод сброса давления, наноструктурное состояние, кавитация.

ВВЕДЕНИЕ

Нанопорошки гидроксида алюминия, в частности бёмитные, являются наиболее ценным сырьем в производстве формованной продукции из оксида алюминия, так как из них можно получить осушители, катализаторы и носители катализаторов. Другая область применения гидроксидов и оксидов алюминия — производство керамических материалов для многочисленных применений, выращивание лейкосапфира. Можно сказать, что алюмооксидные материалы нашли широкое применение и без них невозможно повышение интенсивности работы существующих агрегатов, развитие электронной, приборостроительной, ядерной техники и энергетики.

В течение последнего десятилетия активно развивались гидротермальный синтез (ГТС) — перспективный высокопроизводительный метод получения наноструктурного моногидроксида алюминия — бёмита — и технологии его применения в различных областях [1, 2]. Одно из основных достоинств ГТС — применение промышленных порошков мелкодисперсного алюминия АСД-4, АСД-6, ПАД-4, ПАД-6. В качестве химического реактора используют классический реактор идеального вытеснения (РИВ) [3]. Процесс ГТС бёмита путем окисления в водной среде микронных порошков алюминия протекает во влажном насыщенном паре в до- и околокритической области при температуре 330 °С и давлении 15 МПа в течение нескольких минут. Высокие значения температуры,

давления и времени протекания синтеза способствуют сильной агрегации частиц бёмита. Агрегаты могут нивелировать ценные качества наноструктурного состояния материала для многих его применений. Агрегатная структура, образующаяся в нанопорошках, крайне неоднородна и практически не поддается дезинтеграции с помощью известных методов измельчения.

Задача данной работы — исследование дезагрегации бёмита до наноразмерного состояния при сушке суспензии бёмита перегретым паром, термообработке при получении оксидов алюминия, а также при обработке в роторно-импульсном аппарате для получения суспензии бёмита с водой.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределение частиц порошка по размерам исследовали методом кондуктометрии и на сканирующем зондовом микроскопе «SolverNext». Построение распределения частиц по размерам (методом GrainAnalysis) осуществляли с помощью программы ImagAnalysis фирмы NT-MDT. Исследование проводили на высушенных порошках полуконтактным методом. Разрешение, достигаемое с помощью микроскопа «SolverNext», равно радиусу острия используемого зонда. Для стандартных кремниевых зондов оно равно 10 нм. Морфологические особенности отдельных частиц и агрегатов изучали на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA 3 LMU.

Область когерентного рассеивания (размер кристаллов) определяли на рентгеновском дифрактометре XRD-6000 по уширению линий [4], удельную поверхность частиц и размер пор — на анализаторе удельной поверхности «Autosorb-1».



А. В. Федотов
E-mail: fedotov48@list.ru

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ ПОРОШКОВ БЁМИТА

В результате проведенных исследований [1, 2] установлено, что при окислении порошков алюминия в до- и околокритической области в реакторе образуется хорошо окристаллизованный нанокристаллический бёмит с размерами кристаллов до 100 нм. Содержание основного вещества 99,9 мас. %. Показатель pH исходной реакционной смеси определяет направление роста кристаллов бёмита. Так, при $pH = 7,8$ образуются пластинки, в основании которых лежат вытянутые прямоугольники, в то время как при $pH = 9,3$ форма основания кристаллита близка к квадрату. Структура октаэдрически координированного бёмита образуется при температуре не ниже 140 °C и повышение температуры до 300 °C способствует ее совершенствованию. Увеличение продолжительности синтеза сопровождается ростом кристаллов преимущественно вдоль оси *c*, превращая их в вытянутые параллелепипеды. Исследования размеров агрегированных частиц бёмита в смеси с водой методом кондуктометрии показали, что в выводимой из реактора суспензии их размер находится в интервале от 1 до 50 мкм. Отдельные частицы неправильной формы, состоящие из более мелких нанокристаллитов, объединяются в крупные агрегаты (рис. 1).

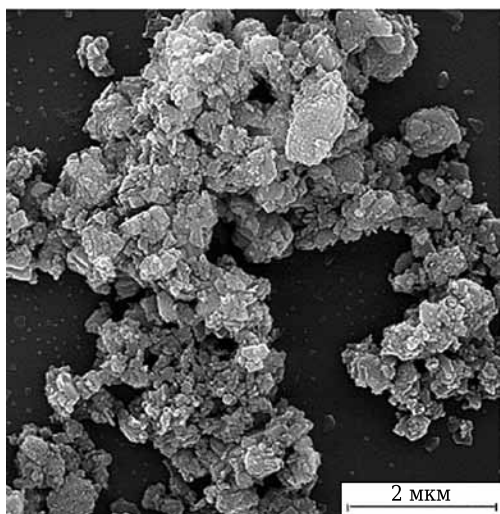


Рис. 1. Скан агрегатов бёмита, образующихся в реакторе ГТС

СУШКА ПАРОМ

Способ сушки влажных материалов перегретым водяным паром является одним из перспективных методов высокотемпературной сушки [5]. Использование перегретого пара испаряемой жидкости в качестве агента сушки имеет преимущества по сравнению с использованием неконденсирующихся газовых теплоносителей.

Если материал достаточно термостойкий, можно использовать пар с повышенными начальными температурами. Теплоемкость пара больше теплоемкости воздуха, и при одинаковых скоростях потока агента сушки в аппарате в первом случае подводится большее количество тепла. Начиная с температур водяного пара выше 200 °C значительно интенсифицируется внешний и внутренний тепло- и массообмен [6]. Кроме того, сушка перегретым паром под давлением открывает новые пути дальнейшей интенсификации процесса за счет ее комбинирования с сушкой методом сброса давления. Собственно говоря, любая сушка под давлением должна на последнем этапе быть связана с сушкой в условиях снижения (сброса) давления до атмосферного. Поэтому «комбинирование» здесь следует понимать как наиболее рациональную форму связи в едином процессе сушки этих двух методов. Физической основой метода сброса давления является максимальное использование эффекта от интенсивного молярного переноса пара. Для этого материал прогревается под давлением, после чего оно быстро снижается. За счет аккумулялированного тепла во всей массе тела происходит бурное парообразование — вскипание влаги. Образующийся при этом перепад давления между центром и поверхностью образца формирует направленный к поверхности тела макроскопический поток пара. Методы расчета процесса сушки тонкого материала перегретым паром, позволяющие рассчитывать изменение параметров материала вплоть до достижения им кондиционного влагосодержания, изложены в статьях [7, 8]. При определенных режимах сброс давления может не только интенсифицировать сушку, но и улучшить технологические свойства материалов: прочность, пористость [9].

По окончании синтеза наноструктурный бёмит выводится из реактора ГТС в виде суспензии, состоящей из наноструктурного бёмита и воды приблизительно в соотношении 1:1 по массе при 250 °C, поэтому в качестве теплоносителя при сушке весьма выгодно использовать пар из влаги этой же суспензии. Структурная схема блока сушки, совмещенного с реактором ГТС наноструктурного бёмита экспериментального стенда, проиллюстрирована на рис. 2, изменение термодинамических параметров в процессе сушки показано на рис. 3.

Испытания проводили в режимах, используемых для получения водной суспензии бёмита из порошка алюминия АСД-6 производства «Суал ПМ». Реактор ГТС работал в периодическом режиме. После прохождения реакции синтеза происходил сброс образовавшейся в реакторе водной суспензии бёмита через клапан ОК-2 (см. рис. 2) в предварительно нагретый корпус аппарата блока сушки. После подачи водной суспензии бёмита из реактора в аппарат блока

сушки в нем создавали давление 15 МПа и температуру 310 °С.

Технологический процесс сушки водной суспензии наноструктурного бёмита проводится следующим образом. В интервале 0–800 с от начала ввода водной суспензии бёмита в аппарат ступенчато производился медленный вывод основной массы образовавшегося насыщенного водяного пара через вентиль В-3 до достижения состояния перегретого пара. После каждого сброса проверяли соответствие давления в аппарате расчетному давлению насыщенных паров воды для текущей температуры $T_{\text{вн}}$ внизу аппарата. После удаления основного количества воды, входящей в состав суспензии бёмита, давление в аппарате составило 5 МПа при температуре 260 °С. Эти параметры создают возможность для получения достаточно интенсивного потока перегретого пара. Поэтому на 800-й секунде был произведен резкий сброс давления через вентили В-2 и В-3. В результате резкого сброса давление становится значительно ниже насыщенного. Далее нагреватели аппарата сушки были выключены и после остывания аппарата в естественных условиях сухой порошок бёмита выдувался из аппарата наддувом сухим азотом через вентиль В-1 в приемную емкость. В результате интенсивного парообразования (вскипания воды) происходило не только удаление воды из суспензии, но и разрушение агрегатов, образовавшихся в процессе синтеза. Была разработана циклограмма процесса сушки, обе-

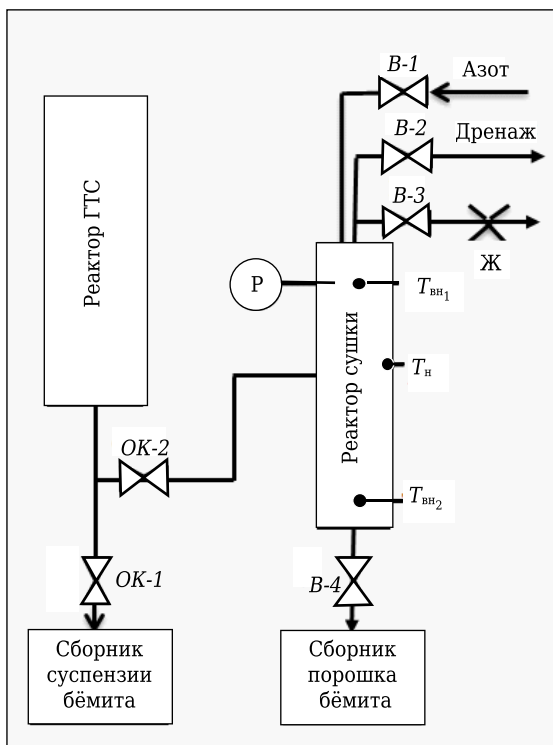


Рис. 2. Схема экспериментального стенда с блоком сушки

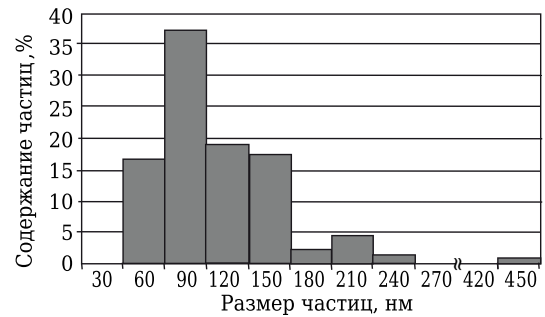


Рис. 3. Распределение частиц высушенного бёмита по размерам

спечивающая получение нанопорошка бёмита (см. рис. 3). Средний размер частиц, полученных в результате испытания разработанного блока сушки, составлял 90–98 нм.

ТЕРМООБРАБОТКА СУХИХ ПОРОШКОВ

В сухом состоянии нагрев бёмита до высоких температур приводит к дегидратации и фазовым превращениям безводного оксида алюминия: появлению одних фаз и исчезновению других в определенных температурных интервалах в соответствии с условиями термодинамического равновесного существования конкретных фаз оксида алюминия. Для некоторых фаз изменения концентрации представлены на рис. 4. Картина носит качественный характер и для другой партии бёмита, а также других условий термообработки (например, скорости нагрева и выдержки), наличия примесей может отличаться. При 1300 °С перестройка завершается с образованием высокотемпературной фазы — корунда. Изменение структуры идет с уменьшением объема. Возникающие механические напряжения способствуют разрушению частиц. Разрушение первоначальной кристаллической структуры сопровождается ростом удельной поверхности частиц порошка; около 500 °С она наибольшая (рис. 5). При дальнейшем повышении температуры удельная поверхность уменьшается, что

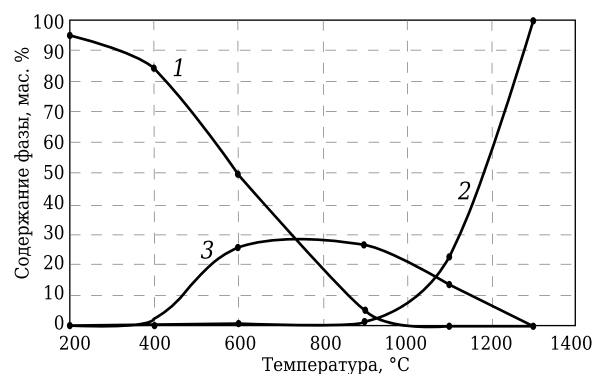


Рис. 4. Влияние температуры термообработки на фазовый состав исходного порошка бёмита (выдержка 2 ч): 1 — AlOOH; 2 — α-Al₂O₃; 3 — γ-Al₂O₃

связано с процессами спекания и рекристаллизации материала. Такая зависимость характерна и для псевдобёмитов, полученных методом переосаждения по нитратному и алюминатному способам.

Авторы настоящей статьи исследовали термические превращения псевдобёмитов, изготовленных на предприятиях АЗКиОС (г. Днепропетровск), «Промышленные катализаторы» (г. Рязань), АЗК и ОС (г. Ангарск). Максимальная удельная поверхность частиц изученных порошков составляет 300–500 °С. При нагревании наблюдается потеря массы в результате дегидратации бёмита. Для порошка бёмита гидро-термального синтеза потери соответствовали теоретическим (15 мас. %), что свидетельствует о его высокой фазовой чистоте.

Изменение поровой структуры исследовали на образцах, сформованных из исходного порошка методом экструзии. Установлено, что при нагревании происходит уменьшение объема пор (табл. 1). Средний радиус пор при этом возрастает, т. е. залечиваются в первую очередь наиболее мелкие поры.

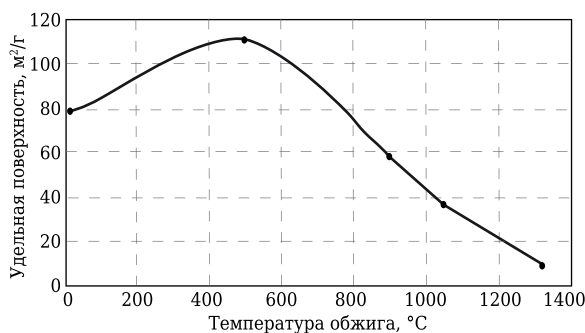


Рис. 5. Зависимость удельной поверхности частиц порошка от температуры обжига

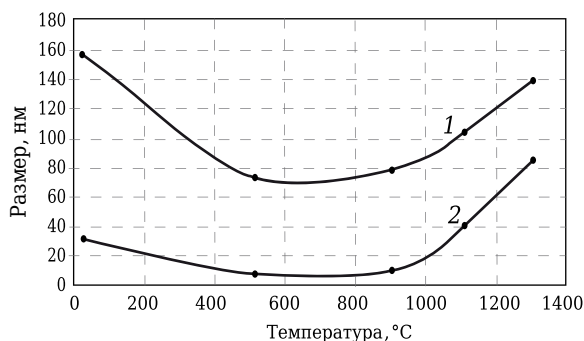


Рис. 6. Зависимость размера агрегатов (1) и кристаллитов (2) от температуры термообработки

Характер изменения размера кристаллитов от температуры противоположен изменению удельной поверхности, так как структурная перестройка приводит к самоизмельчению исходных частиц. При этом происходит также самоизмельчение агрегатов. Выше 500 °С размер кристаллов и агрегатов минимальный (не более 10 и 70 нм соответственно, рис. 6). Как следует из экспериментальных данных, до 1300 °С сохраняется нанокристаллическое состояние бёмита. В интервале 300–900 °С по размеру агрегаты также можно отнести к наночастицам. При этих температурах порошок представлен различными формами оксида алюминия.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЕЗАГРЕГАЦИИ

В настоящее время разработано оборудование для многофакторного импульсного воздействия на гетерогенную жидкость для получения стабильных, высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ, изменения физико-химических параметров жидкости, деструкции молекулярных соединений [10–13]. В их число входят роторно-пульсационные аппараты (РПА). Наиболее активной рабочей зоной РПА является зазор между ротором и статором. Характерные конструктивные признаки РПА — наличие нескольких последовательных роторов и статоров (многоступенчатость) с определенным зазором между ротором и статором каждой ступени. Для повышения технологической эффективности в них применяются несколько чередующихся неподвижных и вращающихся цилиндров с прорезями (многоступенчатая конструкция). При этом геометрия и число прорезей на каждой ступени могут быть различными. Организованный определенным образом поток генерирует импульсы повышенного и пониженного давления. В результате этого в обрабатываемой среде возникает кавитация, являющаяся сильным интенсифицирующим фактором процессов диспергирования, эмульгирования, массопереноса. Совместно с кавитацией на обрабатываемую среду оказывают воздействие такие факторы, как турбулентность, сдвиговые напряжения, колебания давления, скорости, ускорения.

В настоящей работе исследовали дезагрегирование бёмита в водной среде. В качестве исходной суспензии использовали суспензию

Таблица 1. Удельная поверхность и распределение пор

Образец	Удельная поверхность, м²/г	Параметры пор			
		по методу Дубинина – Астахова		по методу ВЈН	
		объем, см³/г	средний радиус, нм	объем, см³/г	средний радиус, нм
Экструдат (500 °C)	119,4	0,129	1,25	0,134	1,83
Экструдат (1300 °C)	8,1	0,013	1,52	0,032	2,40

бёмита с водой, полученную в процессе гидротермального окисления порошка алюминия АСД-6, характеристики которой были приведены выше. Измельчение агрегатов бёмита проводили с помощью РПА «Аквалит» (фирмы «ЭЛТА», г. Екатеринбург), разработанного для гидродинамической активации воды. Экспериментальные исследования дезагрегации частиц бёмита в водной суспензии проводили в блоке измельчения, схема которого показана на рис. 7. Партия наработанной водной суспензии наноструктурного бёмита из сборника экспериментального стенда 1 загружается в промежуточную емкость 2. Обработка суспензии бёмита производится путем многократного протекания через РПА 3 при открытых вентилях В-1 и В-2. Отбор обработанной суспензии бёмита производится через вентиль В-3 в емкость 4.

Степень дезагрегирования определяется временем процесса (числом оборотов жидкости в контуре), концентрацией и длиной замкнутого контура. С открытой стороны загрузочной емкости для разного времени обработки отбирали образцы суспензии емкостью 20–30 мл. Образцы суспензии разбавляли водой и подкисляли азотной кислотой до pH = 5, чтобы ис-

ключить последующую агрегацию. Результаты исследования процесса измельчения на зондовом микроскопе показали, что рост числа наночастиц происходит за счет разрушения крупных агрегатов. При этом наблюдался разогрев суспензии до 50–70 °С. По данным рентгеновского анализа, фазовый состав порошка бёмита не изменился. Практически не изменилась и удельная поверхность частиц порошка, которая составляла 60–70 м²/г. Очевидно, удельная поверхность характеризует в значительной степени внутреннюю поверхность частиц в агрегатах, и поэтому их разрушение не оказывает заметного влияния на общую поверхность.

Помимо РПА дезагрегацию порошка проводили в шаровой и ножевой мельницах в присутствии ПАВ (слабый раствор азотной кислоты или полиэтиленгликоль (ПЭГ)). Как видно из табл. 2, наибольшая эффективность была достигнута в результате обработки в РПА. За 30 мин обработки средний размер частиц бёмита не превышал 50 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан способ сушки суспензии бёмита перерегретым водяным паром в комбинации с сушкой методом сброса давления в блоке сушки, совмещенном с реактором синтеза. За счет вскипания воды в объеме суспензии происходит разрушение агрегативной структуры. Одновременно с высушиванием суспензии образуются наночастицы порошка бёмита.

Нагревание бёмита, полученного методом гидротермального окисления промышленных порошков алюминия, приводит к разрушению кристаллической решетки бёмита и образованию безводных форм оксида алюминия. При этом происходит «самоизмельчение» кристаллов и агрегатов. Минимальные размеры наблюдаются при температуре около 500 °С. Наноразмерное состояние кристаллов сохраняется до 1300 °С, агрегатов до 900 °С.

Исследована эффективность различных методов дезагрегации суспензии исходного порошка бёмита в воде: в аппарате роторно-импульсного типа, а также в шаровой и ножевой мельницах. Установлена перспективность импульсного гидроакустического воздействия, обеспечивающего разрушение агрегатов и снижение среднего размера частиц за 30 мин до 50 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Соглашение о предоставлении субсидии № 14.613.21.0004 от 22.08.2014 г. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI61314X0004).

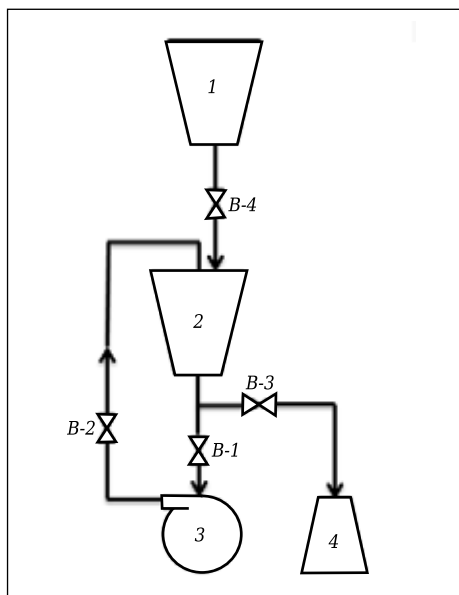


Рис. 7. Схема блока измельчения

Таблица 2. Средний размер частиц порошка, нм (среднеквадратичное отклонение), при разных условиях обработки суспензии бёмита

Условия обработки	Время, мин				
	10	30	60	1800	2400
РПА	122 (85)	47 (37)	–	–	–
Шаровая мельница (азотная кислота)	–	–	360 (90)	306 (116)	78 (39)
Ножевая мельница (ПЭГ)	–	–	118 (62)	–	–
	–	–	112 (52)	–	–

Библиографический список

1. Пат. 2278077 Российская Федерация. Способ получения гидроксидов или оксидов алюминия и водорода и устройство для его осуществления / Ю. А. Мазалов, А. В. Берш, Ю. Л. Иванов ; опубл. 20.06.06, Бюл. № 17.
2. Мазалов, Ю. А. Гидротермальный синтез нанокристаллического гидроксида алюминия и технологии его применения в различных областях / Сборник тезисов докладов научно-технологической секции. Т. 1. Международный форум по нанотехнологиям. 3–5.12 / Ю. А. Мазалов, А. В. Федотов, А. В. Берш, Л. В. Судник // Роснано. — 2008. — С. 674, 675.
3. Берлин, А. А. Химические реакторы / А. А. Берлин, Э. В. Прут // Соросовский образоват. журн. — 2000. — Т. 6, № 4. — С. 30–36.
4. Гинье, А. Рентгенография кристаллов / А. Гинье. — М. : Физматгиз, 1961. — С. 392, 576.
5. Михайлов, Ю. А. Сушка перегретым паром / Ю. А. Михайлов. — М. : Энергия, 1967. — 200 с.
6. Теплицкий, Ю. С. Тепло- и массоперенос при сушке дисперсного материала перегретым паром в пневмотранспортной системе / Ю. С. Теплицкий, В. И. Ковенский, В. А. Бородуля // Труды 4-й РНКТ. — 2006. — Т. 6. — С. 129–132.
7. Корнюхин, И. П. Расчет процесса сушки тонкого капиллярно-пористого коллоидного материала / И. П. Корнюхин, Л. И. Жмакин // Изв. РАН. Сер. Энергетика. — 1977. — № 4.

8. Корнюхин, И. П. Сушка тонкого материала в режимах прямого и противотока / И. П. Корнюхин, Л. И. Жмакин // Изв. РАН. Сер. Энергетика. — 2000. — № 4.
9. Янкелев, Л. Ф. Сушка мастичной теплоизоляции / Л. Ф. Янкелев // Электрические станции. — 1958. — № 1.
10. Балабудкин, М. А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М. А. Балабудкин. — М. : Медицина, 1983. — 160 с.
11. Балабышко, А. А. Гидромеханическое диспергирование / А. А. Балабышко, А. И. Зимин, В. П. Ружицкий. — М. : Наука, 1998. — 331 с.
12. Промтов, М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика : монография / М. А. Промтов. — М. : Машиностроение, 2001. — 247 с.
13. Промтов, М. А. Основы метода расчета роторного импульсно-кавитационного аппарата / М. А. Промтов // Вестник ТГТУ. — Т. 10, № 1А. — 27 с.
14. Рекомендации по приготовлению активированных цементов, добавок и заполнителей к бетону. — М. : НИИЖБ, 1986. — 27 с. ■

Получено 15.04.16

© А. В. Берш, Д. Ю. Мазалов, Р. Ю. Соловьев,
Л. В. Судник, А. В. Федотов, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

XIII International Conference on Nanostructured Materials



August 7-12, 2016

Québec City, Canada



НАНО 2016

7–12 августа 2016 г.
г. Квебек, Канада

- Нанотехнологии
- Наноматериалы для фотоники
- Углеродные наноматериалы, графены, нанотрубки и наноматериалы
- Наноструктурированные полупроводниковые приборы
- Наноматериалы
- Мягкие материалы
- Наноматериалы, оптоэлектроника, молекулярная электроника датчиков
- Наноматериалы и многоматериалы
- Наноматериалы
- Наноматериалы в катализе



<http://www.nano2016.org/>

Д. Т. Н. И. Д. Кашеев¹, К. Т. Н. К. Г. Земляной¹ (✉), Р. В. Дзержинский²,
А. В. Федотов²

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ЗАО «Электрокерамика», дер. Трошково Раменского района
Московской обл., Россия

УДК 666.76.017:536.496

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ИМПУЛЬСНЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК

Приведены результаты исследования ряда изделий высшей огнеупорности на термостойкость и определена их фактическая теплоемкость. Показано, что в условиях высоких температур и резкопеременных термических нагрузок большую стойкость проявляют изделия с более высоким отношением площади нагреваемой поверхности к объему. Двухфазные материалы показывают лучшую термостойкость. Периклазовые изделия с защитным покрытием на основе ZrO_2 имеют термостойкость, сравнимую с термостойкостью циркониевых изделий.

Ключевые слова: импульсные высокотемпературные установки, термостойкость, теплоемкость, корунд, периклаз, диоксид циркония.

Механический способ получения плотного высокотемпературного газового потока широко используется в различных областях техники, а также в научных исследованиях. Он применяется для изучения аэротермогазодинамики летательных аппаратов в условиях, максимально приближенных к натурным [1–4], для исследования физико-химических свойств газов [5, 6] и кинетики химических реакций [7–9] в газовых смесях при высоких плотностях и температурах [5, 8], а также для моделирования турбулентного пограничного слоя [9, 10] и в технологиях синтеза веществ и обработки поверхности [11, 12].

Импульсные поршневые установки используют в аэрогазодинамике для изучения воздействия газового потока на внешние части летательных аппаратов. Изначально исследователей аэродинамики удовлетворяли такие устройства, как аэродинамические трубы, принцип действия которых состоял в создании стационарного потока, в течение длительного времени обтекающего испытуемую модель, пока скорости газового потока были дозвуковыми. При подходе скоростей к звуковому барьеру, а затем преодолении его трубы стали гораздо сложнее и дороже, но принцип их действия оставался прежним. Дальнейшее продвижение в область гиперзвуковых скоростей, потребовавшее давление в трубах в тыся-

чи атмосфер и температуры в тысячи градусов, заставило отказаться от длительности рабочего режима в сотни, тысячи секунд и довольствоваться десятками, сотнями миллисекунд [11, 13, 14]. С этих пор в данной области стали широко применяться импульсные устройства (ударные трубы, импульсные поршневые устройства, импульсные электроразрядные аэродинамические трубы и их модификации). При этом параметры газового потока достигли сверхкритических показателей: температура до 2500 К, давление до 2500 ат, а импульсный режим работы установок (цикл нагрев – охлаждение длится от 10 до 100 с) дополнительно ужесточает условия эксплуатации футеровки таких агрегатов.

В результате в настоящее время импульсные поршневые установки футеруют огнеупорами на основе диоксида циркония и корунда [15–25]. Высокие прочность и термостойкость обусловлены сохранением в материале метастабильной тетрагональной фазы, способной претерпевать полиморфный тетрагонально-моноклинный переход в поле механических напряжений. Переход тетрагональной фазы в моноклинную, происходящий по мартенситоподобному типу и сопровождающийся снижением плотности, приводит к созданию упругонапряженного состояния в материале. Это, с одной стороны, тормозит дальнейший распад тетрагональной фазы, а с другой — препятствует развитию трещин через границу различных фаз, что обусловлено поглощением энергии. Основными причинами разрушения огнеупоров в таких установках являются эрозия огнеупоров в ионизированном высокоскоростном потоке продуктов сгорания и тер-



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

мическая усталость, вызванная большим количеством и высокой частотой термосмен [26–35].

В настоящей статье исследованы теплофизические свойства огнеупорных материалов для футеровки испытательной импульсной высокотемпературной установки. В качестве материалов для нижних рядов насадки исследовали корундовые и муллитокорундовые огнеупоры, для камеры сгорания, газоходов и верхних рядов насадки регенератора — огнеупоры из диоксида циркония и плавленного оксида магния с содержанием MgO не менее 97 мас. %. Характеристики огнеупоров представлена в табл. 1.

На исследуемых огнеупорах определяли термостойкость (на образцах в виде кубов и

тонких пластин) по ГОСТ 7875.1 и зависимость теплоемкости от температуры методом отношений по сапфировому стандартному образцу на дифференциальном сканирующем калориметре «STA 449 C Jupiter» фирмы «Netzsch». Измерения проводили в корундовых тиглях с крышками в потоке воздуха, подаваемого со скоростью 50 мл/мин, при скорости нагрева образца 10 К/мин. Микроструктуру исследуемых изделий до и после испытаний на термостойкость исследовали петрографически в отраженном свете на микроскопе «Полам Р-311». Результаты определения термостойкости представлены в табл. 2, теплоемкости — показаны на рис. 1. Микроструктура исследуемых изде-

Таблица 1. Характеристика огнеупоров для футеровки импульсной высокотемпературной установки

Огнеупор	Содержание, мас. %				Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Дополнительная линейная усадка при 1600 °С, %
	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂				
КГ-98	98,0	–	0,25	–	20	3,00	50	0,0
КСП	97,1	–	0,44	–	24	2,94	42	0,0
КС-95	95,6	–	0,46	–	23	3,01	44	0,0
КГ-82	82,0	–	0,90	–	27	2,40	40	1,0
МК-90	92,3	4,5	0,50	–	27,5	2,83	37	0,0
КСЦ	75,6	11,4	0,20	10,1	22	2,92	36	0,0
ППЛУ-98	–	98,0	0,80	–	17	2,60	50	0,0
ППЛУ-98 с покрытием из ZrO ₂	–	98,0	0,80	–	17	2,60	50	0,0
ЦГБ	2,6	2,5*	–	94,4	31	4,16	38	0,0

* Указано содержание BaO, мас. %.

Таблица 2. Термостойкость исследуемых материалов

Материал	Термостойкость, водяные теплосмены, образцов в виде	
	кубов	пластин
КГ-98	26	55
КСП-95	27	44
КС-95	33	46
КГ-82	57	102
МК-90	8	14
КСЦ	55	71
ППЛУ-98	3	7
ППЛУ-98 с покрытием из ZrO ₂	6	11
ЦГБ	6	11

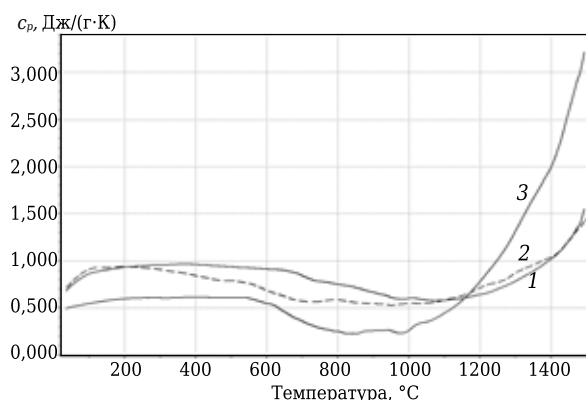


Рис. 1. Сравнение теплоемкости c_p исследованных огнеупоров: 1 — корундовые; 2 — периклазовые; 3 — на основе ZrO₂

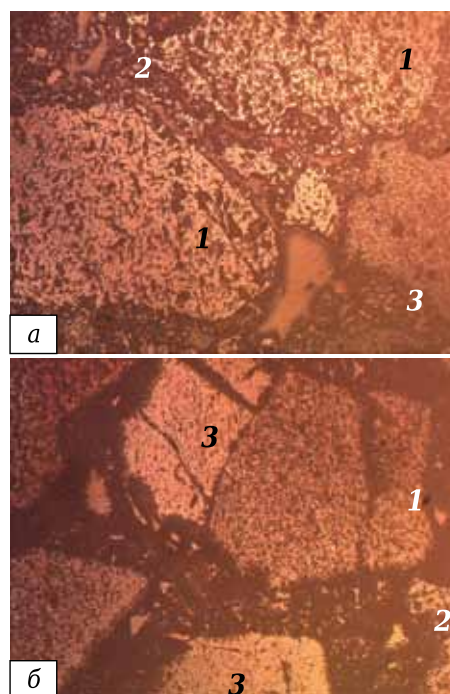


Рис. 2. Микроструктура корундового изделия КГ-98 до (а) и после испытаний на термостойкость (б): 1 — зерно корунда; 2 — корундовая матрица; 3 — поры. ×80. Свет отраженный

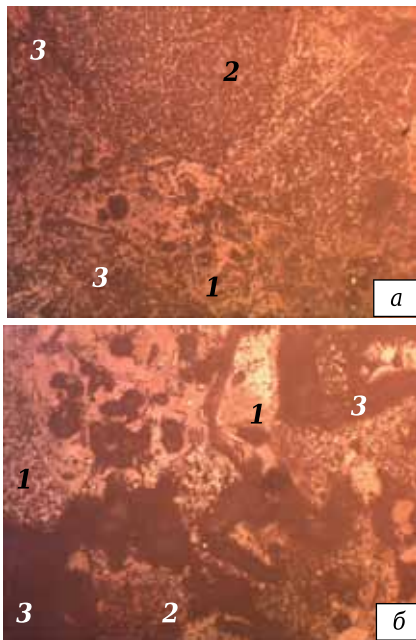


Рис. 3. Микроструктура корундового изделия КСП-95 до (а) и после испытаний на термостойкость (б): 1 — зерно корунда; 2 — корундо-муллитовая матрица; 3 — поры. $\times 80$. Свет отраженный

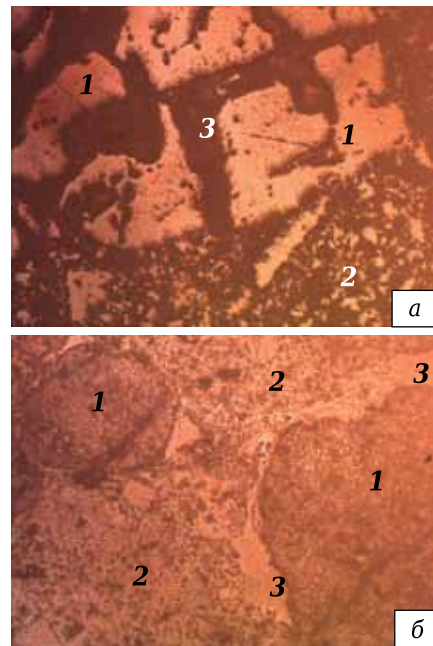


Рис. 4. Микроструктура корундового изделия КС-95 до (а) и после испытаний на термостойкость (б): 1 — зерно корунда; 2 — корундо-муллитовая матрица; 3 — поры. $\times 80$. Свет отраженный

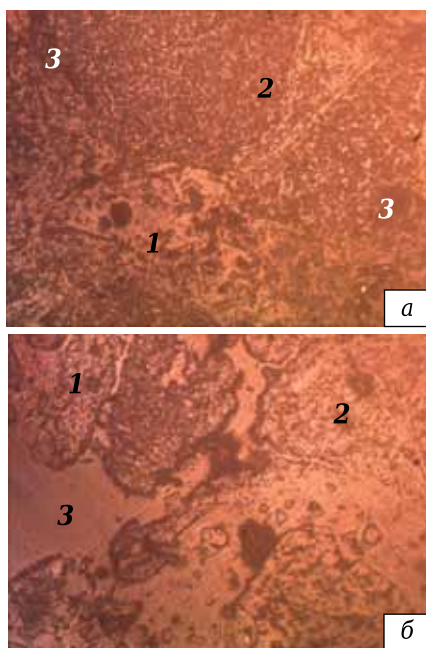


Рис. 5. Микроструктура корундового изделия КГ-82 до (а) и после испытаний на термостойкость (б): 1 — зерно корунда; 2 — муллитовая матрица; 3 — поры. $\times 80$. Свет отраженный

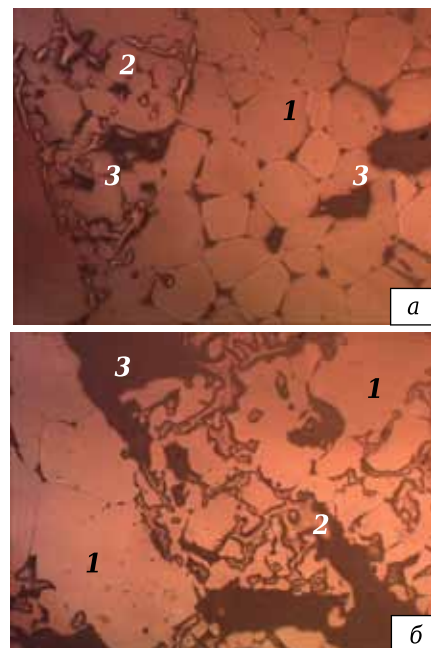


Рис. 6. Микроструктура периклазового изделия ППЛУ до (а) и после испытаний на термостойкость (б): 1 — зерно периклаза; 2 — стеклофаза; 3 — поры. $\times 80$. Свет отраженный

лий до и после испытаний на термостойкость показана на рис. 2–7.

Из рис. 2–7 видно, что структура всех видов изделий после испытаний на термостойкость до разрушения характеризуется пониженной плотностью; появляются поры и трещины, размер пор становится сравним с размером круп-

ных зерен и даже превышает их. Новые поры образуются во всех элементах структуры: в матрице, между зернами кристаллической фазы и матрицей. Светлый цвет пор на рис. 2, 4 и 5 объясняется тем, что структура образцов после испытаний на термостойкость была очень рыхлой, непрочной и для изготовления полировок

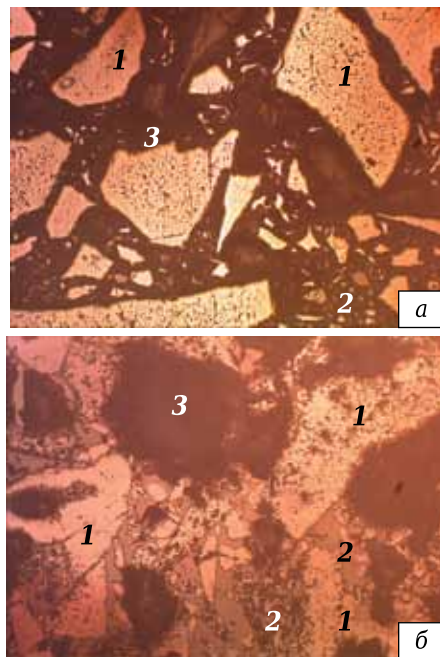


Рис. 7. Микроструктура циркониевого изделия ЦГБ до (а) и после испытаний на термостойкость (б): 1 — зерно диоксида циркония; 2 — циркониевая матрица; 3 — поры. $\times 80$. Свет отраженный

Библиографический список

1. **Кислых, В. В.** Использование неизоэнтропического многокаскадного сжатия для получения плотного высокотемпературного газа / В. В. Кислых, К. В. Крапивной // ТВТ. — 1990. — Т. 28, № 6. — С. 1195.
2. **Топчийн, М. Е.** Аэродинамические трубы для гиперзвуковых исследований (достижения, проблемы, перспективы) / М. Е. Топчийн, А. М. Харитонов // ПМТФ. — 1994. — Т. 35, № 3. — С. 66.
3. **Пинаков, В. И.** Возможности моделирования гиперзвуковых потоков на газодинамических установках адиабатического сжатия с высоким давлением / В. И. Пинаков, В. Н. Рычков, М. Е. Топчийн // ПМТФ. — 1982. — № 1. — С. 63.
4. **Рычков, В. И.** Возможности моделирования аэрогазодинамических процессов на импульсной адиабатической установке сверхвысокого давления : дис. ... канд. физ.-мат. наук / В. И. Рычков. — Новосибирск, 1995.
5. **Кислых, В. В.** Исследование параметров сжатого газа в установке адиабатического сжатия (УАС) / В. В. Кислых, В. Н. Васильев, Е. С. Веремьев // ТВТ. — 1971. — Т. 9, № 5. — С. 920–927.
6. **Рябинин, Ю. Н.** Газы при больших плотностях и температурах / Ю. Н. Рябинин. — М. : Физматгиз, 1959. — 72 с.
7. **Веремьев, Е. С.** Исследование разложения закиси азота при давлениях 1500–2500 атм / Е. С. Веремьев, В. В. Кислых, А. Е. Сидельников // Кинетика и катализ. — 1972. — Т. XIII, Вып. 2. — С. 269–278.
8. **А. с. 1012965 СССР.** Способ исследования кинетики химических реакций / В. В. Кислых, О. В. Петрова, И. А. Решетин, Бюл. № 15.

ее проваривали в канифоли. При этом поры, заполненные канифолью с высоким коэффициентом отражения, кажутся светлыми. Зерна основной кристаллической фазы частично расколоты. Матрица изделий после испытаний фрагментирована и меняет коэффициент отражения вследствие перекристаллизации и, возможно, химических реакций.

В циркониевых изделиях также наблюдается эффект появления новой фазы, связанный, по-видимому, с распадом твердых растворов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены сравнительные испытания ряда изделий высшей огнеупорности на термостойкость и определены фактические значения их теплоемкостей. Показано, что изделия, имеющие большее отношение площади к объему, имеют повышенную в 2 раза термостойкость по сравнению с объемными образцами.

Двухфазные материалы показывают лучшую термостойкость. Такие изделия предпочтительны для установок, работающих при переменных термических нагрузках. Периклазовые изделия с защитным покрытием на основе ZrO_2 обладают термостойкостью, сравнимой с термостойкостью циркониевых изделий.

9. **Затолака, В. В.** Импульсные аэродинамические трубы / В. В. Затолака. — Новосибирск : Наука, 1986. — 141 с.
10. **Шахов, В. Т.** Основы теории пограничного слоя / В. Т. Шахов. — Куйбышев : Куйб. авиац. ин-т, 1989. — 128 с.
11. **Жуков, М. Ф.** Высокоэнергетические процессы обработки материалов / М. Ф. Жуков, В. М. Фомин // Низкотемпературная плазма. — 2000. — Т. 18. — С. 425–437.
12. **Колбановский, Ю. А.** Химимпульсное сжатие газов в химии и технологии / Ю. А. Колбановский, В. С. Щупачев, Н. Я. Черняк [и др.]. — М. : Наука, 1982. — 240 с.
13. **Струминский, В. В.** О моделировании турбулентного пограничного слоя в импульсных аэродинамических трубах в широком диапазоне изменения основных параметров потока // Механика турбулентных потоков / В. В. Струминский, В. В. Затолака, А. С. Антонов [и др.]. — М. : Наука, 1980. — С. 248.
14. **Антонов, А. С.** Аэродинамическая импульсная труба гиперзвуковых скоростей ИТ-301 // Аэрофизические исследования / А. С. Антонов, Б. В. Бошенятов, В. А. Дмитриев [и др.]. — Новосибирск : ИТПМ СО АН СССР, 1972. — С. 20–36.
15. **Riva, G. F.** A method for evaluating the combustion efficiency in direct connect super-sonic combustion test facilities / G. F. Riva, A. Reggiori, G. B. Daminelli // 22nd International Symposium on Shock Waves. — L. : Imperial College, 18–23 July, 1999. — P. 291.
16. **Семенов, В. Л.** Разработка модели и стендового оборудования для исследования вопросов интеграции проточного тракта ГПВРД и планера ГЛА при числах Маха 6...14 / В. Л. Семенов, Г. А. Клеянкин, А. П. Иванов [и др.] // XXIX Академические чтения по космонавтике. М., 25–28 января 2005.

17. **Маяускас, Ю.** Огнеупорная керамика в высокотемпературном газовом потоке / Ю. Маяускас, В. Даукишис, Р. Абraitис [и др.]. — Вильнюс : Монкслак, 1975. — 180 с.
18. **Караулов, А. Г.** Циркониевые огнеупоры для высокотемпературных установок на основе бадделита / А. Г. Караулов // *Высокотемпературные материалы для МГДЭС*. — М. : 1983. — С. 120–126.
19. **Романов, А. Н.** Высокотемпературные материалы для МГДЭС / А. Н. Романов, А. И. Кротов, О. И. Кутепова // *Высокотемпературные материалы для футеровки различных узлов МГД-установок*. — М. : Наука, 1983. — С. 109–114.
20. **Караулов, А. Г.** Набивные массы из двуокиси циркония на фосфорной кислоте / А. Г. Караулов, А. А. Гребенюк, Т. Е. Сударкина [и др.] // *Огнеупоры*. — 1974. — № 3. — С. 55–60.
21. **Немец, И. И.** Термомеханические свойства диоксидциркониевых бетонов на механохимических фосфатсодержащих вяжущих / И. И. Немец, Н. С. Бельмаз, Л. Н. Семькина [и др.] // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 1997. — № 5. — С. 2–5.
22. **Koehler, E. K.** The structure and properties of refractory's zirconia ceramics. I. Fundamental investigations / E. K. Koehler // *Ceramics International*. — 1984. — Vol. 10, № 1. — P. 3–13.
23. **Koehler, E. K.** Structure and properties of refractory's zirconia ceramics. II. Applied investigations / E. K. Koehler // *Ceramics International*. — 1984. — Vol. 10, № 2. — P. 66–74.
24. **Koehler, E. K.** Structure and properties of refractory's zirconia ceramics. III. Studies of technical properties of materials and technological elaborations / E. K. Koehler // *Ceramics International*. — 1985. — Vol. 11, № 1. — P. 3–12.
25. **Рутман, Д. С.** Высокоогнеупорные материалы на основе диоксида циркония / Д. С. Рутман, Ю. С. Торопов, С. Ю. Плинер [и др.]. — М. : Металлургия, 1985. — 136 с.
26. **Абraitис, Р.** Дескриптивная идентификация процесса эрозии моделью теплопроводности / Р. Абraitис, Э. Сакалаускас, В. Станкявичка // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 2005. — № 2. — С. 30–35.
27. **Абraitис, Р.** Модель и механизм эрозионного разрушения огнеупоров при высоких температурах / Р. Абraitис // *Огнеупоры*. — 1988. — № 3. — С. 9–12.
28. **Страхов, В. И.** О термическом старении материалов из диоксида циркония / В. И. Страхов, Е. А. Павлова // *Огнеупоры и техническая керамика*. — 2008. — № 1. — С. 12–17.
29. **Settu, T.** Synthesis and characterization of $ZrO_2-Y_2O_3$ and $ZrO_2-Y_2O_3-CeO_2$ precursor powder / T. Settu, R. Gobinathan // *J. Eur. Ceram. Soc.* — 1986. — № 6. — P. 1309–1318.
30. **Моргулис, О. М.** Изделия из плавленной двуокиси циркония с повышенной термической устойчивостью / О. М. Моргулис, А. В. Стовбур, Г. К. Баласова // *Сб. научных трудов УкрНИИО*. Вып. 3. — Харьков, 1960. — С. 153–171.
31. **Реков, А. И.** Результаты экспериментальных работ и исследований высокоогнеупорных материалов для канала МГД-генератора / А. И. Реков // *Материалы для канала МГД-генератора / Институт высоких температур АН СССР*. — М. : Наука, 1969. — С. 9–24.
32. **Караулов, А. Г.** К вопросу термостойкости изделий из двуокиси циркония / А. Г. Караулов, В. Я. Белик // *Сб. научных трудов УкрНИИО «Теоретические и технологические исследования в области огнеупоров»*. Вып. 10. — М. : Металлургия, 1967. — С. 76–82.
33. **Караулов, А. Г.** Влияние структуры образцов из двуокиси циркония на сопротивление термическому удару / А. Г. Караулов, А. А. Гребенюк, Н. В. Гулько, В. Я. Белик // *Сб. научных трудов УкрНИИО «Теоретические и технологические исследования в области огнеупоров»*. Вып. 10. — М. : Металлургия, 1967. — С. 82–92.
34. **Бакунов, В. С.** Керамика из высокотемпературных окислов / В. С. Бакунов, В. А. Балкевич, А. С. Власов [и др.] ; под ред. Д. Н. Полубояринова и Р. Я. Попильского. — М. : Металлургия, 1979. — 100 с.
35. **Реков, А. И.** Основные результаты применения огнеупоров из двуокиси циркония в высокотемпературной камере сгорания опытной установки с МГД-генератором открытого цикла / А. И. Реков, А. А. Гребенюк, А. Г. Караулов [и др.] // *Материалы для канала МГД-генератора*. — М. : Наука, 1969. — С. 85–97. ■

Получено 02.03.16

© И. Д. Кашеев, К. Г. Земляной,
Р. В. Дзерджинский, А. В. Федотов, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ICC6 — 6-й международный конгресс по керамике
«От лаборатории к производству»
 21-25 августа 2016 г.
 г. Дрезден, Германия
www.icc-6.com

Д. т. н. Ю. Е. Пивинский¹ (✉), П. В. Дякин², к. т. н. А. Д. Бураков¹, А. М. Гороховский³,
Л. А. Карпец³, Н. В. Гусев³, В. И. Хабарова³, Д. А. Каратаев³

¹ ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

³ ОАО «Динур», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

УДК 666.762.2.046.512:66.046.44

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВКВС ПЛАВЛЕНОГО КВАРЦА. Часть 11. Опыты по реализации новой безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров*

Проведены опытные работы по реализации новой безобжиговой технологии применительно к производству кварцевых сталеразливочных огнеупоров, оболочек роликов для печей отжига динамной стали и виброформируемых керамобетонных блоков. Полученные по этой технологии защитные трубы для разливки стали успешно прошли заводские испытания при разливке сталей как рядовых, так и с повышенным содержанием марганца. Их стойкость оказалась сопоставимой со стойкостью аналогичных изделий, получаемых по обжиговой технологии.

Ключевые слова: *плавленый кварц, ВКВС, кристобалит, силикат-глыба, сталеразливочные огнеупоры, разливка стали.*

В статьях [1–3] настоящей серии публикаций рассмотрены вопросы о влиянии щелочных добавок в виде порошка силикат-глыбы на спекание и кристобалитизацию образцов на основе ВКВС плавленого кварца. Актуальность этих исследований продиктована в том числе их практической значимостью для разработки нового варианта безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров. Эта технология предусматривает упрочнение изделий введением в состав исходных формовочных систем щелочной добавки в виде порошка силикат-глыбы.

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ АНАЛОГИ И МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ

Первые опыты по безобжиговой технологии кварцевых огнеупоров были проведены еще в 70-е годы прошлого века [4–8]. Практическим основанием для разработки такой технологии являлся обнаруженный в те годы эффект резкого упрочнения сформованного (преимущественно кремнеземсодержащего) керамическо-

го или керамобетонного полуфабриката путем водной (при определенных pH) или тепловлажностной обработки [5, 6]. Эти керамические или огнеупорные материалы были получены посредством упрочнения химическим активированием контактных связей (УХАКС-материалы) [9, 10]. Механизм такого упрочнения объясним незначительным растворением твердой фазы с последующей конденсацией (регенерацией) раствора при сушке на поверхности и контактах частиц («холодное спекание») и протекает без изменения объема и пористости системы [9–11].

На первой стадии технологической апробации идеи в соответствии с изобретением [7] на Подольском заводе огнеупорных изделий (ПЗОИ) были получены и достаточно успешно испытаны на НЛМК опытные образцы сталеразливочных стаканов, упрочненных обработкой высушенных изделий в растворе жидкого стекла (плотность 1,02–1,05 г/см³) с последующей сушкой. На очередном этапе развития этой технологии для повышения механической прочности и стойкости огнеупоров в службе был реализован процесс гидротермальной обработки (8 ат) предварительно обработанного отформованного шликерным литьем полуфабриката в щелочном растворе [8, 12]. По этой технологии на ПЗОИ была получена опытная партия изделий, испытанная на НЛМК. Согласно выводам в статье [12] «безобжиговые, упрочненные гидротермальной обработкой кварцевые стаканы для разливки стали не уступают по стойкости обожженным. Более того, при контакте с агрессивными (марганцовистыми) ста-

* Окончание. Часть 1 статьи опубликована в № 7 за 2014 г., части 2–7 в № 1, 3, 4, 6, 7 и 9 за 2015 г., части 8–10 в № 1, 3 и 5 за 2016 г.



Ю. Е. Пивинский
E-mail: pivinskiy@mail.ru

лями износ безобжиговой керамики несколько ниже. Отмечено отсутствие пропитки безобжигового материала продуктами взаимодействия металла с огнеупором в процессе службы. Наименьший износ в службе показали безобжиговые стаканы на основе суспензий, полученных помолом в кислой среде и стабилизированных в щелочной среде».

В отличие от рассмотренных опытных работ на Первоуральском динасовом заводе в конце 80-х годов прошлого века была впервые реализована промышленная технология как получения ВКВС плавленного кварца плотностью до $1,90 \text{ г/см}^3$, так и центробежного формования огнеупоров на ее основе. Полученный при этом полуфабрикат подвергался гидротермальному упрочнению в автоклаве марки АВТРМ при давлении 0,8 МПа с выдержкой 5–8 ч. По этой технологии было освоено производство не только сталеразливочных стаканов и труб, но и более крупногабаритных оболочек роликов печей типа «Тандем» [5, 13, 14]. Применительно к этой технологии известны и реализованы два варианта повышения растворимости SiO_2 и увеличения эффекта гидротермального упрочнения изделий в процессе автоклавной обработки — введением небольших щелочных добавок в виде жидкого стекла и использованием в качестве рабочей среды в автоклаве смеси паров воды и аммиака при его концентрации 15–20 % [5, с. 239]. Известно, что NH_4OH не образует устойчивых соединений с SiO_2 , но увеличивает как его растворимость, так и ее скорость.

Сущность нового варианта безобжиговой технологии получения различных видов кварцевых огнеупоров была предварительно исследована и опробована применительно к получению некоторых не только огнеупорных, но и химически стойких строительных материалов на основе ВКВС кварцевого песка [15, 16]. В этом способе эффект упрочнения по УХАКС-механизму [5, 9] достигается введением в исходную формовочную систему оптимальной добавки порошка силикат-глыбы (дисперсный метасиликат натрия) с последующими формованием (литье, центробежное или виброформование, прессование) и сушкой. Режим сушки должен обеспечивать растворение в поровом объеме материала частиц метасиликата натрия, а соответственно, и SiO_2 на контактах частиц полуфабриката с последующей полимеризацией порового раствора на заключительной стадии сушки.

Способность к растворению порошка силикат-глыбы как исходного материала в производстве жидкого стекла обусловлена наличием в нем связей Si-O-Na , которые диссоциируют и гидролизуются в соответствии с реакцией $\text{SiO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Si-OH} + \text{OH}^-$. В последующем накопившиеся в растворе гидроксид-ионы диффундируют к поверхности и разрушают крем-

некислородный каркас частиц матричной системы полуфабриката по связям Si-O-Si : $\text{Si-O-Si} + \text{OH} \rightleftharpoons \text{Si-OH} + \text{Si-O}^-$. При высыхании жидких стекол, сопровождающемся проявлением их вяжущих свойств, происходят процессы, обратные растворению щелочесиликатного стекла [15].

Заключительная стадия технологии материалов, получаемых по рассматриваемому в настоящей статье способу, состоит в сушке полуфабриката в интервале 100–120 °С. При этом достигается удаление гидратной воды, что способствует образованию более прочной силоксановой связи Si-O-Si . Благодаря этому получается высокополимерный нерастворимый в воде кремнегель. За счет этого прочность УХАКС-материалов после сушки при 100–120 °С значительно выше по сравнению с прочностью, достигнутой при сушке в воздушной атмосфере [9].

Основные опытные работы по исследованию рассматриваемого в настоящей работе способа были изучены при получении сталеразливочных огнеупоров на примере кварцевых защитных труб. К последним предъявляются высокие требования по относительно низкой пористости и пределу прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ не менее 20 МПа. Процесс их спекания, сопровождающийся значительным ростом как «горячей» прочности, так и кристобалитизации, осуществляется в процессе разлива стали [4, 5]. Новый способ изготовления безобжиговых огнеупоров опробован также применительно к технологии производства кварцевых оболочек роликов для транспортировки стальной ленты в печах обжига динамной стали [5, с. 385]. С учетом значительных массы (68 кг) и размеров (длина 1420, диаметр 220 и толщина стенки 55 мм), а также повышенных требований к точности размеров оболочек роликов (рис. 1) необходимым техно-

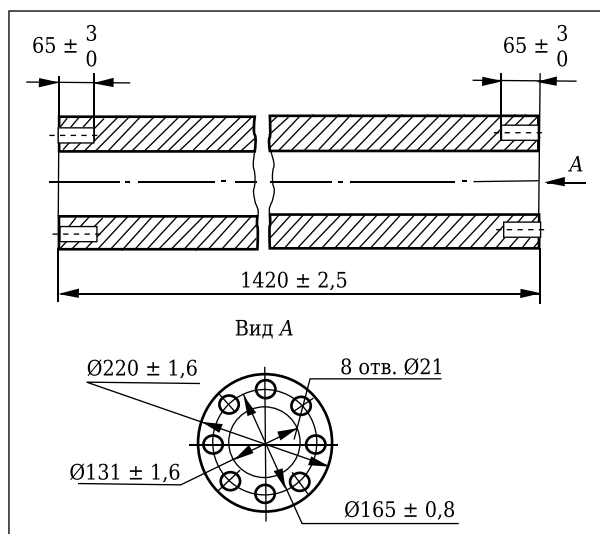


Рис. 1. Кварцевая оболочка ролика для транспортировки стальной ленты в печах обжига динамной стали

логическим требованием при их изготовлении является достижение заданной механической прочности ($\sigma_{сж} = 10\div 15$ МПа) при низких значениях усадки (0,2–0,3 %). Обычно такие требования достигаются при температуре обжига около 1100 °С.

Применительно к безобжиговой технологии, предусматривающей введение щелочных добавок, дополнительным требованием является отсутствие кристобалитизации материала в преимущественном для этих оболочек интервале 850–950 °С. В связи с этим были проведены предварительные исследования по влиянию содержания добавки силикат-глыбы на усадку, пористость, плотность и предел прочности при изгибе образцов как в исходном (высушенном) состоянии, так и после термообработки (обжига) при 900, 1000 и 1150 °С с выдержкой 1 ч.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДОБАВКИ НА СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ

Основные исследования по влиянию содержания добавки на свойства образцов были проведены на образцах-отливках, полученных шликерным литьем на основе ВКВС плавленного кварца плотностью 1,905 г/см³ ($C_V = 0,75$) с содержанием частиц

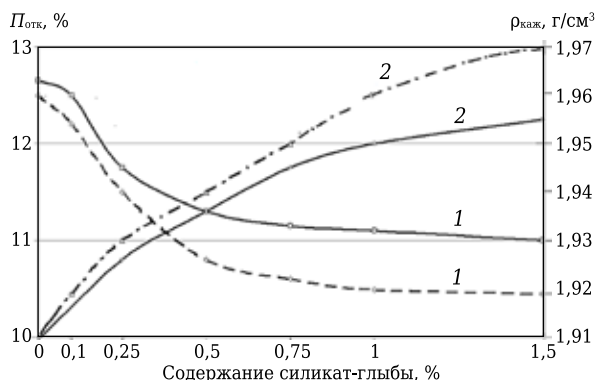


Рис. 2. Влияние добавки силикат-глыбы на открытую пористость (1) и кажущуюся плотность (2) образцов на основе ВКВС плавленного кварца после сушки (—) и обжига при 1000 °С (---)

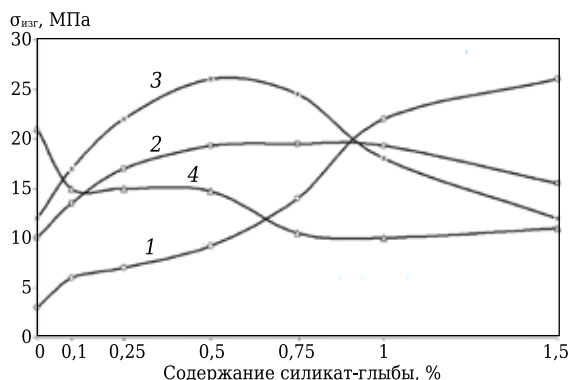


Рис. 3. Влияние добавки силикат-глыбы на $\sigma_{изг}$ образцов после сушки (1) и обжига при 900 (2), 1000 (3) и 1150 °С (4)

менее 5 мкм 28 % и крупнее 63 мкм 16 %. Содержание добавки порошка силикат-глыбы варьировалось в пределах 0,1–1,5 %, или 0,025–0,37 % в пересчете на содержание Na_2O . На рис. 2 показано влияние содержания добавки силикат-глыбы на открытую пористость $P_{отк}$ (кривые 1) и кажущуюся плотность $\rho_{каж}$ (кривые 2) образцов.

Из рис. 2 следует, что введение добавок сопровождается заметным снижением пористости и повышением плотности исходных образцов. Так, $P_{отк}$ снижается от 12,6 % у высушенных образцов без добавки до 11–11,2 % у образцов с добавками 0,5–1,5 %. У обожженных образцов разница в показателях $P_{отк}$ и $\rho_{каж}$ по сравнению с исходными значениями существенно увеличивается, особенно при содержании добавки более 0,5 %. Это обусловлено тем, что, как показано в предшествующих статьях [1–3], наличие щелочной добавки в образцах сопровождается существенным понижением температуры как спекания, так и кристобалитизации. Из сопоставления кривых 1 следует, что если разница показателей $P_{отк}$ у образцов без добавки составляет только 0,10 %, то при добавке 0,5 и 1,0 % увеличивается до 0,4 и 0,6 % соответственно. Еще более значительная разница показателей $\rho_{каж}$ (0,01–0,015 г/см³) при содержании добавки 1 и 1,5 %. Это обусловлено наличием в обожженном материале заметного содержания кристобалита, характеризующегося повышенной (с 2,2 до 2,32 г/см³) истинной плотностью.

На рис. 3 показано влияние содержания силикат-глыбы на предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ образцов как в исходном (высушенном) состоянии, так и после термообработки. Уже при содержании добавки до 0,5 % $\sigma_{изг}$ образцов повышается в 2–3 раза по сравнению с исходными значениями. Более существенный рост $\sigma_{изг}$ наблюдается при содержании добавки 0,5–1,0 (от 9 до 22 МПа). После термообработки при минимальной температуре (900 °С) $\sigma_{изг}$ существенно повышается и достигает максимальных значений (20 МПа) при содержании добавки 0,5 %. Аналогичный характер зависимости прочности и у образцов после обжига при 1000 °С. При этом, как и для кривой 2, максимальное значение $\sigma_{изг}$ (25 МПа) соответствует содержанию добавки 0,5 %. Содержание добавки более 0,5 % сопровождается заметным падением прочности образцов. Это обусловлено тем, что при значительном содержании щелочной добавки (1–1,5 %) уже при относительно низкой температуре обжига образуется высокотемпературный кристобалит, который при охлаждении до средней температуры 270 °С в процессе перехода в низкотемпературную форму сопровождается деструкцией материала [3]. Еще более значителен этот эффект у образцов после обжига при 1150 °С. В этом случае даже у образцов с относительно низким количеством добавки (<0,5 %) их $\sigma_{изг}$ значительно ниже по

сравнению с аналогичными показателями после 900–1000 °С. При содержании добавки 0,75–1,5 % значения $\sigma_{изг}$ существенно ниже, чем у исходных образцов после сушки.

Из рис. 2 и 3 следует, что применительно к безобжиговой технологии получения оболочек роликов оптимальное содержание добавки силикат-глыбы составляет 0,25–0,50 % (или 0,06–0,12 % по содержанию Na_2O). При этом достигаются как пониженные значения $P_{отк}$, так и повышенные значения $\sigma_{изг}$ образцов как в исходном состоянии, так и особенно после относительно низкотемпературной (900–1000 °С) термообработки. С учетом преимущественной эксплуатации этих изделий при постоянном (без охлаждения) режиме в интервале 850–950 °С они могут быть вполне работоспособными.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ БЕЗОБЖИГОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

Основные работы по опытно-промышленной апробации новой технологии были проведены применительно к отработке опытной технологии и промышленным испытаниям центробежноформованных керамобетонных кварцевых защитных труб для разлива стали [4, 7, 8, 14]. В отличие от корундографитовых сталеразливочных огнеупоров, нуждающихся в предварительном разогреве, кварцевые огнеупоры, характеризующиеся максимальной среди всех огнеупорных материалов термостойкостью [4, 5], использовали без нагрева («холодный старт»). Функция защитной трубы, располагающейся между сталеразливочным и промежуточным ковшами, состоит в предотвращении окисления и турбулизации потока жидкой стали и регулирования ее расхода [17]. Основные предъявляемые к защитным трубам требования состоят в высокой их прочности при повышенных температурах, стойкости к коррозионному и абразивному износу. Особые требования предъявляются к термостойкости, что обусловлено резким изменением температуры защитных труб между плавками [17].

Для изготовления защитных труб по этой технологии применяли ВКВС плавного кварца исходной плотностью 1,91–1,92 г/см³ ($C_V = 0,76$, влажность ~12 %), характеризующуюся медианным диаметром частиц $d_{50} = 6 \div 7$ мкм и содержанием частиц крупнее 63 мкм 14–16 %. Стабилизацию исходных ВКВС механическим перемешиванием осуществляли в щелочной области рН (9,0–9,5), что достигалось введением в их состав добавки (<0,1 %) водорастворимой силикат-глыбы. Керамобетонную смесь готовили в бетоносмесителе с первоначальным введением и смешением зернистого заполнителя (0,3–1,0 мм) и порошка силикат-глыбы в количестве 0,5–0,7 % от общей массы с последующим введением оптимального количества слива цен-

тробежного формования [4], смешением, а затем введением ВКВС плавного кварца плотностью 1,91–1,92 г/см³ и дополнительным смешением.

Предварительное увлажнение сухого зернистого заполнителя введением высокодисперсного слива (ВДКС) до влажности 2–3 % играет весьма важную роль. Это обусловлено тем, что в условиях смешения и последующего уплотнения между зернами заполнителя и ВДКС за счет действия электромолекулярных сил формируется достаточно прочная (устойчивая) поверхностная пленка, определяющая качественное смешение заполнителя с ВКВС и высокую степень уплотнения полуфабриката [18]. После последующего введения в состав смеси ВКВС плавного кварца и смешения готовая саморастекающаяся смесь влажностью около 7 % характеризовалась содержанием около 50 % зернистого заполнителя (>0,1 мм) и 50 % полидисперсных частиц (0,1–100 мкм).

После окончания центробежного формования, осуществляющегося по трехступенчатому (по скорости вращения) режиму [19] на протяжении 20 мин, отформованное изделие характеризовалось существенно большим содержанием зернистого (>0,1 мм) заполнителя (~60 %). Удаляемый при этом высокодисперсный слив характеризовался плотностью 1,50–1,55 г/см³, $C_V = 0,41 \div 0,45$ и $d_{50} = 2,2$ мкм. Исходя из данных по массе слива и отформованного изделия, коэффициент избытка $K_{изб}$ твердой фазы [4, с. 440] в процессе формования (отношение массы твердого в суспензии к массе сухой отливки) находился на уровне 1,035 (т. е.); избыток суспензии составлял всего лишь около 3,5 %. Исходная влажность отформованных изделий составляла 5,2–5,6 %. По аналогии с обычной технологией подсушку изделий в форме подачи теплого воздуха и последующее их извлечение из формы осуществляли непосредственно в цехе при 25–28 °С на протяжении 12–24 ч с последующей сушкой в сушильной камере при 100–120 °С. Показатели изделий $P_{отк}$ 12–13 %, $\sigma_{сж}$ 30–40 МПа, что эквивалентно обожженным изделиям.

Испытания опытной партии защитных труб на Нижнесергинском метизно-металлургическом заводе (г. Ревда Свердловской обл.) осуществляли при разливе конструкционной углеродистой стали марки Ст. Зпс (Mn ~0,5 %, C 0,14 %) и марганцовистой конструкционной низкоуглеродистой стали марки 35ГС (Mn 1,12 %, Si 0,6–0,9 %). В зависимости от состава температура стали в промежуточном ковше находилась в пределах 1520–1550 °С. Параллельно с опытными испытывали и серийно применяемые обожженные кварцевые трубы, производимые на Динуре. В результате испытаний при разливе стали марки 35ГС было установлено, что после одной плавки как опытные, так и серийные трубы характеризовались одинаковой скоростью износа — в пределах

0,46–0,49 мм / 10 т стали. При этом остаточная толщина изделий по шлаковому поясу составляла 15 мм при исходной 21 мм. При разливке двух плавок скорость износа как опытных, так и серийных изделий увеличилась до 0,7–0,72 мм / 10 т стали.

Весьма необычными оказались результаты испытаний опытной трубы при разливке стали 35ГС. Общеизвестно, что на эксплуатационные характеристики кварцевых сталеразливочных огнеупоров доминирующее влияние оказывает содержание Mn в разливаемой стали, так как аморфный SiO_2 (кварцевое стекло) под действием марганца восстанавливается до кремния по реакции $2\text{Mn} + \text{SiO}_2 = 2\text{MnO} + \text{Si}$. Под влиянием агрессивного воздействия MnO в системах $\text{SiO}_2 - \text{MnO} - \text{FeO}$ образуются относительно легкоплавкие соединения [4, 5, 18] с температурой плавления в пределах 1250–1370 °С, что существенно ниже температуры стали в промежуточном ковше (1540–1580 °С). Это приводит к практически однозначной зависимости между содержанием Mn в стали и скоростью коррозии кварцевых сталеразливочных стаканов. Так, согласно данным [18] при увеличении содержания Mn в стали от 0,6 до 1,2 % степень износа возрастает в 5 раз.

Между тем в процессе испытаний было установлено, что при разливке двух плавок (260 т) стали 35ГС скорость износа трубы составила 0,69 мм / 10 т стали, что аналогично износу при разливке стали с существенно меньшим (0,5 %) содержанием Mn. По всей видимости, отмеченный результат обусловлен следующим обстоятельством. С учетом того что кварцевую трубу устанавливали в холодном состоянии, на первой стадии разливки на ее поверхности «намораживался» определенный слой стали. Последний в качестве своеобразного гарнисажа способствовал в дальнейшем определенному уменьшению износа трубы. Этот эффект нуждается в дальнейшем исследовании, а возможно, и в целенаправленной его реализации для повышения стойкости кварцевых сталеразливочных огнеупоров.

При сопоставлении эксплуатационных характеристик кварцевых и корундографитовых защитных труб [5, 20] целесообразно учитывать их теплозащитные характеристики. Известно, что кварцевая керамика имеет примерно в 10 раз меньшую теплопроводность, чем корундографитовые огнеупоры: 0,8 и 8 Вт/(м·К) при 1000 °С. В этой связи вполне закономерно предположение, что теплотери расплава при разливке, а соответственно, и падение температуры в промежуточном ковше по сравнению с падением температуры в сталеразливочном ковше при применении кварцевых теплозащитных труб будет меньшим. Вполне возможно, что за счет этого эффекта можно несколько снизить температуру расплава как в конвертере (электропечи), так и в сталеразливочном ковше, что, в свою очередь, может привести к увеличению срока службы футеровки.

В отличие от рассмотренной технологии получения защитных труб последняя применительно к изготовлению крупногабаритных оболочек роликов (см. рис. 1) основана на использовании для процесса формования только ВКВС плавленного кварца. Отмеченная особенность обусловлена тем, что оболочки роликов должны иметь гладкую наружную (рабочую) поверхность и поэтому процесс их центробежного формования в отличие от сталеразливочных огнеупоров осуществляется на основе ВКВС плавленного кварца без дополнительного введения в их состав зернистого заполнителя. Исследования были проведены с использованием ВКВС плавленного кварца плотностью 1,905 г/см³ ($C_V = 0,75$), стабилизированной в щелочной области pH (9,4) за счет введения в состав 0,1 % порошка силикат-глыбы. Суспензия характеризовалась содержанием частиц крупнее 63 мкм 15,7 %, $d_{50} = 6,5$ мкм. Кроме того, в данном случае в соответствии с результатами исследований согласно рис. 1 и 2 введение добавки порошка силикат-глыбы ограничено 0,5 %.

Для формования ролика массой 68 кг в смеситель вводили 47 л ВКВС, содержащей 78 кг твердого. Добавку порошка силикат-глыбы в пределах 0,3–0,5 % вводили в состав ВКВС в увлажненном состоянии; смесь перемешивали около 5 мин. Процесс центробежного формования изделия осуществляли по обычно принятому режиму с общей продолжительностью 25 мин. Объем слива после формования изделия составил 11 л. Его плотность составляла 1,58 г/см³, pH = 10,6. С учетом данных по массе изделия (68 кг) и массе слива по сухому (11,7 кг) показатель $K_{изб}$ составил 17 %. После 20-мин подсушки в форме изделие извлекали и для замедления процесса сушки на протяжении 10 ч выдерживали под пленкой. В дальнейшем после 1-сут сушки в цехе (25 °С) изделия подвергали окончательной сушке при 100–120 °С. После разрезания изделия средние значения $P_{отк}$ составили 16–17 %, $\sigma_{сж}$ 15–20 МПа, что равно или превышает эти значения для аналогичных обожженных изделий.

Кроме того, проведены опытные работы по получению керамобетонных блочных изделий на основе формовочных систем, содержащих (по сухому) 40 % ВКВС плавленного кварца, 30 % заполнителя фракции 0,3–1 мм и 30 % фракции 1–3 мм. На основе этой смеси (влажность 5,6 %) с дополнительным содержанием 0,35 % порошка силикат-глыбы методом виброформования в металлических формах [5, 18] были получены керамобетоны, характеризующиеся после сушки $P_{отк}$ 12 % и $\sigma_{сж}$ 30–50 МПа.

Таким образом, показана принципиальная возможность получения различных огнеупоров на основе ВКВС плавленного кварца по безобжиговой технологии, предусматривающей введение в состав исходных формовочных систем порошка силикат-глыбы с последующими смешением,

центробежным или вибрационным формованием изделий и заключительной сушкой. В результате промышленных испытаний кварцевых защитных труб для разлива стали установлено, что по эксплуатационным характеристикам они не уступают обычным обожженным изделиям.

Библиографический список

1. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 8. Влияние щелочных добавок на спекание и кристаллитизацию керамики в режиме неизотермического нагрева / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Ю. Колобов // Новые огнеупоры. — 2016. — № 1. — С. 22–28.
2. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 9. Влияние щелочных добавок на кристаллитизацию и тепловое расширение материалов после неизотермического нагрева / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Ю. Колобов // Новые огнеупоры. — 2016. — № 3. — С. 123–128.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 10. О некоторых свойствах кристаллитсодержащих материалов / Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Ю. Колобов // Новые огнеупоры. — 2016. — № 5. — С. 27–33.
4. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. I. Теоретические основы и технологические процессы / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев ; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М. : Теплоэнергетик, 2008. — 672 с.
5. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. II. Материалы, их свойства и области применения / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев ; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М. : Теплоэнергетик, 2008. — 464 с.
6. **Пивинский, Ю. Е.** Основы технологии керамобетон / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1978. — № 2. — С. 34–42.
- Pivinskii, Yu. E.** Fundamentals of technology of ceramconcrete / Yu. E. Pivinskii // Refractories. — 1978. — Vol. 19, № 1. — P. 102–111.
7. **А. с. 688482 СССР.** Способ производства кварцевых огнеупоров / Ю. Е. Пивинский, В. А. Бевз, А. С. Шаталин и др. ; заявл. 25.04.78 ; опубл. 30.09.79, Бюл. № 36.
8. **А. с. 804607 СССР.** Способ изготовления кварцевой керамики / В. А. Бевз, Ю. Е. Пивинский ; заявл. 04.04.79 ; опубл. 15.02.81, Бюл. № 6.
9. **Пивинский, Ю. Е.** Получение безобжиговых керамических материалов путем упрочнения химическим активированием контактных связей / Ю. Е. Пивинский, В. А. Бевз, Р. Я. Попильский // Огнеупоры. — 1981. — № 4. — С. 50–56.
- Pivinskii, Yu. E.** Production of unfired ceramic materials by strengthening with chemical activation of the contact bonds / Yu. E. Pivinskii, V. A. Bevez, R. Y. Popil'skii // Refractories. — 1981. — Vol. 22, № 3. — P. 234–241.
10. **Пивинский, Ю. Е.** Неформованные огнеупоры. Т. I. Общие вопросы технологии / Ю. Е. Пивинский. — М. : Теплоэнергетик, 2003. — 448 с.
11. **Пивинский, Ю. Е.** Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении : избр. тр. В 3 т. Т. 3 / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Политехника, 2012. — 682 с.
12. **Пивинский, Ю. Е.** Безобжиговые кварцевые стаканы для разлива стали / Ю. Е. Пивинский, Ф. С. Каплан, С. Г. Семикова [и др.] // Огнеупоры. — 1989. — № 1. — С. 39–43.
- Pivinskii, Yu. E.** Unfired quartz nozzles for teeming of steel / Yu. E. Pivinskii, F. S. Kaplan, S. G. Semikova [et al.] // Refractories. — 1989. — Vol. 30, № 1. — P. 39–43.
13. **Пивинский, Ю. Е.** Разработка и внедрение в производство, служба безобжиговых огнеупоров / Ю. Е. Пивинский, Т. И. Литовская, О. Н. Самарина, Ф. С. Каплан // Огнеупоры. — 1989. — № 9. — С. 40–44.
- Pivinskii, Yu. E.** Development, introduction into production, and service of unfired quartz refractories / Yu. E. Pivinskii, T. I. Litovskaya, O. N. Samarina, F. S. Kaplan // Refractories. — 1989. — Vol. 30, № 9/10. — P. 572–578.
14. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические и огнеупорные материалы : избр. тр. В 3 т. Т. II / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 668 с.
15. **Пивинский, Ю. Е.** Разжижающие, пластифицирующие и упрочняющие добавки как эффективные модификаторы в технологии ВКВС и керамобетонов / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2012. — № 2. — С. 16–23.
- Pivinskii, Yu. E.** Thinning, plastifying and strengthening additions as effective modifiers in HCBS and ceramic concrete technology / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2012. — Vol. 56, № 1. — P. 12–18.
16. **Петров, В.** Дом из песка / Липецкая газета. 05.06.2012. С. 1, 2. <http://www.Lpgzt.ru/article/23630>. Html.
17. **Кащеев, И. Д.** Свойства и применение огнеупоров / И. Д. Кащеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.
18. **Пивинский, Ю. Е.** Изучение вибрационного формования керамобетонов. Формовочные системы и основные закономерности процесса / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1993. — № 6. — С. 8–14.
- Pivinskii, Yu. E.** Vibrational molding of ceramic concretes. Molding systems and the regularities of the process / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 1993. — Vol. 34, № 5. — P. 313–322.
19. **Пивинский, Ю. Е.** Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца. Часть 3. Изучение и совершенствование процесса центробежного формования / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2015. — № 3. — С. 79–90.
- Pivinskii, Yu. E.** Research in the area of preparing materials based on fused quartz HCBS. Part 3. Study and improvement of centrifugal casting / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2015. — Vol. 56, № 2. — P. 126–135.
20. **Пивинский, Ю. Е.** О рекордной стойкости в службе кварцевых защитных труб для разлива стали / Ю. Е. Пивинский, А. М. Гороховский, А. В. Макаров // Новые огнеупоры. — 2004. — № 12. — С. 17, 18.
- Pivinskii, Yu. E.** Record-breaking durability of quartz protecting tubes for steel teeming tested under service conditions / Yu. E. Pivinskii, A. M. Gorokhovskii, A. V. Makarov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2005. — Vol. 46, № 1. — P. 27, 28. ■

Получено 24.03.16

© Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, А. Д. Бураков, А. М. Гороховский, Л. А. Карпец, Н. В. Гусев, В. И. Хабарова, Д. А. Каратаев, 2016 г.

В. Т. Шмурадко (✉), Ф. И. Пантелеенко, О. П. Реут, Н. А. Руденская

ГНУ «Институт порошковой металлургии», г. Минск,
Республика Беларусь

УДК 666.762.11.017:539.538

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И ТЕХНОЛОГИЯХ ИЗНОСОСТОЙКОЙ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ: ДЮЗЫ ДЛЯ РИММЕРОВ ПОДЗЕМНОЙ ПРОХОДКИ ГРУНТОВ

С материаловедческих позиций проведен анализ условий и механизмов абразивного разрушения (износа) и синтеза конструкционных керамических материалов. Сформирована логистическая блок-схема физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии в технологии получения абразивно-износостойких материалов, обеспечивающая последовательное превращение и перевод минерального сырья (с физико-химических позиций) в конструкционный материал и изделия (дюзы, сопла) с заданным комплексом свойств.

Ключевые слова: логистическая блок-схема, структурная инженерия, материаловедение, активированные высококонцентрированные керамические вяжущие суспензии (АВКВС), износостойкий материал, дюза, риммер, подземная проходка грунтов.

Актуальность. Разработка эффективных износостойких керамических материалов, работающих в режиме абразивного износа и особенно в экстремальных условиях (давление, температура, агрессивная среда), представляет как научный, так и практический интерес. В горнодобывающей, строительной, машиностроительной и других отраслях успешно проводится замена дорогостоящих высокопрочных легированных конструкционных сталей, в том числе твердых сплавов, на абразивно-износостойкую керамику на основе оксидных и бескислородных соединений.

Цель настоящего исследования — материаловедческая разработка фазовых составов, структуры и свойств износостойких корундовых материалов; создание (с позиций физико-химических процессов и структурной инженерии) технологических решений получения конструкционных износостойких материалов и изделий, в частности абразивно-износостойких дюз для риммеров подземной проходки грунтов и последующей прокладки различных коммуникаций. Объектом исследования служили конструкционные абразивно-износостойкие материалы и изделия на основе корунда, дисперсно-упрочненного MgO , ZrO_2 , частично стабилизированным Y_2O_3 и другими оксидами. Предмет исследования — физико-химические процессы и механизмы

структурной инженерии (принципы управления структурными и энергетическими уровнями) в технологии получения конструкционных износостойких материалов на базе модифицированного $\alpha-Al_2O_3$. Основные задачи исследования:

- анализ условий и механизмов абразивного разрушения и синтеза керамических материалов в рамках программной материаловедческой формулы «состав – структура – свойство» — «абразивно-износостойкий материал» — «абразивное разрушение» — «оптимизация параметров материала»;

- формирование логистической блок-схемы физико-химических подходов и решений в материаловедческих и технологических разработках заданных материалов и изделий с требуемым комплексом свойств;

- разработка физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии в технологии получения дисперсно-упрочненных абразивно-износостойких конструкционных корундовых материалов и дюз (сопла) для риммеров подземной проходки грунтов.

Анализ условий и механизмов абразивного разрушения керамических материалов показал: основной износ (в зависимости от структурной иерархии и ионно-ковалентно-кристаллической компоновки спеченных композиций) возникает и реализуется на атомарном (ионном, ковалентном), нано-, микро-, мезо- и макроуровнях; износ начинается в зонах, имеющих пониженные физико-механические (прочностные) и физико-химические (ионно-ковалентные) межатомные связи; для корунда, использованного в работе, характерны высокие иммунные (природные) уровни твердости, модулей упругости, прочности и др.



В. Т. Шмурадко
E-mail: rectorat@ipk.by

Для оперативного решения поставленных и других задач была разработана логистическая блок-схема (рис. 1), отражающая научную идею и концепцию данного исследования, принципы которой состоят в следующем. Используя: информационные технологии как инструмент и средство базового информационно-аналитического обеспечения проводимой разработки на всех этапах ее исследования; разработанные материалы в рамках материаловедческой методологической программной формулы «состав – структура – свойство» — «конструкционный износостойкий материал» — «абразивное разрушение»; физико-химические процессы и механизмы структурной

инженерии как принципы управления иерархией структурных и энергетических уровней создаваемых материалов; фазовые диаграммы состояния и их анализ как теоретический информационно-аналитический источник прогнозирования химического и структурно-фазового составов проектируемых (создаваемых) материалов, представляющие инструмент для проектирования и разработки температурно-временных диаграмм тепловой обработки и спекания износостойких и других керамических материалов; компьютерное моделирование как оперативное средство анализа, прогнозирования, проектирования и расчета материаловедческих и технологиче-

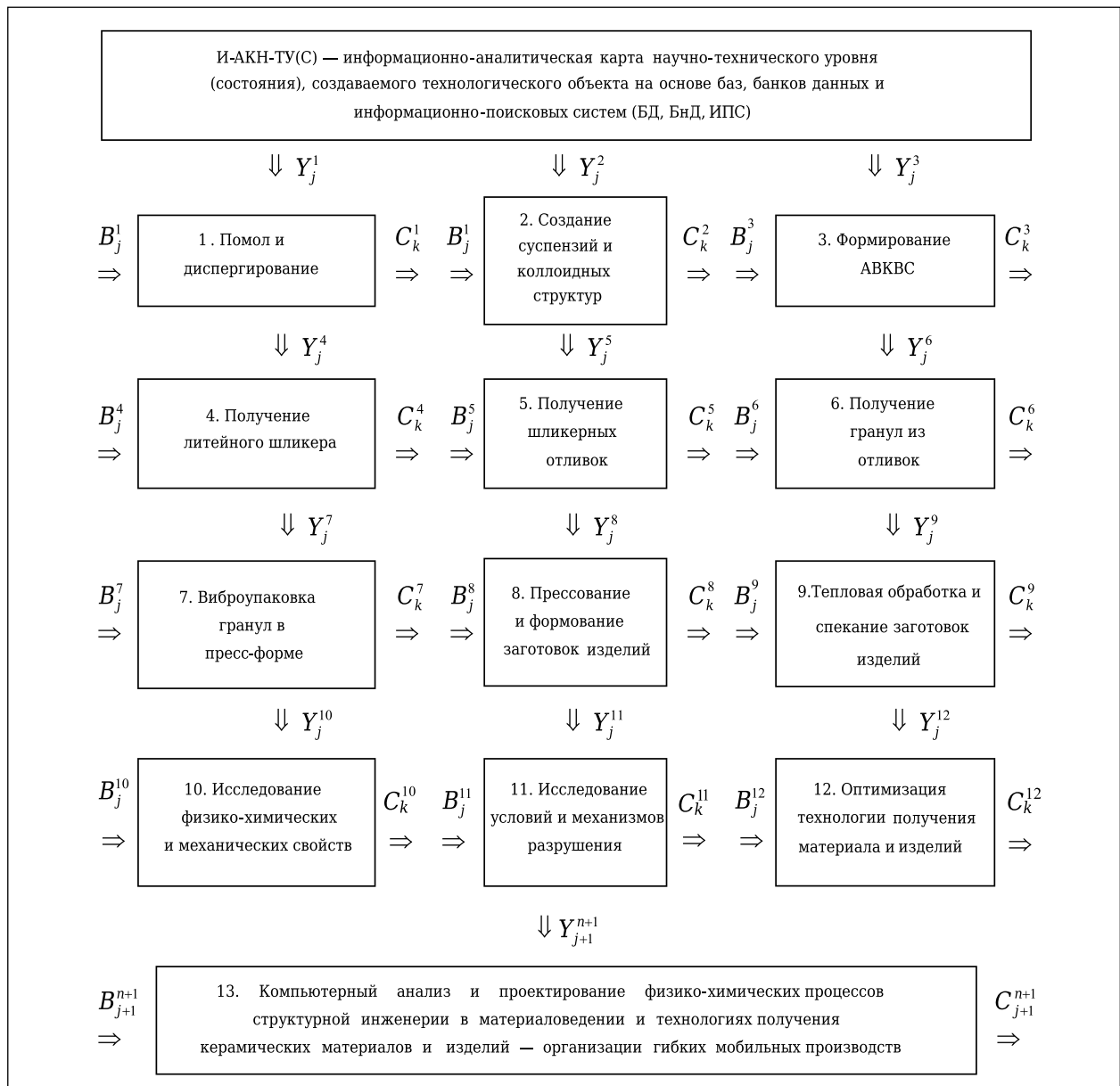


Рис. 1. Логистическая блок-схема системно-дифференцированного исследования, компьютерного анализа и проектирования физико-химических процессов структурной инженерии в материаловедении и технологиях получения керамических материалов и изделий и создания гибких мобильных производств; АВКВС — активированные высококонцентрированные вяжущие суспензии. Технологические параметры: B_j — входящие; Y_j — управляющие; C_k — выходящие

ских режимов и параметров получения состава, структуры и свойств создаваемых материалов, разработать материаловедческие и технологические основы физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии получения дисперсно-упрочненных конструкционных износостойких корундовых материалов и изделий и производств на их основе.

Такая логистическая блок-схема, базируясь на физико-химических принципах создания заданных материалов, представляет комплексную динамику материаловедческо-технологического подхода и превращения минерального сырья в керамические материалы и изделия с заданным набором функциональных свойств. Блок-схема включает фундаментальный, прикладной и практический аспекты исследования и превращения порошковых керамических композиций в материалы и изделия из технической керамики.

Программной формулой операционно-логистической блок-схемы является: создание «дисперсионно-дисперсных систем» — разработка и проектирование на базе материаловедческой программной формулы «состав — структура — свойство» — «заданный материал» — «технологии создания материала и изделия»; применение и выполнение «компьютерного анализа, моделирования и проектирования физико-химических процессов создания абразивно-износостойких материалов — технологии материала и изделия»; «анализ эксплуатационного разрушения керамического объекта» — «оптимизация технологий материала и изделия»; «разработка, проектирование и создание гибких мобильных инновационных керамических производств».

Дифференцируя в рамках операционно-логистической блок-схемы физико-химические процессы и механизмы с позиции структурной инженерии материалов и изделий, формируются конкретные направления фундаментальных (теоретических), прикладных (отраслевых) и практических (опытно-экспериментальных) исследований и разработок в области технической керамики. Фундаментальные и прикладные исследования в рамках программной материаловедческой формулы «состав — структура — свойство» — «заданный материал» проводятся с позиций физической и коллоидной химии; анализа механики сплошных и дискретных сред при прессовании; анализа фазовых диаграмм состояния, химической кинетики и химической термодинамики при спекании. Это позволяет отследить и установить роль и поведение дисперсионно-дисперсных (золь-коллоидных) и микро- и макроразмерных керамических систем в технологии жидкостной трибохимической обработки порошков при получении суспензий, литейных шликеров и отливок, а также при их сушке, гранулировании, прессо-

вании, тепловой обработке, спекании и синтезе новых материалов.

Методики исследования и материалы. Исследование и разработка, диагностика и анализ параметров физико-химических процессов материаловедческого и технологического превращения модифицированного корунда в конструкционный износостойкий материал выполнены на двух исходных составах: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{MgAl}_2\text{O}_4$ (M1); $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, частично стабилизированный Y_2O_3 (M2), в которых в качестве лигатур-модификаторов применяли оксиды MgO , ZrO_2 , Y_2O_3 , а в качестве исследовательского помольного оборудования керамический атриттор А-3, обеспечивающий трибохимический помол-диспергирование и модифицирование оксидами порошкового $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Суспендирование — наработку золевых наноразмерных химических соединений и коллоидных частиц — выполняли путем перемешивания и одновременного взаимодействия оксидов с кислотнo-щелочными дисперсионными средами. Стабилизацию и получение литейных шликеров выполняли в лопастном смесителе. Ротационный конусный вискозиметр использовали для измерения вязкости шликеров, микропроцессорный рН-метр (рН 150М) — для оперативного измерения активности ионов водорода рН в кислых и щелочных средах, контроля окислительно-восстановительных потенциалов и температур, возникающих в создаваемых АВКВС и шликерах. Из шликера в гипсовых формах получали отливки; гранулирование осуществляли через сито с ячейкой 1 мм². Гранулированные засыпки прессовали на гидравлическом прессе и изостате, спекание выполняли в высокотемпературной печи «Termkonzept-1800». Физико-механические свойства исследовали на разрывной машине «Instron». Состав и структуру материалов исследовали методами МРСА и РФА, при помощи оптической, рентгеновской спектроскопии, дифрактометрии и термического анализа, ИК-спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния.

В рамках разработанных физико-химических процессов технологического структурирования и получения заданных материалов созданы:

- процессы и механизмы сухого и жидкостного помола минерального сырья; установленные реологические (структурно-механические) законы и закономерности образования дисперсионно-дисперсных систем на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях [(1–10) ÷ (100–500) нм — (1–10) мкм — (10–100) мкм — (0,1–1) мм], представляющих в дальнейшем АВКВС, реализуемые в технологии получения шликерных отливок, а затем из них порошковых гранул, прессовок и спеченных изделий;

- процессы и механизмы, законы и закономерности получения регулируемых упаковок в

гранулах из нано-, микро-, мезо- и макрочастиц; упаковок из гранул в технологических засыпках и вибросасыпках в пресс-формах;

- процессы и механизмы, законы и закономерности статического и сухого изостатического формования и прессования гранулированных порошковых полиструктур;

- с позиции физической химии установлены законы и закономерности процесса и механизмов тепловой обработки и спекания спрессованных заготовок. При спекании отслеживалась динамика превращения структурной морфологии пористых керамических тел в беспористые или с регулируемой пористостью материалы. С позиций химической кинетики и химической термодинамики проанализированы механизмы тепловой обработки и спекания на уровне диффузионно-вязкого течения и механизмов термодиффузии, что представляет собой фундаментальный и прикладной аспекты изучения процесса спекания керамических гетерофазных и полиструктурных композиций;

- согласно анализу одно- и трехфазовых диаграмм состояния, являющихся частью теоретических основ создания новой керамики, на базе исследований текущей структурной технологической морфологии, РФА и МРСА спеченных композиционных материалов разработаны температурно-временные диаграммы тепловой обработки и спекания проектируемых материалов и изделий с заданным набором свойств;

- программное обеспечение и компьютерный анализ физико-химических процессов структурной инженерии в материаловедении и технологии получения керамических объектов создали условия и обеспечили эффективные решения научно-практических разработок и текущих технологических задач, направленных на проектирование и организацию производства технической керамики.

Направленный синтез конструкционных износостойких материалов на основе дисперсно-упрочненного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, модифицированного MgO , ZrO_2 , частично стабилизированного Y_2O_3 и другими оксидами, представляет операционно-динамическую схему физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии в технологической обработке и физико-химическом превращении исходных порошковых композиций.

Анализ превращения модифицированного корунда в абразивно-износостойкий материал (прикладной аспект исследования) выполняется с позиций: физической и коллоидной химии; трибохимической обработки водных порошковых суспензий в атриторах; физической химии (химической кинетики и химической термодинамики) спекания; анализа фазовых диаграмм состояния $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$; с использованием компьютерного моделирования на всех этапах превращения сырья в функциональную керамику.

Согласно вышеизложенному, по аналитическим и экспериментальным результатам исследования сформирован материаловедческий аспект разработки в рамках программно-методической формулы «фазовый состав – иерархия структурных уровней – свойство» — «конструкционный износостойкий корундовый материал».

Основными этапами методической схемы материаловедческого и технологического подходов к исследованию и созданию корундового износостойкого материала и изделий являются: диспергирование — жидкостной помол корундовых композиций — создание АВКВС с pH создаваемых шликерных сред 1,5–3 или 9–9,5 и содержащих твердую фазу из частиц на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях; шликерное литье и сушка отливок; гранулирование полученных отливок до конгломератов менее 1 мм; изучение режимов виброуплотнения и прессования гранульных упаковок в диапазоне давления 50–300 МПа; исследование тепловой обработки и спекания корундовых композиций в интервале 1600–1800 °С с последующей разработкой температурно-временных диаграмм спекания конструкционных абразивно-износостойких дисперсно-упрочненных (MgO , ZrO_2 , частично стабилизированным Y_2O_3) корундовых материалов.

Выполненные исследования по созданию износостойких корундовых материалов при помощи компьютерного моделирования повысило эффективность материаловедческих и технологических разработок, ускорило реализацию технологического получения абразивно-износостойких дюз на основе дисперсно-упрочненного $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, легированного MgO (материал М1) и ZrO_2 (материал М2).

Результаты исследования. Используя разработанные принципы управления структурными уровнями, в рамках программной материаловедческой формулы «состав – структура – свойство» — «заданный материал», сформировали физико-химические подходы к синтезу износостойких корундовых материалов с добавками-модификаторами. Созданы базовые составы износостойких материалов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ (М1), $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ (М2), заменившие твердосплавные. На их основе получены АВКВС, литейные шликеры, отливки, механолегированные ультрадисперсные и гранулированные пресс-порошки (рис. 1–3). Исследованы процессы и механизмы прессования гранул при 50–300 МПа и процессы тепловой обработки и спекания заготовок в диапазоне 24 — 1600–1700 — 1800 °С. Установлены и обоснованы закономерности фазовых переходов моноклинного (*m*) ZrO_2 в тетрагонально-кубические фазы (*t-c*) ZrO_2 и наоборот в корундовой матрице ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) при нагреве и скоростном охлаждении оксидной композиции

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$. Проведен анализ механизмов дисперсного упрочнения корундовой матрицы ультрадисперсными частицами (30–100 нм) ZrO_2 , частично стабилизированного Y_2O_3 , по температурной схеме: 24 °С — нагрев → 1800 °С → охлаждение → 24 °С. Установлено, что механизмы дисперсного упрочнения наиболее эффективно выполняются при введении в корундо-

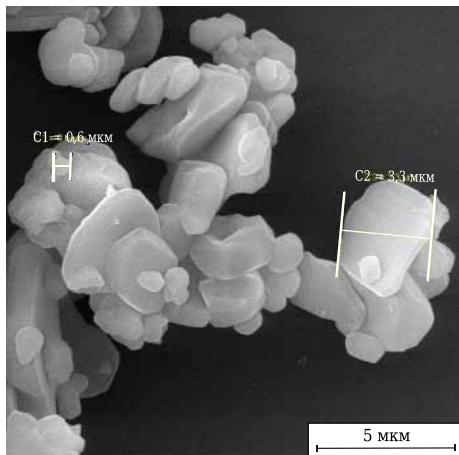


Рис. 2. Топография порошка $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ после жидкостного помола

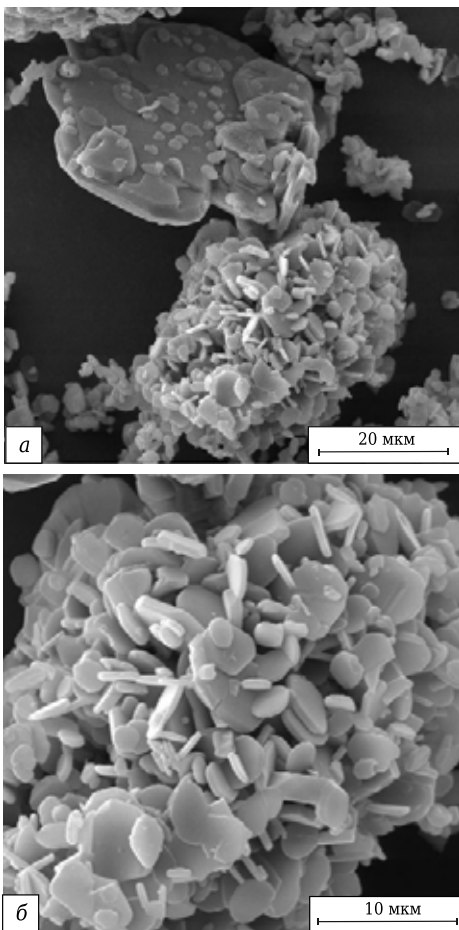


Рис. 3. Топография гранул (а, б), полученных из шликерных отливок

вую матрицу частиц ZrO_2 размерами 75–95 нм. Разработаны температурно-временные режимы (диаграммы) спекания дисперсно-упрочненных корундовых материалов (рис. 4). Исследованы их физико-механические свойства (рис. 5). Изготовлены экспериментальные образцы (рис. 6) абразивно-износостойких дюз (сопла) для риммеров подземной бестраншейной проходки грунтов путем создания канала, его бетонирования и последующей прокладки кабельных коммуникаций в промышленно-городских условиях. Проведены натурные испытания экспериментальных образцов. Результаты положи-

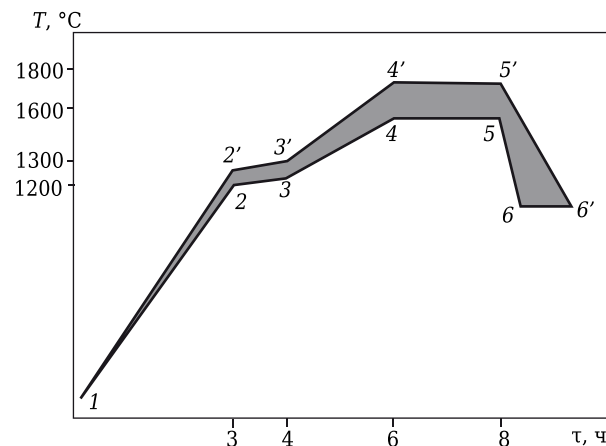


Рис. 4. Температурно-временная диаграмма спекания дисперсно-упрочненных корундовых материалов $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (M1) и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, частично стабилизированный Y_2O_3 (M2)

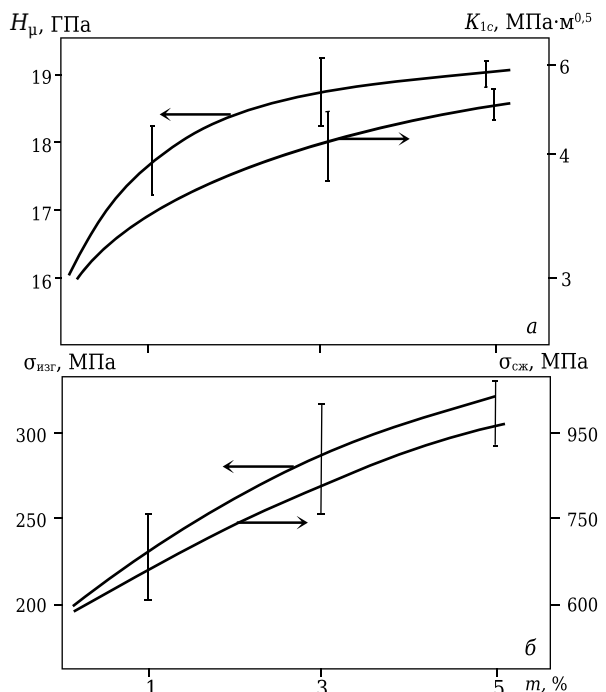


Рис. 5. Зависимости микротвердости H_μ и трещиностойкости K_{1c} (а), а также пределов прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ и сжатии $\sigma_{сж}$ (б) корундового дисперсно-упрочненного материала (M2) от массовой содержания m частиц < 500 нм

Свойства разработанных материалов

Характеристика	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	MgAl_2O_4	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{MgAl}_2\text{O}_4$ (M1)	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ (M2)
Плотность, г/см ³	3,98–4,0	3,58	3,94	4,25–4,33
Пористость, %	–	–	< 1	0,5–1,0
Трещиностойкость K_{Ic} , МПа·м ^{0,5}	3,6–4,6	1,8–2,0	3,5–5,6	6,6–7,4
Модуль упругости E , ГПа	399–410	–	391–398	385–395
Микротвердость H_v , ГПа	21,0	15,30	19,7–20,0	15,1–17,7
Прочность, МПа:				
$\sigma_{сж}$	–	–	636–689	980–993
$\sigma_{изг}$	–	–	236–274	516–598
Износостойкость $K_{изн}$, 10 ⁻⁶ г/ч	5,5	5,10	4,3–5,0	3,5–4,3



Рис. 6. Дюзы для риммеров подземной проходки грунтов

тельные. Свойства разработанных материалов приведены в таблице.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформирована научно-практическая операционно-логистическая блок-схема комплексного системно-дифференцированного исследования и разработки, анализа и проектирования физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии в материаловедении и технологии создания конструкционных износостойких материалов и изделий и гибких мобильных производств.

Согласно проведенному теоретическому анализу обоснованы условия применения законов и закономерностей физической и коллоидной химии в физико-химических процессах трибохимического помола и диспергирования, легирования и активирования дисперсионно-дисперсных систем на основе Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 , частично стабилизированного Y_2O_3 , в кислотных или щелочных дисперсионных и других средах. Изучены процессы и механизмы сухого и жидкостного (трибохимического-механохимического) помола и модифицирования $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ другими оксидами.

В рамках разработанной операционно-логистической блок-схемы с позиций материаловедческой программной формулы «фазовый состав – иерархия структурных уровней – свойство» — «дисперсно-упрочненный износостойкий материал», перетекающей в технологическую формулу (стадию) создания «АВКВС – литейный шликер» — «шликерная отливка» — «гранулированные структуры – объемная

упаковка гранул – прессовка» — «тепловая обработка – спекание материала и изделия», исследованы и технологически реализованы физико-химические процессы и механизмы структурной инженерии на технологических этапах превращения корундовых порошков в конструкционные износостойкие материалы. Исследованы реологические (структурно-механические) и технологические свойства АВКВС, условия их превращения в заданные технологические литейные шликеры, шликерные отливки, гранулы, объемные гранульные упаковки, прессовки, спеченные материалы и изделия.

Проведен системно-дифференцированный анализ превращения техногенного корундового сырья в конструкционный износостойкий материал; при этом получены следующие технологические показатели процесса переработки корунда в базовые материалы М1 и М2:

- жидкостной механохимический (трибохимический) помол оксидов и создание АВКВС и литейного шликера выполняли при рН 1,2–1,7 (кислая среда) и рН 9–10,5 (щелочная). Достигнутая дисперсность твердой фазы (1–10) ÷ (100–300) нм представляет собой намот и образование золь-коллоидных частиц на основе ионов металла оксидов и комплексных ионов кислотных и гидроксильных групп, солей, наноразмерных от помола оксидов, совместно представляющих АВКВС. Причем кислый литейный шликер формировался при помоле и диспергировании порошковых композиций в 1–4-нормальном растворе HCl . Суспензионный эффект (СЭ), возникающий при намол и суспендировании нано- и микрочастиц, с образованием при этом других химических объединений в виде золь и с увеличением их концентрации, составил $\Delta\text{pH} = 1,35 \div 5,7$ при изменении рН в пределах 1,5–6; с ростом количества золя СЭ увеличивалось и количество связанной воды;

- дисперсность твердой фазы и ее фракционные отношения в литейном шликере составили: 0,01–0,5 мкм 3–5 мас. %, 0,5–1 мкм 75–80 мас. %, более 1 мкм 17–20 мас. %;

- оптимальная вязкость литейных шликеров для М1 и М2 0,05–0,2 Па·с при относительной плотности системы 0,6–0,78;

- кажущаяся плотность шликерных отливок для М1 составила 2,32–2,8 г/см³, относительная

плотность 58–70 %, $\sigma_{сж} = 3 \div 10$ МПа, $\sigma_{изг} = 1 \div 3$ МПа; отливок для М2 соответственно 2,54–3,01 г/см³, 60–71 %, 4,3–11,7 МПа и 1,6–3,6 МПа;

– характеристики гранулированных упаковок до и после виброуплотнения, включая прессование: относительная плотность гранул 58–71 %, засыпок из них до виброуплотнения 53–66 %, после виброуплотнения 55–69 %, после прессования 83–85 %;

– свойства спеченных материалов М1 и М2 приведены в таблице.

Согласно выполненным исследованиям и полученным результатам изготовлены и испытаны экспериментальные образцы износостойких дюз, которые успешно (в рамках контрактов) заменили твердосплавные в риммерах подземной проходки (проколки) грунтов, бетонирования ка-

налов для последующей прокладки различных масштабных водо- и газопроводов, кабельных электро-, теле-, радиокоммуникаций и т. д.* ■

Получено 07.04.16

© В. Т. Шмурадко, Ф. И. Пантелеенко,
О. П. Реут, Н. А. Руденская, 2016 г.

* Разработка высокопрочных триботехнических материалов на основе корунда, модифицированного оксидами редкоземельных элементов и технологических основ создания эффективных материалов и изделий на уровне гибких мобильных конкурентоспособных производств : отчет о НИР (заключительный) / Филиал БНТУ «ИПК и ПК БНТУ»; рук. Н. А. Руденская, исполн. В. Т. Шмурадко [и др.]. — Минск, 2015. — 126 с. № ГР 20142532 от 10.10.2014.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Ростех
РТ Химкомпозит

XXI международная научно-техническая конференция:
**«Конструкции и технологии получения изделий
из неметаллических материалов»**

5–7 октября 2016 г.

г. Обнинск



Уважаемые коллеги!

Приглашаем вас принять участие в XXI международной научно-технической конференции, которую проводит ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина.

Адрес: г. Обнинск, ул. Курчатова, д. 21, помещение НОУ ДПО «ЦИПК».

Основные тематические направления:

1. Полимерные композиционные материалы и конструкции
2. Керамика со специальными свойствами
3. Стекло и оптические покрытия
4. Ремонт конструкций из полимерных композиционных материалов
5. Управление инновационными процессами

Тезисы докладов будут опубликованы в сборнике трудов конференции.

Технические секретари:

- Тел. (484)399-67-55 – Климакова Любовь Анатольевна (секция 1)
Тел. (484)399-68-87 – Куликова Галина Ивановна (секция 2)
Тел. (484)399-67-12 – Каплунова Алла Михайловна (секция 3)
Тел. (484)399-67-89 – Соколова Александра Владиславовна (секция 4)
Тел. (484)399-65-63 – Петракова Екатерина Сергеевна (секция 5)

Регистрационный взнос участника конференции 3000 руб.,
для учащихся школ и вузов участие бесплатное.

Для участия в конференции необходимо до 15 июня 2016 г. направить в адрес оргкомитета заявку на участие в конференции и тезисы докладов.

Подробная информация размещена на сайте www.technologiya.ru



К. т. н. **К. И. Иконников**¹ (✉), к. т. н. **А. А. Кондрукевич**¹,
к. т. н. **Н. С. Съёмщиков**¹, д. х. н. **А. В. Беляков**², к. х. н. **М. Л. Косточка**³

¹ ООО «ВПО Сталь», г. Одинцово Московской обл., Россия

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

³ АНО «Центр химических экспертиз», Москва, Россия

УДК 621.742.48:666.762.32.094.3

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СВЯЗКЕ ПРИ ОКИСЛЕНИИ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ*

Приведены результаты исследований изменения структуры связки в периклазоуглеродистых огнеупорах при их термообработке в окислительной среде. После полного выгорания при 1000 °С углерода, скрепляющего зерна периклаза, снижение прочности огнеупора при сжатии, измеренной при комнатной температуре, составило 64 % от исходной, но изделие не рассыпалось. Роль связки при этом играла неорганическая химическая связка, состоящая из высокодисперсных силикатов кальция и железа и тонкой фракции твердых растворов оксидов магния, кальция и железа. Полученные результаты позволят надежнее прогнозировать изменение свойств огнеупоров при службе, исходя из применяемых сырьевых компонентов.

Ключевые слова: периклазоуглеродистые (ПУ) изделия, углеродсодержащие компоненты (УК), связка, чешуйчатый графит, периклаз, сталеразливочный ковш.

В настоящее время широко изучены механизмы взаимодействия углеродсодержащих компонентов (УК) с основной фазой в периклазоуглеродистых (ПУ) материалах. Согласно многочисленным источникам [1–4] их роль заключается в предотвращении инфильтрации шлака в огнеупорный материал, поскольку УК обладают низкой смачиваемостью шлаком. Газообразные продукты окисления углерода заполняют поры и создают противодавление, препятствуя проникновению шлака. Восстановление оксида магния до металла или летучих субоксидов дополнительно увеличивает давление газа в порах изделия. Вместе с тем на границе между слоем шлака и не измененными по фазовому составу участками ПУ-изделия установлено образование плотного слоя вторичного MgO [1, 2]. Благодаря газотранспортным реакциям магний и его летучие субоксиды переносятся в более холодный слой ПУ-изделия, окисляются до MgO кислородом воздуха, проникающим с внешней стороны огнеупора. Оксид магния выделяется в порах ПУ-огнеупоров, образуя в них плотный

слой, препятствующий проникновению к границе с расплавом шлака кислорода воздуха. Следует отметить также, что введение графита существенно повышает термостойкость MgO–C изделий.

Согласно данным [3, 4] установлено, что в процессе термообработки ПУ-материалов происходит частичное коксование углеродсодержащих компонентов с образованием каркаса, связывающего зерна MgO. Однако это не в полной мере отражает механизмы структурообразования в ПУ-огнеупорах. В последнее время на многих металлургических предприятиях наметились тенденции перехода от футеровки рабочего слоя дна сталеразливочного ковша из штучных огнеупоров к монолитной футеровке [5]. Это повлекло за собой более длительный разогрев агрегата газовыми горелками, что приводит к глубокому обезуглероживанию (окислению) поверхностного слоя оксидно-углеродистых огнеупоров, вызывая повышенный износ и снижая ресурс рабочего слоя футеровки.

При анализе влияния качества, количества чешуйчатого углерода и соотношения антиокислительных добавок на толщину обезуглероженного слоя было замечено, что даже при достаточно глубоком выгорании УК огнеупорное изделие сохраняет свою целостность (рис. 1, а), в том числе при существенных механических нагрузках. На рис. 1, а показан внешний вид изделий после термообработки на воздухе, на рис. 1, б — разрез изделий, в поверхностных областях которых углерод уже выгорел, а в цен-

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (7–8 апреля 2016 г., Москва).



К. И. Иконников
E-mail: elendevel@gmail.com

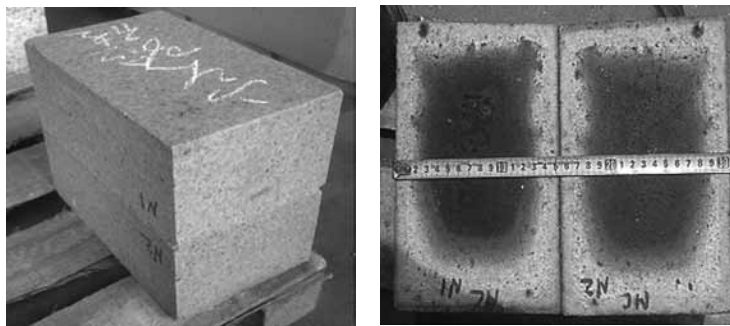


Рис. 1. Вид ПУ-изделий после термообработки в окислительной среде

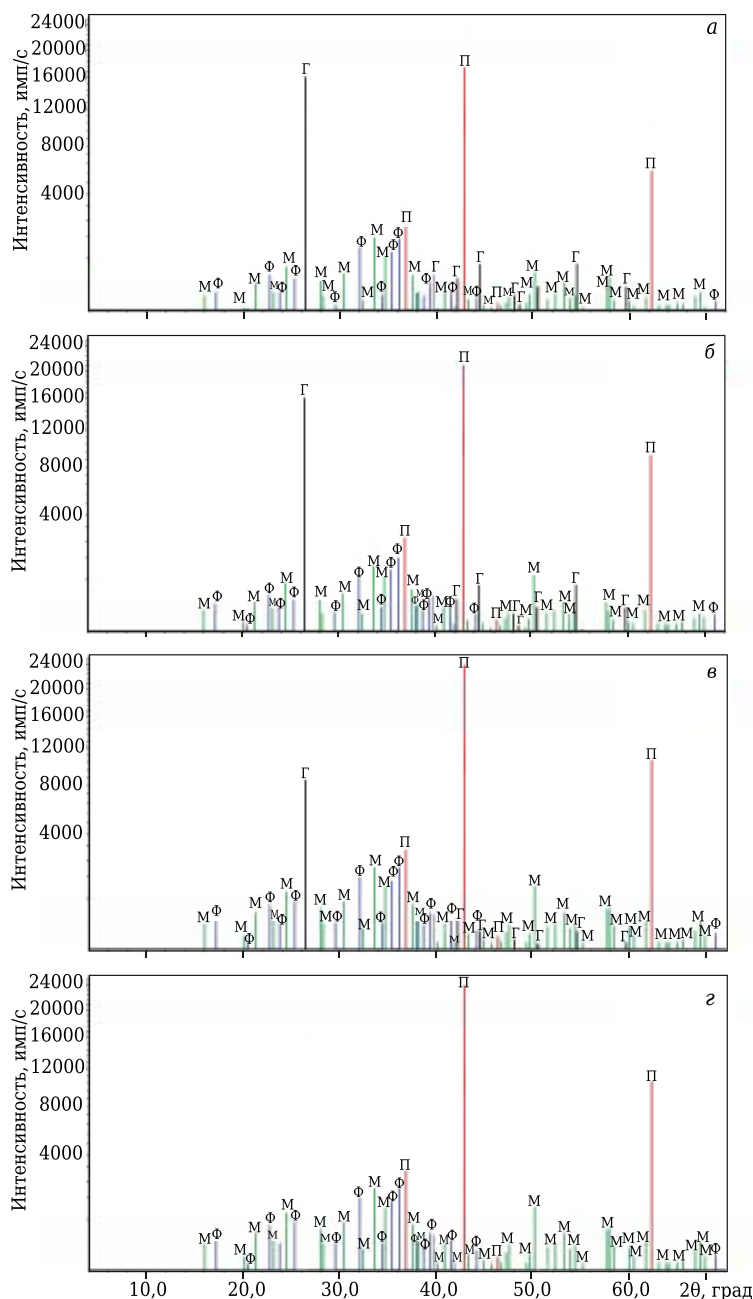


Рис. 2. Результаты РФА образцов при 20 °C (а) и термообработанных на воздухе при 260 (б), 600 (в) и 1000 °C (г): П — периклаз; М — монтичеллит; Ф — форстерит; Г — графит

тральных, имеющих более темную окраску, еще сохранился.

В настоящей работе был проведен комплекс исследований, направленных на установление природы и характера физико-химических процессов, происходящих в структуре ПУ-огнеупоров после их термообработки в воздушной среде. Исследования включали качественный и количественный химический анализ, рентгенофазовый анализ (РФА), дифференциально-термические (ДТА), петрографические и микроскопические исследования, в том числе с использованием растровой электронной микроскопии. Из ПУ-огнеупоров, применяемых для шлакового пояса сталеразливочного ковша, были вырезаны образцы в форме кубиков с размером ребра 50 мм, которые прокаливали на воздухе при 260, 600 и 1000 °C (скорость нагревания 2 °C/мин, выдержка при конечной температуре 3 ч). Кроме того, у этих образцов определяли пикнометрическую плотность и предел прочности при сжатии.

В образцах, прокаленных при 1000 °C в окислительной среде в течение 3 ч, наблюдали полное выгорание чешуйчатого графита, о чем свидетельствуют результаты РФА образцов, прокаленных при различных температурах (рис. 2), и данные рентгенофлуоресцентного анализа, потерь при прокаливании $\Delta m_{\text{прк}}$ (табл. 1). При переходе от рис. 2, а к рис. 2, в пики, относящиеся к углероду, уменьшаются, а на рис. 2, г — отсутствуют. Химический состав образца, прокаленного при 1000 °C (в пересчете на оксиды), %: MgO 79,47, Al₂O₃ 2,24, SiO₂ 1,69, K₂O 0,05, CaO 1,02, TiO₂ 0,02, MnO 0,048, Fe₂O₃ 0,52, P₂O₅ 0,07, SO₃ 0,04, $\Delta m_{\text{прк}}$ 15,03. На кривой ДТГ при 260 °C наблюдали потери массы, что может быть связано с удалением влаги. Потери массы около 600 °C могут быть связаны с выгоранием временной технологической связки и частичным обезуглероживанием, при 1000 °C — удалением оставшихся УК. Данные по $\Delta m_{\text{прк}}$, результаты рентгенофлуоресцентного анализа и РФА подтверждают полное удаление всего углерода после термообработки при 1000 °C.

Предел прочности при сжатии исследованных образцов (табл. 2) после термообработки снижается относительно низкотемпературной прочно-

сти: на 44 % после термообработки при 600 °С и на 64 % при 1000 °С. Это вызвано выгоранием УК, скрепляющих зерна периклаза, а также связанным с этим увеличением пористости. Однако следует отметить, что образцы сохраняют свою форму и разрушаются только при существенных механических нагрузках. Это свидетельствует о том, что связка огнеупора состоит не только из УК.

По результатам петрографии и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) установлено, что прокаливание в интервале 260–1000 °С не приводит к существенному изменению габитуса зерен различных размеров (рис. 3, а–з). Наблюдается агрегирование мелких зерен (<5 мкм), как расположенных на поверхности более крупных кристаллов (>40 мкм), так и представленных са-

Таблица 1. Потери массы при прокаливании образцов ПУ-огнеупора в воздушной среде в зависимости от конечной температуры термообработки $T_{\text{кон}}$

$T_{\text{нач}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{кон}}, ^\circ\text{C}$	Время, ч	$\Delta m_{\text{прк}}, \%$
20	260	4	0,73
260	600	4	4,49
600	1000	4	9,37

Таблица 2. Прочность образцов после термообработки на воздухе при различных температурах

Номер образца	Предел прочности при сжатии образцов, МПа			
	нетермообработанных	термообработанных		
		при 260 °С	при 600 °С	при 1000 °С
1	43,8	39,1	24,6	15,8
2	46,7	45,3	26,4	13,2
3	40,8	43,6	22,6	18,2
Среднее значение	43,8	42,7	24,6	15,7

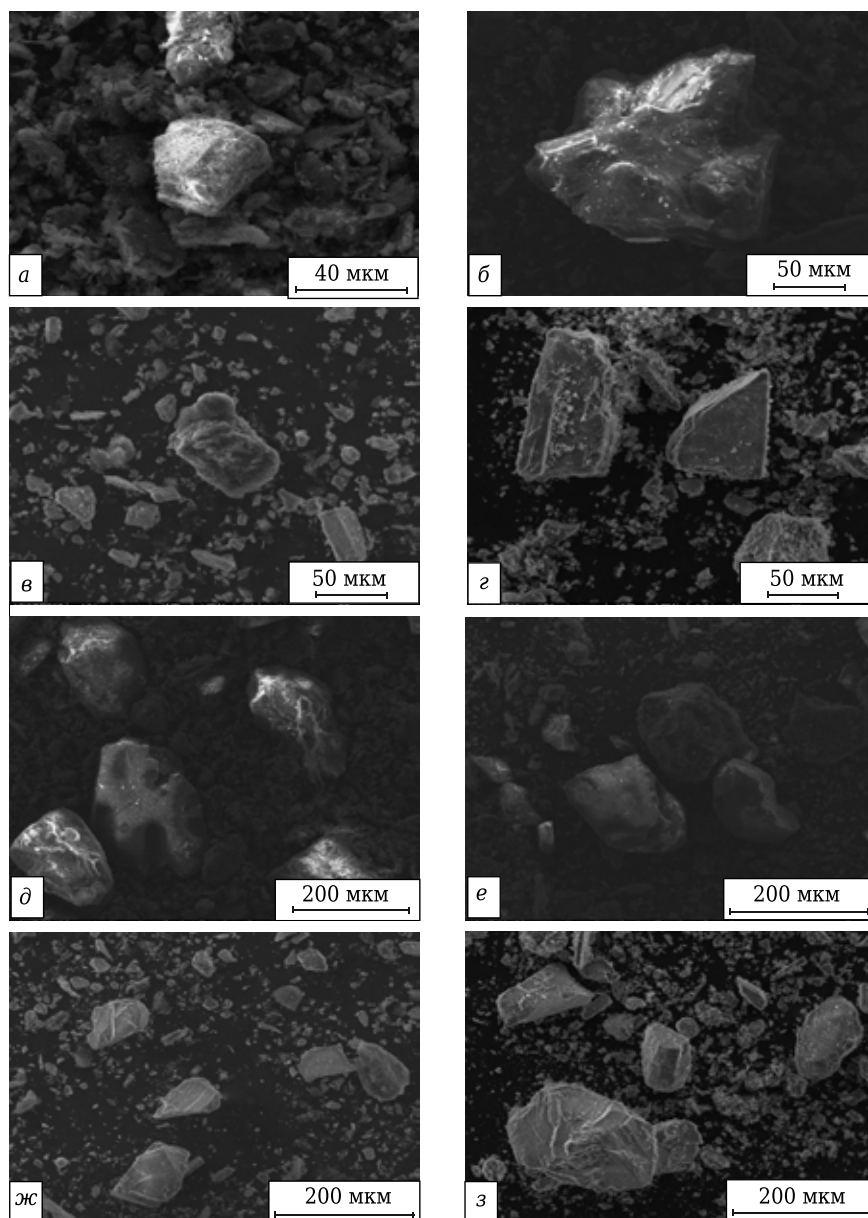


Рис. 3. СЭМ-фотографии образцов при 20 °С (а) и термообработанных на воздухе при 260 (б), 600 (в) и 1000 °С (з) (скорость нагревания 2 °С/мин): а–з — $\times 1000$; д–з — $\times 500$

мостоятельно (рис. 3, д–з). Количество фракции мельче 5 мкм составляет около 5 мас. %.

Установлено, что после выгорания углерода неорганическая химическая связка, скрепляющая крупные зерна периклаза, представлена многокомпонентной системой. Связка представлена тонкой фракцией периклаза, входящего в твердый раствор $Mg_{1-x}(Ca,Fe)_xO$, и тонкодисперсной фракцией силикатов $(Mg_{1-x}Fe_x)SiO_4$ и $CaMgSiO_4$, содержание которых по данным РФА составляет 3–5 мас. %. Образование силикатов может быть вызвано применением связок на основе кремнезоля или жидкого стекла с повышенным содержанием SiO_2 .

Присутствующая в огнеупоре неорганическая химическая связка соединяет крупные зерна периклаза и предотвращает разрушение огнеупоров даже после их полного обезуглероживания в воздушной среде. При этом неорганическая химическая связка имеет природу, не связанную с углеродсодержащими компонентами. Таким образом, связывание крупных зерен периклаза происходит не только под действием углеродистого компонента огнеупора, но и неорганической химической связкой. При комнатной и невысоких температурах основной вклад в прочность оксидно-углеродистого огнеупора вносит углеродсодержащая связка. При высоких температурах, особенно после полного выгорания углерода, прочность огнеупора обеспечивает неорганическая химическая связка, включающая высокодисперсные компоненты основной оксидной фазы и присутствующие в ней примеси. Для исследованной системы (ПУ-огнеупоров) неорганическая связка состоит преимущественно из тонкодисперсных твердых растворов $Mg_{1-x}(Ca,Fe)_xO$ и тонкодисперсных фракций силикатов, представленных $(Mg_{1-x}Fe_x)SiO_4$ и $CaMgSiO_4$. При относительно низкой температуре (1000 °C) упрочнению неорганической химической связки и ее контактов с крупными зернами периклаза, видимо, способствуют окислительно-восстановительные реак-

ции в оксидах металлов, связанные с углеродом и монооксидом углерода. Образующиеся субоксиды металлов могут давать с другими компонентами связки легкоплавкие эвтектики. Несмотря на то, что субоксиды являются летучими, они успевают ускорить диффузионный массоперенос и упрочнение материала. В дальнейшем субоксиды либо улетучиваются, либо при достаточном парциальном давлении кислорода снова превращаются в оксиды и поэтому не ухудшают драматически высокотемпературные свойства огнеупоров. Хотя прочность огнеупора после полного выгорания углерода значительно понижается (почти в 2 раза по сравнению с прочностью исходных), ее достаточно, чтобы огнеупор сохранял свою форму. Знание принципов и механизмов структурообразования в ПУ-изделиях в процессе их службы и выгорания углерода позволит надежнее прогнозировать изменение свойств огнеупоров при службе, исходя из природы заложенных в них сырьевых компонентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После удаления термообработкой на воздухе при 1000 °C всех углеродсодержащих компонентов из периклазоуглеродистых огнеупоров они не рассыпались и сохранили 36 % своей исходной прочности.

2. Прочность периклазоуглеродистых огнеупоров обеспечивает не только присутствие углеродсодержащих компонентов, но и неорганическая химическая связка, состоящая из тонкой фракции твердых растворов $Mg_{1-x}(Ca,Fe)_xO$ и тонкодисперсных фракций силикатов $(Mg_{1-x}Fe_x)SiO_4$ и $CaMgSiO_4$, содержание которых по данным РФА составляет 3–5 мас. %.

3. При низких температурах прочность периклазоуглеродистых огнеупоров определяется преимущественно присутствием углеродсодержащих компонентов, а после их удаления — неорганической химической связкой.

Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Оксидноуглеродистые огнеупоры / И. Д. Кащеев. — М. : Интермет Инжиниринг, 2000. — 256 с.
2. **Елютин, В. П.** Взаимодействие окислов металлов с углеродом / В. П. Елютин, Ю. А. Павлов, В. П. Поляков, С. Б. Шеболаев. — М. : Металлургия, 1976. — 360 с.
3. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров : уч. пособие / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
4. **Hampel, M.** Carbon-bonded refractories — characterization of interaction between binder and

graphite : 49th International colloquium on refractories. Proceedings / M. Hampel, C. G. Aneziris // Stahl and Eisen. — 2006. — № 7/8. — S. 21–25.

5. **Съёмщиков, Н. С.** Разработка футеровки сталеразливочных ковшей (обзор опыта работы) / Н. С. Съёмщиков, А. А. Кондрукевич, К. Н. Бельмаз // Новые огнеупоры. — 2013. — № 7. — С. 3–9. ■

Получено 26.05.16

© К. И. Иконников, А. А. Кондрукевич,
Н. С. Съёмщиков, А. В. Беляков,
М. Л. Косточка, 2016 г.

Шероховатость высокотвердой керамики

Д. Т. Н. В. В. Кузин (✉), к. т. н. С. Ю. Фёдоров

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

УДК 666.3:546.623-31]:[621.923.4:621.921.34

ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ С СОСТОЯНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ Al_2O_3 -КЕРАМИКИ

Приведены результаты исследования влияния режимов плоского шлифования алмазными кругами на состояние поверхности Al_2O_3 -керамики. Установлена взаимосвязь глубины шлифования, продольной и поперечной подач с шероховатостью, волнистостью и морфологией обработанной поверхности.

Ключевые слова: шлифование, керамика, обработанная поверхность, шероховатость, волнистость, морфология поверхностного слоя керамики.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационные свойства машин определяются условиями контактного взаимодействия узлов и деталей [1]. Трибологические свойства, износостойкость, усталость деталей, а также контактная жесткость и герметичность соединений в узлах машин зависят от состояния поверхностей изготовленных деталей [2, 3]. Их геометрические параметры, шероховатость, волнистость и отклонение от идеальной геометрической формы, формирующиеся в процессе изготовления, определяют важность задачи обеспечения необходимого качества деталей. Решение этой задачи приобретает особую актуальность при изготовлении деталей из разных керамических материалов [4, 5]. Это связано прежде всего с ограниченностью технологических методов, пригодных для обработки высокотвердой керамики, а также со спецификой процесса снятия припуска, в котором одновременно участвуют механизмы хрупкого и пластического разрушения [6, 7].

В МГТУ «Станкин» проведен комплекс исследований по выявлению взаимосвязи режимов шлифования с состоянием поверхности образцов разных керамических материалов. Результаты этих исследований будут представлены в цикле статей под рубрикой «**Шероховатость высокотвердой керамики**». Первая статья посвящена обработке керамики на основе оксида алюминия, широко используемой для изготовления деталей, крайне востребованных в многих областях применения.

Исследованию процесса шлифования алмазными кругами Al_2O_3 -керамики посвящены многочисленные работы, в которых анализируются отдельные аспекты многоуровневой проблемы. Механизм формирования поверхностного слоя Al_2O_3 -керамики при шлифовании за счет образования трещин, зарождающихся на внутренней поверхности риска и распространяющихся в объем заготовки, описан в статьях [8, 9]. Выявлены [8] особенности рельефа обработанной поверхности Al_2O_3 -керамики с многочисленными рисками разной глубины, дно и боковые поверхности которых образованы слоем сглаженного материала. На вершинах риска образуются наплывы, размеры которых зависят от глубины внедрения алмазных зерен в поверхность керамического образца. При малой глубине их внедрения наплывы, имеющие форму микровала, достаточно равномерно чередуются на шлифованной поверхности. При большой глубине внедрения алмазных зерен в поверхность керамического образца образуются волнообразные наплывы, хаотично расположенные на керамической поверхности. С интенсификацией режима шлифования увеличивается шероховатость обработанной поверхности [11]. Влияние рельефа поверхности керамики на напряженно-деформированное состояние поверхностного слоя Al_2O_3 -керамики при высоких температурах описано в статьях [12, 13]. Установлено [14], что на обработанной поверхности Al_2O_3 -керамики образуются волны двух типов, имеющие разную природу появления. С интенсификацией режимов шлифования амплитуда этих волн возрастает, причем наибольшее влияние на волнистость обработанной поверхности оказывают скорость круга и продольная подача при шлифовании.



В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru

Короткий анализ научно-технической литературы показывает отсутствие общего подхода к разработке технологии алмазного шлифования. Цель настоящей работы — изучить влияние режимов алмазного шлифования на шероховатость, волнистость и морфологию поверхностного слоя Al_2O_3 -керамики для использования выявленных взаимосвязей при создании технологических процессов изготовления керамических деталей.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической основой экспериментальных исследований являлся системный подход к изучению и описанию процессов, происходящих при образовании поверхностного слоя заготовок из разных керамических материалов при шлифовании алмазными кругами, с использованием современного оборудования и измерительной техники [15–17]. Экспериментальные исследования выполнены на образцах Al_2O_3 -керамики, структура которой показана на рис. 1. Керамика имеет крупнозернистую структуру, которая характеризуется многогранными

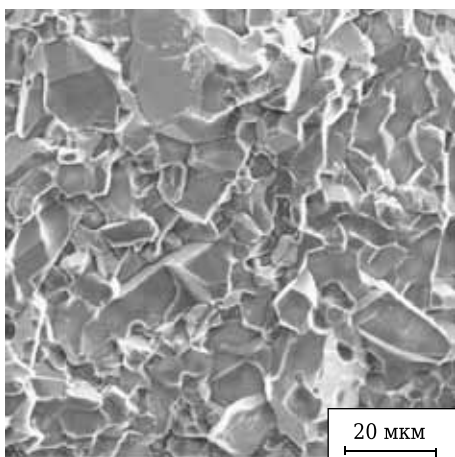


Рис. 1. Структура керамических образцов (однократное ударное нагружение)

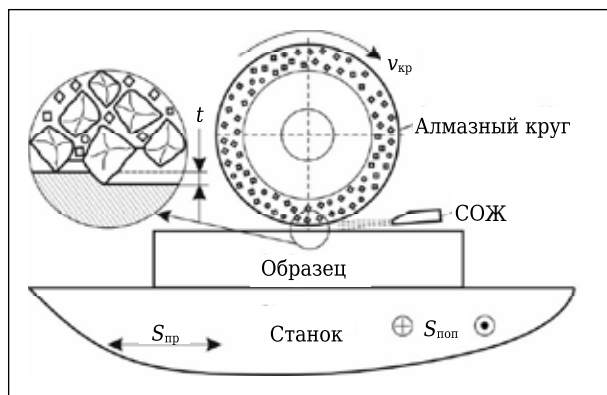


Рис. 2. Схема процесса алмазного шлифования керамических образцов

зернами размерами до 20 мкм с четко выраженными границами между ними. На отдельных зернах имеются трещины, а на границах — глубокие поры неправильной формы размерами до 7 мкм. Образцы Al_2O_3 -керамики имели предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ 350 МПа, трещиностойкость K_{Ic} 3,5 МПа·м^{1/2}, плотность ρ 3,2 г/см³ и твердость HRA 92.

Керамические образцы шлифовали на станке модели ОШ-440 с использованием алмазного круга 1А1В2-01 100 % АС6 160/125 и смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) по схеме, показанной на рис. 2. Скорость круга во всех экспериментах оставалась постоянной $v_{кр} = 30$ м/с, продольную подачу изменяли в диапазоне $S_{пр} = 5 \div 15$ м/мин, поперечную подачу — в диапазоне $S_{поп} = 0,5 \div 1,5$ мм/ход, глубину шлифования — в диапазоне $t = 0,01 \div 0,05$ мм. После каждого эксперимента круг подвергали правке, а образцы ультразвуковой мойке в установке «Elmasonic S70» в течение 20 мин.

Состояние обработанной поверхности оценивали параметрами шероховатости Ra и волнистости Wa , а также ее морфологией. Шероховатость измеряли в продольном (вдоль продольной подачи) и поперечном (вдоль поперечной подачи) направлении, а волнистость оценивали в продольном направлении. Для измерения этих параметров использовали профилограф-профилометр «HommelTesterT8000», причем каждое измерение повторяли 3 раза. Морфологию обработанной поверхности изучали с использованием сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 LMN. Для подготовки образцов для этого исследования применяли установку катодного распыления «Quorum Q150R ES», с помощью которой на шлифованную поверхность керамики наносили токопроводящую пленку углерода.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние режима шлифования на Ra обработанной поверхности заготовок Al_2O_3 -керамики показано на рис. 3. Видно, что параметры режима шлифования существенно влияют на Ra . Интенсификация режима шлифования приводит к увеличению Ra как в продольном, так и в поперечном направлении обработанных поверхностей.

При увеличении $S_{пр}$ в диапазоне $5 \div 15$ м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) Ra шлифованной поверхности образцов Al_2O_3 -керамики возрастает от 0,94 до 1,03 и от 1,02 до 1,14 мкм в продольном и поперечном направлении соответственно (см. рис. 3, а). Увеличение $S_{поп}$ в диапазоне $0,5 \div 1,5$ мм/ход ($S_{пр} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) приводит к возрастанию Ra соответственно от 0,9 до 1,09 и от 1,01 до 1,2 мкм (см. рис. 3, б). При увеличении t в диапазоне $0,01 \div 0,05$ мм

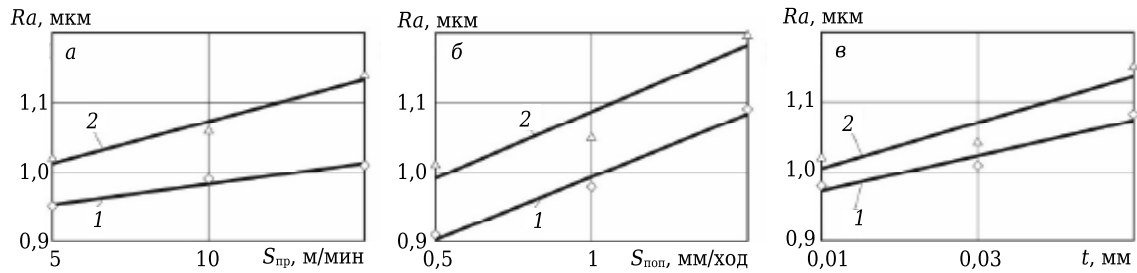


Рис. 3. Влияние $S_{пр}$ (а), $S_{поп}$ (б) и t (в) на Ra шлифованной поверхности керамических образцов в продольном (1) и поперечном (2) направлениях

($S_{пр} = 10$ м/мин, $S_{поп} = 1$ мм/ход) Ra возрастает соответственно от 0,98 до 1,08 и от 1,02 до 1,15 мкм (см. рис. 3, в). Все полученные зависимости с высокой точностью аппроксимируются прямыми линиями.

Установлено, что интенсификация режима шлифования приводит к увеличению параметра Wa обработанной поверхности образцов Al_2O_3 -керамики (рис. 4). При увеличении $S_{пр}$ в диапазоне 5 ÷ 15 м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) Wa возрастает от 3,4 до 6,1 мкм (рис. 4, а). С увеличением $S_{поп}$ в диапазоне 0,5 ÷ 1,5 мм/ход ($S_{пр} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) Wa возрастает от 3,9 до 6,1 мкм (рис. 4, б). Увеличение t в диапазоне 0,01 ÷ 0,05 мм ($S_{пр} = 10$ м/мин, $S_{поп} = 1$ мм/ход) приводит к росту Wa от 3,5 до 7,5 мкм (рис. 4, в). Столь существенное влияние режима шлифования на параметры Ra и Wa шлифованных поверхностей Al_2O_3 -керамики связано с разным уровнем силовых и тепловых нагрузок, генерируемых в зоне контакта алмазного круга с заготовкой, под действием которых происходит формирование поверхностного слоя керамики.

В результате анализа экспериментальных данных выявлено также влияние режима алмазного шлифования на морфологию обработанных поверхностей. Примеры этого влияния в виде микрофотографий поверхности керамических образцов, шлифованных при разных режимах, показаны на рис. 5. Их детальное изучение показало, что в результате контактного взаимодействия алмазных зерен, расположенных в поверхностном слое шлифовального круга, с поверхностью керамики происходит снятие припуска с керамической заготовки с образованием

новой поверхности. Вне зависимости от режима шлифования эта поверхность характеризуется четко выраженным волнообразным рельефом с гребнями, ориентированными по направлению поперечной подачи. Волнообразный рельеф создает слой пластически деформированной керамики толщиной до 0,6 мкм, имеющий высокую дефектность за счет присутствия в нем многочисленных рисок, трещин и областей локального разрушения. Наиболее «высокие» гребни волн срезаны алмазными зернами и имеют вид плоских площадок. Поверхность керамики, свободная от этого слоя, имеет многочисленные углубления, поры и области локального разрушения разных размеров. Формирование поверхности со столь сложным морфологическим рисунком связано с одновременным действием механизмов хрупкого и пластического разрушения поверхностного слоя керамики.

Параметры режима шлифования изменяют в определенных пределах эти характерные признаки морфологии обработанной поверхности образцов Al_2O_3 -керамики, особенно размеры гребней и пор. Это влияние проявляется через изменение вклада механизмов хрупкого и пластического разрушения поверхностного слоя керамики, зависящих от соотношения силовых и тепловых нагрузок, генерируемых в зоне контакта алмазных зерен с поверхностью керамики. Основной направленностью этого влияния при шлифовании Al_2O_3 -керамики является уменьшение числа и размеров поверхностных пор, а также увеличение размера гребней волнообразного рельефа, образованного слоем пластически деформированного материала,

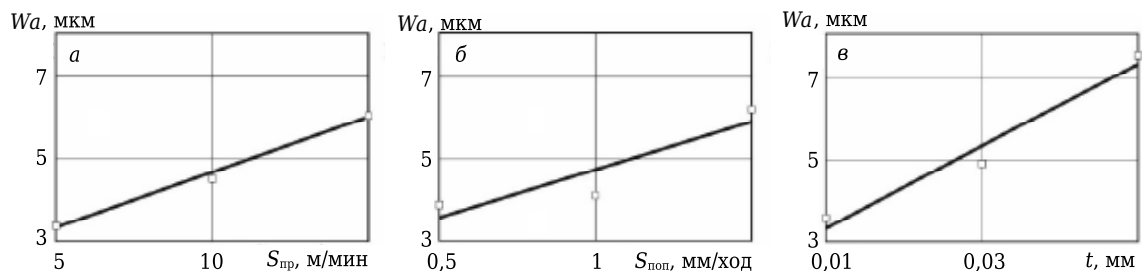


Рис. 4. Влияние $S_{пр}$ (а), $S_{поп}$ (б) и t (в) на Wa шлифованной поверхности керамических образцов

при интенсификации режима шлифования. Последовательно анализируем влияние параметров режима шлифования (продольной и поперечной подачи, глубины шлифования) на морфологию поверхности керамических образцов.

Влияние продольной подачи $S_{пр}$ на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов показано на рис. 5, а. Видно, что на поверхности образцов Al_2O_3 -керамики, шлифованных при режиме $S_{пр} = 5$ м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм), хорошо просматривается крупнозернистая структура керамики. Об этом свидетельствует большое число пологих углублений размерами до 50 мкм, дно которых образовано гранями зерен Al_2O_3 , залегающих ниже шлифованной поверхности. Срезанные грани зерен Al_2O_3 образуют плоские площадки, покрытые слоем деформированного материала. На этих площадках имеются неглубокие риски от алмазных зерен шириной до 10 мкм. Как правило, эти риски прерываются крупными пологими углублениями и порами округлой формы размерами до 10 мкм. По границам отдельных зерен «вскры-

ваются» крупные поры неправильной формы размерами до 15 мкм, образовавшиеся при спекании. После шлифования при $S_{пр} = 10$ м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) на поверхности образцов Al_2O_3 -керамики поры и углубления проявляются менее четко, но ее рельефность увеличивается. Следы пластической деформации слоя керамики обнаруживаются не только на «срезанных» вершинах крупных зерен Al_2O_3 , но и на мелких зернах. При этом уменьшаются число и размеры пологих углублений, а образующиеся единичные риски имеют повышенную ширину (до 15 мкм) по сравнению с предыдущим режимом шлифования. Увеличиваются также число и размеры областей локального разрушения керамики. После шлифования с наибольшей продольной подачей при режиме $S_{пр} = 15$ м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) поверхность образцов Al_2O_3 -керамики приобретает наиболее рельефную морфологию. Зафиксировано увеличение площади поверхности со следами интенсивных пластических деформаций, а также числа и протяженности рисок шириной до 20 мкм по сравнению с предыдущими режимами шлифования. На обработанной по-

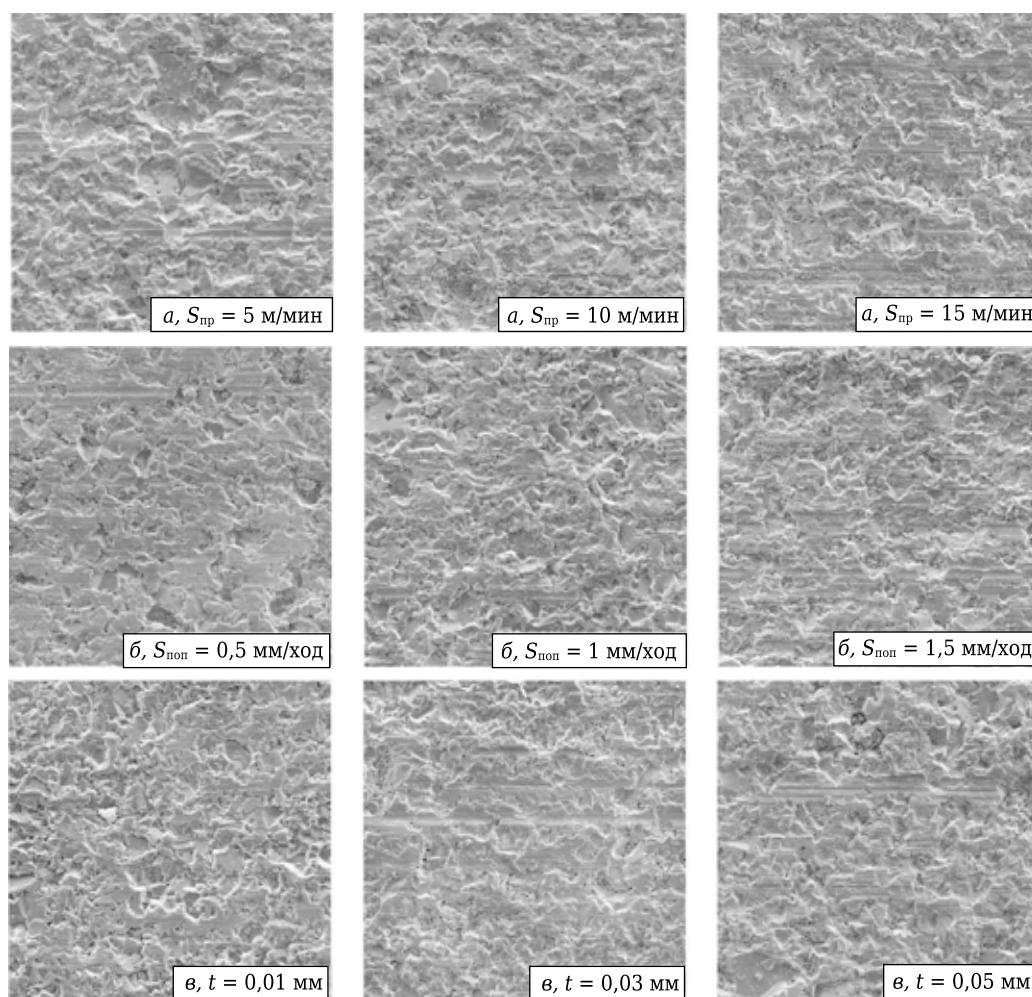


Рис. 5. Влияние $S_{пр}$ (а), $S_{поп}$ (б) и t (в) на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов. $\times 1000$

верхности обнаружены многочисленные области локального разрушения керамики, природа появления которых связана с вырывом зерен (или их сколовшихся фрагментов) из керамического каркаса, а также с интенсивным развитием трещин в пластически деформированном слое.

Влияние поперечной подачи $S_{\text{поп}}$ на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов показано на рис. 5, б. Видно, что на поверхности образцов Al_2O_3 -керамики, шлифованных при режиме $S_{\text{поп}} = 0,5$ мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) имеются многочисленные сглаженные площадки, образованные в результате срезания верхушек зерен Al_2O_3 . Эффект сглаженности поверхности усиливается минимальным размером гребней волнообразного рельефа и практическим отсутствием рисков от алмазных зерен. На обработанной поверхности имеется большое число пор размерами до 15 мкм и углублений размерами до 50 мкм. Дно углублений образовано гранями одного или нескольких зерен, а также скоплением мелких зерен округлой формы. Поверхность образцов Al_2O_3 -керамики, шлифованных при режиме $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) имеет более четкий волнообразный рельеф (по сравнению с предыдущим режимом), на котором просматриваются отдельные риски шириной 10 мкм и длиной до 50 мкм. Заметно уменьшается число крупных пор при одновременном увеличении пор размерами до 5 мкм. Дальнейшее увеличение поперечной подачи до $S_{\text{поп}} = 1,5$ мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) приводит к образованию наиболее рельефной поверхности образцов Al_2O_3 -керамики после шлифования. На этой поверхности имеются многочисленные риски шириной до 20 мкм, имеющие наибольшую длину по сравнению с предыдущими режимами шлифования. Пластически деформированный материал заполняет пространство в крупных порах, в результате чего повышается площадь поверхности со следами интенсивных пластических деформаций и уменьшаются размеры пор. Одновременно с этим увеличиваются число и размеры областей локального разрушения поверхности керамики.

Влияние глубины шлифования t на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов показано на рис. 5, в. Видно, что поверхность образцов Al_2O_3 -керамики, шлифованных при режиме $t = 0,01$ мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход), характеризуется наиболее выраженным волнообразным рельефом по сравнению с другими малоинтенсивными режимами шлифования. На поверхности присутствуют многочисленные сглаженные площадки пластически срезанных верхушек крупных зерен Al_2O_3 на фоне крупных углублений, в которых просматривается исходная структура крупнозернистой керамики. На поверхности имеются

поры округлой формы размерами до 15 мкм и единичные области локального разрушения керамики, а риски практически отсутствуют. При увеличении t до 0,03 мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход) морфология поверхности приобретает более выраженный волнообразный рельеф при минимальном числе пор. Большинство пор и углублений «замазываются» пластически деформированным материалом, а слой, созданный этим материалом, имеет обширные площади локального разрушения. На поверхности имеются протяженные риски шириной до 5 мкм, на краях которых формируются наплывы материала, выдавленного из внутреннего объема рисок. После шлифования с наибольшей глубиной $t = 0,05$ мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход) ширина рисков увеличивается до 20 мкм. Увеличивается также количество мелких пор округлой формы и вытянутых пор по границам зерен. Поверхность керамических образцов после шлифования при этом режиме имеет наибольшее число и размеры областей локального разрушения керамики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлено влияние продольной и поперечной подачи, а также глубины при плоском алмазном шлифовании образцов Al_2O_3 -керамики на шероховатость, волнистость и морфологию обработанной поверхности. Увеличение $S_{\text{пр}}$ от 5 до 15 м/мин при шлифовании Al_2O_3 -керамики приводит к возрастанию Ra в 1,06 (в продольном направлении) и 1,12 раза (в поперечном направлении) и Wa в 1,8 раза. Увеличение $S_{\text{поп}}$ от 0,5 до 1,5 мм/ход при шлифовании Al_2O_3 -керамики приводит к возрастанию шероховатости Ra в 1,2 раза в обоих направлениях и Wa в 1,6 раза. Увеличение t от 0,01 до 0,05 мм при шлифовании Al_2O_3 -керамики приводит к возрастанию Ra в 1,1–1,13 раза в обоих направлениях и Wa в 2,2 раза.

Поверхность образцов Al_2O_3 -керамики после шлифования характеризуется четко выраженным волнообразным рельефом с гребнями, ориентированными по направлению поперечной подачи. Волнообразный рельеф образуется слоем пластически деформированной керамики толщиной до 0,6 мкм, причем наиболее «высокие» гребни волн срезаны алмазными зернами и имеют вид плоских площадок. Этот слой характеризуется высокой дефектностью из-за наличия многочисленных рисков, трещин и областей локального разрушения. Поверхность керамики, свободная от этого слоя, имеет многочисленные углубления, поры и области локального разрушения разных размеров. Параметры режима шлифования влияют на этот характерный морфологический рисунок обработанной поверхности керамики за счет изменения вклада в ее формирование механизмов хруп-

кого и пластического разрушения, зависящих от соотношения силовых и тепловых нагрузок, генерируемых в зоне контакта алмазных зерен с поверхностью керамики. Основной направленностью влияния режима шлифования является уменьшение числа и размеров поверхностных пор, а также увеличение размера гребней волнообразного рельефа, числа трещин и площади областей локального разрушения керамики при интенсификации режима шлифования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 2014/105, проект № 1908).

Библиографический список

1. **Демкин, Н. Б.** Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Демкин, Э. В. Рыжов. — М. : Машиностроение, 1981. — 244 с.
2. **Суслов, А. Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин / А. Г. Суслов. — М. : Машиностроение, 2000. — 320 с.
3. **Сулима, А. М.** Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. — М. : Машиностроение, 1988. — 240 с.
4. **Кузин, В. В.** Анализ надежности керамических деталей после гидроабразивной обработки / В. В. Кузин, Н. Р. Портной, С. Ю. Фёдоров, В. И. Мороз // Новые огнеупоры. — 2015. — № 11. — С. 63–68.
5. **Кузин, В. В.** Analysis of the reliability of ceramic parts after hydroabrasive machining / V. V. Kuzin, N. R. Portnoi, S. Yu. Fedorov, V. I. Moroz // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Vol. 56, № 6. — P. 631–636.
6. **Кузин, В. В.** Surface defects formation in grinding of silicon nitride ceramics / V. Kuzin, S. Grigoriev, S. Fedorov, M. Fedorov // Applied Mechanics and Materials. — 2015. — Vol. 752/753. — P. 402–406.
7. **Кузин, В. В.** Модификация поверхностного слоя оксидной керамики с использованием непрерывного лазерного излучения / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2016. — № 1. — С. 51–55.
8. **Кузин, В. В.** Oxide ceramic surface layer modification using continuous laser radiation / V. V. Kuzin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2016. — Vol. 57, № 1. — P. 53–57.
9. **Кузин, В. В.** A model of forming the surface layer of ceramic parts based on silicon nitride in the grinding process / V. Kuzin // Key Engineering Materials. — 2012. — Vol. 496. Precision Machining. — P. 127–131.
10. **Кузин, В. В.** Grinding characteristics in high speed grinding of engineering ceramics with brazed diamond wheels / C. Jianyi, S. Jianyun, H. Hui, X. Xipeng // Journal of Materials Processing Technology. — 2010. — Vol. 210. — P. 899–906.
11. **Кузин, В. В.** Experimental investigations of machining characteristics and removal mechanisms of advanced ceramics in high speed deep grinding / H. Huang, Y. C. Liu // Machine Tools & Manufacture. — 2003. — Vol. 43. — P. 811–823.
12. **Кузин, В. В.** Study on mechanism of ceramics grinding / K. Kitajima, G. O. Cai, N. Kurnagai, Y. Tanaka // Annals of the CIRP. — 1992. — Vol. 14. — P. 367–371.
13. **Кузин, В. В.** Advanced ceramics: evaluation of ground surface / E. C. Bianchi, P. R. Aguiar, E. J. da Silva, C. E. da Silva Jr., C. A. Fortulan // Ceramica. — 2003. — Vol. 49. — P. 174–177.
14. **Кузин, В. В.** Effect of thermal loading on stresses in defective surface layer of ceramics / V. Kuzin, S. Grigoriev, M. Portnoy // Applied Mechanics and Materials. — 2016. — Vol. 827. — P. 189–192.
15. **Кузин, В. В.** Stress state of surface layer of oxide ceramics with single defect under the influence of intensive heat flow / V. V. Kuzin, S. N. Grigoriev, M. R. Portnoy // 53rd Conference on Experimental Stress Analysis — EAN 2015, 1-4 June, 015, Czech Republic ; ed. by P. Padevët and P. Bittnar. — P. 207–211.
16. **Кузин, В. В.** Experimental research on grinding surface waviness of engineering ceramics / Y. F. Diao, Y. G. Wang, B. Lin, L. J. Li // Materials Science Forum. — 2014. — Vol. 770. — P. 175–178.
17. **Кузин, В. В.** Повышение эксплуатационной стабильности режущих инструментов из нитридной керамики за счет оптимизации условий их заточки / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2003. — № 12. — С. 41–45.
18. **Кузин, В. В.** Increasing the operational stability of nitride-ceramic cutters by optimizing their grinding conditions / V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2003. — Vol. 23, № 12. — P. 32–36.
19. **Кузин, В. В.** Технологические особенности алмазного шлифования деталей из нитридной керамики / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2004. — № 1. — С. 37–41.
20. **Кузин, В. В.** Technological aspects of diamond grinding of the nitride ceramics / V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2004. — Vol. 24, № 1. — P. 23–28.
21. **Кузин, В. В.** Технология механической обработки деталей из высокоогнеупорной керамики на основе нитрида кремния / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2006. — № 8. — С. 19–24.
22. **Кузин, В. В.** Technology for machining high-refractory ceramic parts based on silicon nitride / V. V. Kuzin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2006. — Vol. 47, № 4. — P. 204–208. ■

Получено 16.06.16

© В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, 2016 г.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ «СТЕКЛО И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА»

7 и 8 июня 2016 г. в Москве в ЦВК «Экспоцентр» состоялся международный форум «Стекло и современные технологии XXI века». Организаторами этого широкомасштабного события являются СтеклоСоюз России и ЗАО «Экспоцентр». Отраслевое мероприятие прошло в рамках 18-й международной выставки «Мир стекла 2016». В конференции приняли участие руководители и эксперты из 12 стран мира и 42 регионов России. Цель форума: осветить современное состояние отрасли и способствовать развитию стекольной науки, укреплять экономические связи с потребителями, развивать международное деловое сотрудничество. Особое внимание было уделено подготовке кадров для стекольной промышленности.

Президент СтеклоСоюза России В. И. Осипов выступил с докладом «Основные тенденции развития стекольной промышленности в сложных экономических условиях». Он сказал: «Мы уверены, что отраслевой специализированный форум позволит оказать научно-техническую поддержку специалистам нашей промышленности и всем участникам стекольного рынка». Опираясь на мировой технологический опыт, объединив совместные усилия на реализацию новых требований к стеклу и изделиям из стекла, стекольная индустрия совместно с мировым стекольным научным и практическим сообществом будет успешно развиваться и давать потребителю продукцию нового поколения. Несмотря на кризис перепроизводства специалисты стекольной отрасли постоянно работают над новыми видами продукции, удовлетворяющими требования потребителя. Производство собственной продукции выравнивается до докризисного состояния. Идет стабильный рост. «Мы уверены, что этот отраслевой форум позволит стекольной индустрии успешно преодолеть экономические сложности и мы удержим обретенные позиции, невзирая на кризис».

Более 50 докладчиков из 10 стран на четырех секциях в течение двух дней смогли передать опыт и знания профессиональной аудитории стекольных и смежных производств, являющихся лидерами рынка. Они рассказали о профессиональных проблемах и путях их практических решений. В своих докладах участники международной конференции выделили основные пути развития мировой стекольной отрасли. Как известно, к стеклу предъявляются все новые требования, ученые и практики обязаны своевременно решать поставленные потребителями задачи, удовлетворять возрастающие запросы. Эксперты подчеркивали, что для реализации



Программы развития отрасли 2011–2020 гг. необходимо решить широкий круг проблемных вопросов: проектирование новых заводов, строительство современных энергоэффективных стекловаренных печей, производство машин и оборудования. Применяя инновационные технологии, предприятия улучшают свою экономику. Способы повышения конкурентоспособности лежат на поверхности, и начинать надо с экономии энергетических ресурсов, применения новых





видов сырья, повышения производительности труда. Все вопросы являются важными для гармоничного развития нашей промышленности. Участники выставки и деловой программы на стендах продемонстрировали свою продукцию и технические возможности.

В ходе дискуссии с руководителями и экспертами федеральных союзов, представляющих отраслевых потребителей, предприятия получили конкретные предложения с требованиями к изделиям из стекла для различных отраслей народного хозяйства. Применение теплоизоляционных материалов из пеностекла, остекление зданий и сооружений энергоэффективными прозрачными конструкциями, безопасные изделия из стекла для транспорта, пищевой, медицинской, фармацевтической и мебельной промышленности являются локомотивами нашего развития, отмечали в докладах ученые, инженеры и практики. В рамках импортозамещения широко обсуждался вопрос развития производства стекла для солнечных батарей. По оценкам экспертов, альтернативная энергетика за короткий период набирает обороты, и в России в ближайшие 4–5 лет рост

потребления этого продукта достигнет 8–10 млн м² в год. На открытом заседании НП «Ассоциаций и союзов предприятий ПСМ» руководители союзов изложили пути реализации стратегии развития строительных материалов до 2020 г. Вместе с руководителями стекольных предприятий обсуждены возможности расширения объема потребления стекольной продукции, проблемы качественной продукции и оплаты за продукцию.

За высокие производственные показатели в 2016 г. были вручены почетные грамоты коллективам ОАО «Гусевский стекольный завод им. Ф. Э. Дзержинского», ЗАО Компания «СТЭС-Владимир», «Гусевский стекольный колледж», журнал «Glass Russia». С присвоением звания «Почетный работник стекольной промышленности» аудитория тепло поздравила председателя совета директоров ООО «Востек» А. А. Боченкова. Почетными грамотами были награждены В. А. Федорова, Р. М. Ибрагимов — генеральный директор ООО Строительная Компания «Саратовтепломонтаж», А. Г. Чесноков — председатель ТК 041, Т. К. Павлушкина — начальник отдела новых материалов ОАО «Институт стекла».

В рамках выставки «Мир стекла» были подведены итоги конкурса «Лидер стекольной отрасли 2016». Победителям конкурса вручили дипломы и хрустальные кубки. Победителями стали АО «Васильевский стекольный завод», ЗАО «Никольский завод светотехнического стекла», ОАО «Свет», АО «Салаватстекло», АО «Каспийский завод листового стекла», ЗАО «Стромизмеритель».

Президент СтеклоСоюза России выразил благодарность всем участникам и гостям форума, экспонентам выставки «Мир стекла», пожелал им экономического процветания и призвал в 2017 г. принять активное участие в выставке «Мир стекла 2017» и форуме «Стекло и современные технологии XXI». В. И. Осипов сообщил, что СтеклоСоюз России предпримет все усилия, чтобы предприятия отрасли достойно вышли из сложной экономической ситуации. Отраслевая Программа развития стекольной отрасли 2011–2020 гг. будет успешно реализована. Следующий форум «Стекло и современные технологии XXI» состоится 23 ноября 2016 г., в День работника стекольной промышленности. ■

Пресс-центр СтеклоСоюза России



ABSTRACTS

UDC 669.1:666.76.001.8

Competition on the metallurgical market is the driver of competition on the market of refractories

Aksel'rod L. M. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 3–15.

Amid the aggravation of competition between the iron and steel production suppliers in the world market the competition between the refractory products manufacturers and the refractory materials contractors. In the article the information is given about the competition characteristics at the Russian refractory market and about the refractory industry development in Russian against the world-wide trends. Ill. 7. Ref. 33. Tab. 4.

Key words: refractory material production, trends, prospects, import substitution, clean steel, total cost of the refractory ownership.

UDC 666.974.2:666.762.1]:[621.746.329.047:669.18.046.518

The metal reservoir's development for the tundish which enables continuous casting by ultra-long series

Krasnyanskii M. V., Egorov I. V., Orlenko A. E., Ivanitsa S. I., Dzhundiet M. G., Balavneva Yu. V. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 17–21.

The review of the recent metal reservoir's designs is given in the article for the tundish. On base of the mathematical simulations and using the industrial testing the new combined metal reservoir's design is engineered for the multistrand billet continuous casting machines, which enables to reach the high casting sequence index and to enhance the quality of the cast billets. Ill. 4. Ref. 8. Tab. 1.

Key words: continuous casting, tundish, metal reservoir, slag zone, IL lining resistance.

UDC 552.45:666.76.001.8(575.1)

Uzbekistan quartzite investigation for the dinas refractory production

Eminov A. A., Kadyrova Z. R., Abdullaeva R. I. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 22–24.

The results of the physical and chemical investigations are given in the article for the Koitash and Dzherdanack deposits' quartz rocks of the Republic of Uzbekistan, which are intended to the dinas materials composition design. It was established that the investigated quartz rocks are of the utmost interest and present themselves as a promising raw material base for the refractory industry of the Republic of Uzbekistan. Ill. 1. Ref. 6. Tab. 3.

Key words: dinas refractories, quartz rocks, Koitash and Dzherdanack deposits, refractory industry of the Republic of Uzbekistan.

UDC 666.762.5.046.5:621.365.22

Fused zirconium dioxide production at JSC «Pervouralsk Dinas Plant»

Perepelitsyn V. A., Gorokhovskii A. M., Fedorovtseva A. V., Yakovleva L. P. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 25–29.

The theoretical calculation was carried out in the article for the relative service wear resistance of the refractory materials with various chemical and mineral compositions. On the ground of the thermal energy density

it was established that among all the oxides with highest refractory properties (melting point being more than 2500 °C) the zirconium dioxide stands first on the list. Among the available high-temperature refractory minerals (compounds) of other chemical classes the ZrO_2 is exceeded in the relative service resistance only by the graphite and silicon carbide (α -SiC). On the ground of our investigation the technology regulations were developed, as well as the processing line was mounted and the industrial production of the fused partially stabilized zirconium (PSZ) was realized. The PSZ is used in the production of the zirconium-graphite immersion nozzles for the continuous casting machines. Ill. 4. Ref. 8. Tab. 5.

Key words: zirconium dioxide, percentage abundance of the chemical element, highest refractory property, thermal energy density, relative service wear resistance.

UDC 621.6.02

New family of high temperature ventilators «Geliotis»

Shlegel' I. F., Ivanov V. G., Shapovalov D. L. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 30–32.

The equipment for high-temperature gas transportation is regarded in the article. It is proposed to improve both the ceramic and refractory production quality by means of high-temperature ventilators «Geliotis» application for temperature equalizing over the tubes cross section. Ill. 3. Ref. 3. Tab. 1.

Key words: fire gases, high-temperature ventilator, hot gas transportation.

UDC 669.16/.18:66.011

The process flow sheets monitoring in the ferrous metals production

Kazhikenova S. Sh. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 33–35.

Taking into account the ore leaning out and the complexity of their composition it is expediently to improve the ferrous and non-ferrous technological process not only on base of the conventional cause-and-effect relationships disclosure method in the common technological processes together with their material and heat balances analyzing. The additional analysis of these processes is possible on base of the Shannon information entropy which is carried out to join the disembodied up to now variables on the valuable concentrate's content and on their extraction in course of both the metallurgical conversions and the whole technological process for the comparative analysis of the industrial metallurgical process. On the ground of the entropy and information analyses of the ferrous metals process flow-sheets the information criteria were developed in the article for the substantive evaluation of the steelmaking technological process' uncertainty and completeness. Ill. 2. Ref. 4. Tab. 3.

Key words: entropy, information, metallurgical process, steelmaking, entropy and information analyses, extraction.

UDC 546.621-31-492.2.001.5

Nanostructured disaggregated aluminum hydroxide and alumina oxide powders

Bersh A. V., Mazalov D. Yu., Soloviev R. Yu., Sudnik L. V., Fedotov A. V. // New Refractories. — 2016. — No 7. — P. 37–42.

The experimental results of the powder disaggregation investigation are given for the aluminum hydroxide (boehmite) obtained by means of hydrothermal oxidation of the aluminum powder. The initial powder disaggregation, the nanostructured boehmite forming and the oxide aluminum production was investigated depending on the heat treatment temperature, on the superheated steam drying, on the ball and cutting milling, on the rotary-pulsed treatment, and on the surface-active agents additions. The technological characteristics of the nanostructured powders production were obtained. Ill. 7. Ref. 14. Tab. 2.

Key words: nanostructured boehmite, hydrothermal synthesis (HTS), pressure relieve method, nanostructured condition, cavitation.

UDC 666.76.017:536.496

The investigation of the refractories thermal stability for the pulse high-temperature installations

Kashcheev I. D., Zemlyanoy K. G., Dzerzhinsky R. V., Fedotov A. V. // *New Refractories*. — 2016. — No 7. — P. 43–47.

The investigating results are given for the set of the high-refractory products and their operating heat capacity was defined. It was shown that amid the high temperature conditions and under the abruptly variable thermal loads the products which have the higher heated surface-to-volume ratio show the best thermal stability. The two-phase materials also show the best thermal stability. The periclase products with the protective coatings on base of ZrO_2 have the thermal stability comparable with that of the zirconium products. Ill. 7. Ref. 35. Tab. 2.

Key words: pulse high-temperature installations, thermal stability, heat capacity, corundum, periclase, zirconium dioxide.

UDC 666.762.2.046.512:66.046.44

The investigation of the HCBS-based fused quartz production process. Part 11. Experiments on the non-fired quartz refractory engineering

Pivinskii Yu. E., Dyakin P. V., Buravov A. D., Gorokhovskii A. M., Karpets L. A., Gusev N. V., Khabarova V. I., Karataev D. A. // *New Refractories*. — 2016. — No 7. — P. 48–53.

The experimental work on the non-fired engineering was carried out for the quartz casting pit refractories production, as well as for the dynamo steel burning kiln's rollers envelopes, and for the formed by vibration ceramic concrete blocks. The steel teeming protective pipes manufactured according to this non-fired engineering went through the trial successfully when the teeming both the commercial quality steels and the steels with higher manganese content. The resistance of these pipes was comparable with the resistance of the similar products produced according to the fired engineering. Ill. 3. Ref. 20.

Key words: fused quartz, HCBS, cristobalite, shunk silicate, casting pit refractories, steel teeming.

UDC 666.762.11.017:539.538

Physical and chemical processes in the material science and in the wear-resistance corundum ceramics technology: nozzles for the underground soil-drilling bevelers

Shmuradko V. T., Panteleenko F. I., Reut O. P., Rudenskaya N. A. // *New Refractories*. — 2016. — No 7. — P. 54–60.

From the perspectives of material science the analysis was carried out for the structural ceramic material's conditions and mechanisms of their abrasive destruction (wear) and of their synthesis. The logistic flow diagram was formed for the physical and chemical processes and for the structural engineering in the high-abrasive technology which provides the serial transformations and conversions of the mineral raw materials into the tailored structural ceramic materials and products (nozzles and jets) with prescribed properties. Ill. 6. Tab. 1.

Key words: logistic flow diagram, structural engineering, material science, activated highly-concentrated ceramic bonding suspensions (AHCBS), wear-resistant material, nozzle, beveler, underground soil drilling.

UDC 621.742.48:666.762.32.094.3

The structural changing in the binder in course of periclase-carbonaceous refractories oxidizing

Ikonnikov K. I., Kondrukevitch A. A., S'emshchikov N. S., Belyakov A. V., Kostochka M. L. // *New Refractories*. — 2016. — No 7. — P. 61–64.

The investigating results are given for the binders structural changing in the periclase-carbonaceous refractories when their treating in the oxidizing environment. After all carbon which binds the periclase grains burns down at 1000 °C the refractories compression strength measured at room temperature downed by 64 % but the refractory product didn't fall apart. In this situation the inorganic chemical bonding fulfilled the function of the binder which consisted of highly-dispersed calcium silicate, of iron and of the solid solution of magnesia, calcium and iron oxides' fine fraction. The results obtained allow to predict more reliably the refractories properties changing in their service on base of their raw materials. Ill. 3. Ref. 5. Tab. 2.

Key words: periclase-carbonaceous refractories (PC), carbon-containing components (CC), binder, flaked graphite, periclase, steel teeming ladle.

UDC 666.3:546.623-31]:621.923.4:621.921.34

Correlation between the diamond grinding condition and surface state of Al_2O_3 -base ceramics

Kuzin V. V., Fedorov S. Yu. // *New Refractories*. — 2016. — No 7. — P. 65–70.

The results are given for the diamond disks flat grinding conditions influence on the state of the surface of Al_2O_3 -based ceramics. The correlation was established between the grinding depth, transverse and traverse movements, roughness, waviness and the treated surface morphology. Ill. 5. Ref. 17.

Key words: grinding, ceramics, treated surface, roughness, waviness, ceramics layer surface morphology.



ТЕРМООБРАБОТКА

Десятая международная
специализированная выставка

13 - 15 сентября 2016

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

Единственная в России выставка
термического оборудования
и технологий

**13 - 14
сентября**

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМООБРАБОТКИ»

Тематика выставки:

- Термическое, химико-термическое, индукционное оборудование
- Вакуумная техника и компоненты вакуумных систем
- Лабораторные печи, сушильные шкафы; Лабораторное оборудование
- Установки нанесения покрытий
- Оборудование для электронно-лучевой сварки и сварки в среде аргона
- Лазерно-технологическое оборудование
- Комплексы глубокого охлаждения (криогенная обработка)
- Оборудование для исследования свойств материалов, неразрушающий контроль
- Центробежное литье коррозионных, жаропрочных и специальных сталей и сплавов
- Отливки из жаропрочной стали, технологическая оснастка
- Огнеупоры, теплоизоляция и футеровка тепловых агрегатов
- Изделия из графита, углеродного войлока и углерод-углеродных композитов



Факты о выставке 2015 года:

105 экспонентов из 15 стран мира
3022 кв.м. экспозиции
2690 посетителей-специалистов

Информационная поддержка:



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



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — ЖУРНАЛ
«НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ»

6–7 АПРЕЛЯ
2017 ГОДА

МОСКВА. НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

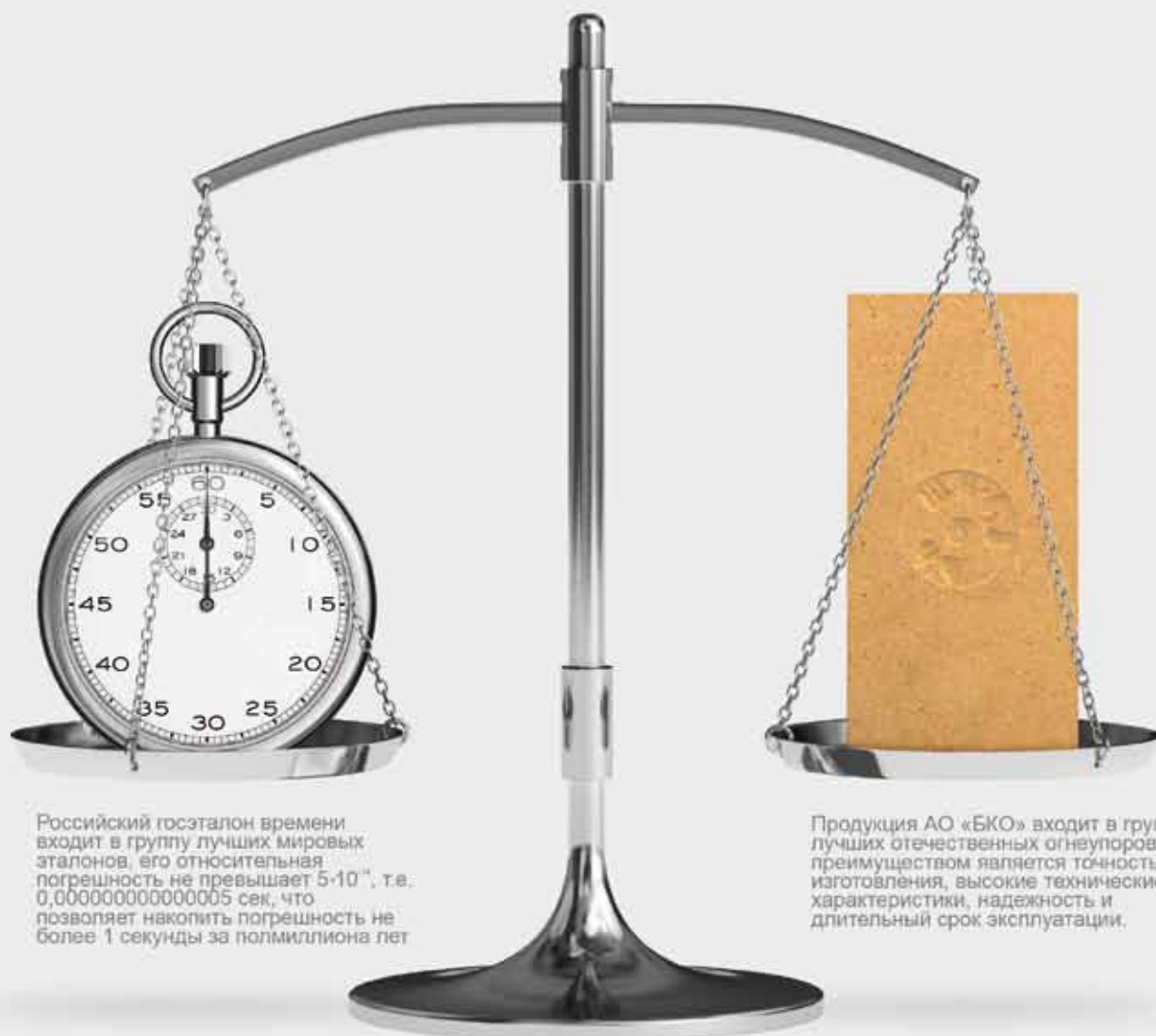
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. МЕТАЛЛУРГИЯ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОЦЕССЫ. ОГНЕУПОРНЫЕ И КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОГНЕУПОРОВ И КЕРАМИКИ. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.



НИТУ «МИСИС», 119049, Москва, Ленинский проспект, д. 4
ТЕЛ.: +7 (963) 665-67-16, E-MAIL: OGNEMET@MISIS.RU, WWW.KOM.MISIS.RU



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ



Российский госэтalon времени входит в группу лучших мировых эталонов, его относительная погрешность не превышает $5 \cdot 10^{-11}$, т.е. 0,00000000000005 сек, что позволяет накопить погрешность не более 1 секунды за полмиллиона лет

Продукция АО «БКО» входит в группу лучших отечественных огнеупоров. Ее преимуществом является точность изготовления, высокие технические характеристики, надежность и длительный срок эксплуатации.

ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЯЕТ КАЧЕСТВО

РЕКЛАМА

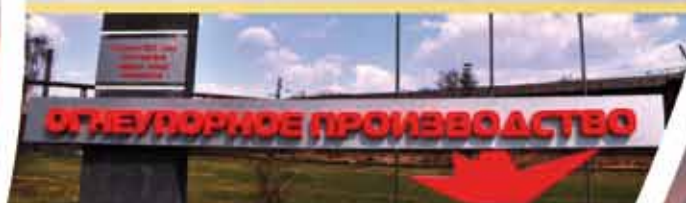
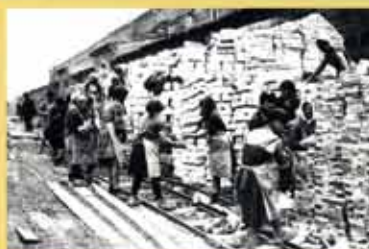
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ» - СТАРУШЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ОТРАСЛИ, ВЫПУСКАЮЩЕЕ БОЛЕЕ 300 ТЫС. ЕДИН. ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И 254 ТЫС. ЕДИН. ПРОБАТОРОВ В ГОД. ПРЕДПРИЯТИЕ РАССЧИТАЕТ ЗАПАСАМИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ, ИМЕЕТ СОВРЕМЕННУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ И НАУЧНУЮ БАЗУ, АККРЕДИТОВАННУЮ СИСТЕМУ ЦЕНТРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ ИСПЫТАТЕЛЬНУЮ И МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ЛАБОРАТОРИИ, КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КАДРЫ.

АДРЕС: 174411, НОВГОРОДСКАЯ ОБЛ., Г.БОРОВИЧИ, УЛ.МЕЖДУНАРОДНАЯ Д.1 ТЕЛ.: +7 (81664) 92500, 92413 : ФАКС: +7 (81664) 92525

WWW.AOBKO.RU

85 ЛЕТ НА РЫНКЕ ОГНЕУПОРОВ

Индекс 87595 (ГК «Урал-Пресс»). ISSN 1683-4518. Новые огнеупоры. 2016. № 7



РЕСУРС

ОГНЕУПОР



огнеупор

ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

АЛЮМОСИЛИКАТНЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

БЕТОННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ СМЕСИ

ОГНЕУПОРНЫЕ ПОРОШКИ

ОБЛИЦОВОЧНЫЙ КИРПИЧ

МЕРТЕЛИ

455019, Челябинская обл., г. Магнитогорск, ул. Кирова, 93
тел. приемная (3519) 24-71-57, факс 24-79-95,
сбыт 24-21-55, e-mail: our@our.ru; www.our.ru

РЕКЛАМА