



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

С Днем металлурга!

7

ИЮЛЬ 2014



photo: © Serg Zastavkin - Fotolia, artwork: © Digitaldots Design



корунд

Ваш надежный поставщик сырья:

- хром. руда
- корунд
- оливин
- боксит
- периклаз
- шпат
- графит
- магнезит
- карбид кремния

**Всё сырье - из одних рук, с доставкой до двери.
Лидер в России и СНГ.**



боксит

РЕКЛАМА

Россия:
ООО „ЕК-РЕСУРСЕС“
ул. Воздвиженка д. 10
125009 г. Москва, Россия
Тел.: +7 495 7973732
Факс: +7 495 7973636



www.ek-company.com

Germany:
EK-Company GmbH & Co. KG
Waltherstrasse 9
DE-97074 Wuerzburg, Germany
Phone: +49 931 666878-0
Fax: +49 931 666878-29



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ



Российский госэталон времени входит в группу лучших мировых эталонов, его относительная погрешность не превышает $5 \cdot 10^{-14}$, т. е. 0,000000000000005 сек, что позволяет накопить погрешность не более 1 секунды за полмиллиона лет

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

ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЯЕТ КАЧЕСТВО

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ» – СТАРЕЙШЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ОТРАСЛИ, ВЫПУСКАЮЩЕЕ БОЛЕЕ 300 ТЫС. ТОНН ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И 200 ТЫС. ТОНН ПРОПАНТОВ В ГОД. ПРЕДПРИЯТИЕ РАСПОЛАГАЕТ ЗАПАСАМИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ, ИМЕЕТ СОВРЕМЕННУЮ ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ И НАУЧНУЮ БАЗЫ, АККРЕДИТОВАННЫЕ В СИСТЕМЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ, ИСПЫТАТЕЛЬНУЮ И МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ЛАБОРАТОРИИ, КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КАДРЫ

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

WWW.OAOBKO.RU



Качество, которому доверяют

CALDERYS — мировой лидер в производстве огнеупоров работает уже более 100 лет. CALDERYS может решить любые проблемы, касающиеся выбора эффективных огнеупорных решений и передовых инсталляционных методов. Благодаря международной сети технических центров и 30 коммерческих офисов CALDERYS в Вашей стране — надежный партнер, начиная от проектирования огнеупорной футеровки и заканчивая поставкой материалов для технического обслуживания тепловых агрегатов в какой бы отрасли Вы ни работали, какими бы высокими ни были бы Ваши потребности.

Узнайте больше о наших инновационных решениях : russia@calderys.com

ООО «Калдерис»
Финляндский пр., д. 4А
194044 Санкт-Петербург, Россия
Тел. +7 (812) 640 76 66

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ	РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ																																						
<p>АБРАМОВ Е. П.</p> <p>ГРИШПУН Е. М.</p> <p>ДИБРОВ И. А.</p> <p>ЗАЙЦЕВ В. А.</p> <p>ЗАКАРЯН О. К.</p> <p>ИВАНУШКИН А. Г.</p> <p>ЛЕБЕДЕВ Ю. Н.</p> <p>ЛУКЬЯНОВ В. Б.</p> <p>МОЖЖЕРИН В. А.</p> <p>ОДЕГОВ С. Ю.</p> <p>САРЫЧЕВ В. Ф.</p> <p>СКОРОХОДОВ В. Н.</p> <p>ЭНТИН В. И.</p>	<p>Главный редактор КРАСНЫЙ Б. Л. Зам. главного редактора КАЩЕЕВ И. Д.</p> <hr/> <table> <tr> <td>АКСЕЛЬБРОД Л. М.</td><td>МОСИНА Т. В.</td></tr> <tr> <td>АНТОНОВИЧ В.</td><td>ОВСЯННИКОВ В. Г.</td></tr> <tr> <td>АНЦИФЕРОВ В. Н.</td><td>ОРДАНЬЯН С. С.</td></tr> <tr> <td>БАРИНОВ С. М.</td><td>ОЧАГОВА И. Г.</td></tr> <tr> <td>БЕЙЛИНА И. Ю.</td><td>ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.</td></tr> <tr> <td>БЕЛОУСОВА В. Ю.</td><td>ПИВИНСКИЙ Ю. Е.</td></tr> <tr> <td>БЕЛЯКОВ А. В.</td><td>ПОМОРЦЕВ С. А.</td></tr> <tr> <td>БУРАВОВ А. Д.</td><td>ПРИМАЧЕНКО В. В.</td></tr> <tr> <td>ВЕРЕЩАГИН В. И.</td><td>ПЫРИКОВ А. Н.</td></tr> <tr> <td>ВИКУЛИН В. В.</td><td>СЕМЧЕНКО Г. Д.</td></tr> <tr> <td>ВИСЛОГУЗОВА Э. А.</td><td>СИЗОВ В. И.</td></tr> <tr> <td>ГУРИН А. А.</td><td>СМИРНОВ А. Н.</td></tr> <tr> <td>ДАВЫДОВ С. Я.</td><td>СОКОВ В. Н.</td></tr> <tr> <td>ДОРОГАНОВ В. А.</td><td>СОКОЛОВ В. А.</td></tr> <tr> <td>ДРУЖИНИН Г. М.</td><td>СУВОРОВ С. А.</td></tr> <tr> <td>ИЛЬЮЩЕНКО А. Ф.</td><td>СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.</td></tr> <tr> <td>КОНАКОВ В. Г.</td><td>ТАРАСОВСКИЙ В. П.</td></tr> <tr> <td>КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.</td><td>ТРАВИЦКОВА А. Н.</td></tr> <tr> <td>ЛУКИН Е. С.</td><td></td></tr> </table>	АКСЕЛЬБРОД Л. М.	МОСИНА Т. В.	АНТОНОВИЧ В.	ОВСЯННИКОВ В. Г.	АНЦИФЕРОВ В. Н.	ОРДАНЬЯН С. С.	БАРИНОВ С. М.	ОЧАГОВА И. Г.	БЕЙЛИНА И. Ю.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.	БЕЛОУСОВА В. Ю.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.	БЕЛЯКОВ А. В.	ПОМОРЦЕВ С. А.	БУРАВОВ А. Д.	ПРИМАЧЕНКО В. В.	ВЕРЕЩАГИН В. И.	ПЫРИКОВ А. Н.	ВИКУЛИН В. В.	СЕМЧЕНКО Г. Д.	ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	СИЗОВ В. И.	ГУРИН А. А.	СМИРНОВ А. Н.	ДАВЫДОВ С. Я.	СОКОВ В. Н.	ДОРОГАНОВ В. А.	СОКОЛОВ В. А.	ДРУЖИНИН Г. М.	СУВОРОВ С. А.	ИЛЬЮЩЕНКО А. Ф.	СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.	КОНАКОВ В. Г.	ТАРАСОВСКИЙ В. П.	КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.	ТРАВИЦКОВА А. Н.	ЛУКИН Е. С.	
АКСЕЛЬБРОД Л. М.	МОСИНА Т. В.																																						
АНТОНОВИЧ В.	ОВСЯННИКОВ В. Г.																																						
АНЦИФЕРОВ В. Н.	ОРДАНЬЯН С. С.																																						
БАРИНОВ С. М.	ОЧАГОВА И. Г.																																						
БЕЙЛИНА И. Ю.	ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. А.																																						
БЕЛОУСОВА В. Ю.	ПИВИНСКИЙ Ю. Е.																																						
БЕЛЯКОВ А. В.	ПОМОРЦЕВ С. А.																																						
БУРАВОВ А. Д.	ПРИМАЧЕНКО В. В.																																						
ВЕРЕЩАГИН В. И.	ПЫРИКОВ А. Н.																																						
ВИКУЛИН В. В.	СЕМЧЕНКО Г. Д.																																						
ВИСЛОГУЗОВА Э. А.	СИЗОВ В. И.																																						
ГУРИН А. А.	СМИРНОВ А. Н.																																						
ДАВЫДОВ С. Я.	СОКОВ В. Н.																																						
ДОРОГАНОВ В. А.	СОКОЛОВ В. А.																																						
ДРУЖИНИН Г. М.	СУВОРОВ С. А.																																						
ИЛЬЮЩЕНКО А. Ф.	СУЗДАЛЬЦЕВ Е. И.																																						
КОНАКОВ В. Г.	ТАРАСОВСКИЙ В. П.																																						
КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.	ТРАВИЦКОВА А. Н.																																						
ЛУКИН Е. С.																																							

Научные редакторы *Г. Г. Гаврик, А. Н. Синицына*
Художник-дизайнер *Н. Н. Жильцов*
Компьютерная верстка *Н. Н. Жильцова*
Корректор *Ю. И. Королёва*

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

Адрес редакции:
127006, Москва, Старопименовский пер., 8, стр. 1-1А
Тел.: (495) 755-90-91, 699-97-85. Тел./факс: (495) 755-90-40
E-mail: ogneupor@imet.ru, info@imet.ru
Internet: www.imet.ru



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

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

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН, 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 05.07.14. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная
Цифровая печать. Усл. печ. л. 8,75
Уч.-изд. л. 8,58. Заказ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Бурмистрова Е. В., Абдрахманов Р. И. Огнеупоры для продувки металла аргонem в сталеразливочных ковшах ОАО ММК 5

Ботников С. А. Влияние геометрии металлопроводки промежуточного ковша и технологических параметров разлики на работу сортовых МНЛЗ 10

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Кашеев И. Д., Поморцев С. А., Ряплова А. А. Разработка огнеупорных бетонов алюмосиликатного и глиноземистого составов для тепловых агрегатов черной металлургии 15

Воронов Г. В., Антропов М. В., Порох О. В. Особенности аэродинамики в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи 19

Орфанов П. Л. Новое средство для измерений теплофизических и теплотехнических параметров материалов и конструкций 22

ТЕПЛОТЕХНИКА

Нургалиев Д. Ф., Сизяков В. М., Утков В. А. Исследование теплопроводности новых жаропрочных бетонов с пористыми наполнителями 25

Дзюзер В. Я. Разработка теплоизолированного свода высокопроизводительной стекловаренной печи 27

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Пивинский Ю. Е., Дякин П. В. Исследования в области получения материалов на основе ВКВС плавного кварца. Часть 1. Сравнительная оценка и отличительные особенности технологической кварцевой керамики и огнеупоров. 33

Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Марочкин О. А., Умнов В. И. Новые вставки из пластичных огнеупоров для защиты струи металла при разлике на МНЛЗ. 41

Мильявский В. В., Акопов Ф. А., Лукин Е. С., Боровкова Л. Б., Бородин Т. И., Вальяно Г. Е., Попова Н. А., Зиборов В. С. Полиморфные переходы частично стабилизированного ZrO_2 на поверхностях разрушения образцов трансформационно-упрочненной керамики в результате различных силовых и термических воздействий 44

Соков В. Н., Сокова С. Д. Термостойкий корундовый бетон, армированный волокнами оксида алюминия, синтезируемыми в матрице при обжиге. Часть 3. Выбор рациональных компонентов для получения корундового бетона 49

Григорьев С. Н., Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Салаи Тибор, Фаркаш Балаж. Технологические особенности электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в высокоплотной керамике. Часть 1 52

ЭКОЛОГИЯ

Романюк Е. В., Красовицкий Ю. В., Смирных А. А., Чугунова И. А. Комбинированные фильтровальные перегородки для очистки пылегазовых потоков в производстве огнеупоров 57

ЭКОНОМИКА И РЫНОК

Статистика

Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в январе 2014 г. 62
 Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в январе 2014 г. 62
 Мировое производство чугуна по странам в январе 2013–2014 гг. 63
 Мировая выплавка стали по странам в январе 2013–2014 гг. 64
 Цены на некоторые виды огнеупорного сырья. 66

ИЗОБРЕТЕНИЯ

Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам 67

Abstracts 69

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Burmistrova E. V., Abdrakhmanov R. I. Refractories for argon blowing of metal in steel-teeming ladles at JSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works» 5

Botnikov S. A. The influence of the tundish ladle's metal-supply guide configuration and of the casting's operational conditions on the billet CCM behavior. 10

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Kashcheev I. D., Pomortsev S. A., Ryaplova A. A. The development of alumina-silicate and alumina concretes for ferrous metallurgy thermal vessels. 15

Voronov G. V., Antropov M. V., Porokh O. V. Workspace aerodynamics features of the up-to-date electric arc furnace. 19

Orfanov P. L. A new means of measurement of thermophysical and thermotechnical parameters of materials and structures 22

HEAT ENGINEERING

Nurgaliev D. F., Sizyakov V. M., Utkov V. A. The heat-conduction study for advanced heat-resistant concretes with porous aggregate 25

Dzyuzer V. Ya. The heat-insulated roof development for the high-production glass melting furnace 27

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Pivinskii Yu. E., Dyakin P. V. Investigations on the materials creation on base of HCBS and fused quartz. Part I. Comparative assessment and distinctive features of the technologies for quartz ceramics and refractories. 33

Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Marochkin O. A., Umnov V. I. Advanced plastic refractory inserts application for metal stream shrouding when continuous casting 41

Milyavskii V. V., Akopov F. A., Lukin E. S., Borovkova L. B., Borodina T. I., Val'vano G. E., Popova N. A., Ziborov V. S. Polymorphic transition of partially stabilized ZrO_2 on the fracture areas of the transformation-toughened ceramics samples as a result of various force and thermal actions 44

Sokov V. N., Sokova S. D. Heat-resistant corundum concrete reinforced by the aluminum oxide fibers synthesizing in the matrix during the burning. Part III. Selection of suitable components for corundum concrete production 49

Grigoriev S. N., Kuzin V. V., Fedorov S. Yu., Salai Tibor, Farkash Balazh. Technological characteristics of electro-erosion processing for fine holes in high-density ceramic items. Part I. 52

ECOLOGY

Romanyuk E. V., Krasovitskii Yu. V., Smirnykh A. A., Chugunova I. A. Hybrid filter diaphragm for dust and gas flow's purification in the refractory production. 57

ECONOMICS AND MARKET

Statistics

The manufacturing of specific groups of ferrous metallurgy products in Russia in January 2013–2014. 62
 The manufacturing of specific groups of other nonmetallic mineral product in Russia in January 2013–2014 62
 World production of iron by countries in January 2013–2014 63
 World production of steel by countries in January 2013–2014 64
 Price-list for variety of refractory raw materials 66

INVENTIONS

Review of patents of the Russian Federation for inventions in refractories 67

Abstracts 69



Е. В. Бурмистрова, Р. И. Абдрахманов (✉)

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск
Челябинской обл., Россия

УДК 666.76-127:621.746.329

ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА АРГОНОМ В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШАХ ОАО ММК*1

Приведена информация о видах огнеупорных изделий, используемых для продувки металла в сталеразливочных ковшах, принципах их эксплуатации и полученных результатах. На основе проведенного сравнительного анализа наиболее эффективной признана технология продувки стали аргоном в сталеразливочном ковше через донные пробки. В соответствии с этим для донной продувки в условиях ОАО ММК используются хорошо зарекомендовавшие себя при проведении испытаний изделия со сформированными радиально располагаемыми рабочими каналами.

Ключевые слова: продувка аргоном, сталеразливочный ковш, вакууматор, внепечная обработка стали, щелевые каналы, продувочные блоки.

Производство высококачественной стали требует освоения новых технологий и совершенствования конструкции оборудования, применяемого на всех этапах технологического процесса. Немаловажным фактором является подбор материалов, способных длительное время выдерживать воздействие металла и шлака при высоких температурах, а также изделий из них, обеспечивающих надежность в процессе эксплуатации.

За последние десятилетия в технологии черной металлургии прочно вошла тенденция ковшевой обработки стали. Продувка металла аргоном является важным звеном в технологии получения высококачественной стали. Основное назначение продувки инертными газами — оптимизация температурного и химического состава металла, удаление растворенных газов и неметаллических включений. Основным этапом использования донной продувки является внепечное рафинирование стали, проводимое на агрегатах внепечной обработки стали. Основная доля доводки металла в условиях кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО ММК производится именно на агрегатах внепечной обработки стали (ВОС), таких как УПК, АДС, УУПС, УВС. Полученный после выпуска из конвертера полупродукт требует достаточно длительных и трудоемких процес-

сов, прежде чем превратится в пригодную для конечной разливки сталь. Основными технологическими процессами, способствующими достижению требований чистоты и соответствия качества металла, являются возможность дополнительного электроподогрева на установках печь-ковш (УПК), а также продувка жидкой стали в сталеразливочном ковше инертным газом.

До 2000 г. в ККЦ доводку металла производили на агрегатах доводки стали (АДС) и установке усреднительной подготовки стали (УУПС). Дополнительный подогрев металла осуществляли методом химического нагрева, а принудительное перемешивание металла и его очистку от неметаллических включений — с помощью вдувания аргона через верхние фурмы. Доля вакуумированного металла в указанный период не превышала 5 % общего объема выпуска. Однако при дальнейшем развитии производства такие методы доводки не могли обеспечить требуемое качество металла. Проблема состояла в отсутствии возможности тонкой регулировки объема подаваемого инертного газа, поскольку образующиеся при верхней продувке газовые пузыри имели слишком большой размер (по диаметру рабочих сопел фурмы) и не могли эффективно очищать металл от неметаллических и газовых включений. Технология верхней продувки металла аргоном первоначально предусматривала использование фурм с защитным огнеупорным слоем, выполненным из штучных алюмосиликатных изделий. Эффективность таких фурм была невысока как по времени эксплуатации, так и по степени усреднения и очистки металла. Благодаря разработке и внедрению бетонных за-

*1 По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (4–5 апреля 2014 г., Москва).



Р. И. Абдрахманов

E-mail: Abdrakhmanov.RI@mmk.ru

Таблица 1. Сравнительный анализ методов продувки стали инертными газами в сталеразливочных ковшах ККЦ ОАО ММК

Сравниваемые показатели	Фурма для верхней продувки		Донная продувочная пробка
	монолитная	наборная	
Производительность одного изделия:			
мин	65	20	2200
плавки	6,5	2,5	40
Удельный расход огнеупоров, кг/т стали	0,21	0,46	0,03

ливных фурм появилась возможность повысить эффективность доводки стали за счет конструктивного решения технологии подачи аргона в расплав.

После ввода в 2000 г. в эксплуатацию в ККЦ двухпозиционной УПК производства «Фукс Системтехник» (LF), Германия, появилась возможность повысить качество подготовки металла за счет проведения следующих процессов: электронагрева жидкого металла в сталеразливочном ковше, десульфурации стали (наведение шлака в ковше), корректировки химического состава стали (введение легирующих материалов) и последующего усреднения ее состава и температуры продувкой аргоном через пористые продувочные блоки, устанавливаемые в дно сталеразливочных ковшей.

Внедрение технологии донной продувки значительно расширило технологические возможности агрегатов ВОС, а также позволило значительно снизить удельный расход огнеупорных материалов (табл. 1). Продувка инертного газа через донные пробки превзошла верхнюю продувку качеством перемешивания

металла без образования застойных зон на дне сталеразливочного ковша (рис. 1). Принимая во внимание рабочий объем сталеразливочного ковша ККЦ (385 т), для получения оптимального результата усреднения металла было решено установить два продувочных блока, расположенных в левой зоне ковша (см. рис. 1); наклон фурмы от вертикали 9°. Расположение пробок, а также расстояние между ними было определено таким образом, чтобы обеспечить максимальную площадь продувки металла инертным газом и образовать достаточно организованный поток перемешивания металла. Кроме того, указанная зона установки была выбрана с учетом конструктивных особенностей оборудования. Последующая эксплуатация сталеразливочных ковшей, оборудованных донной продувкой, подтвердила правильность выбора. Степень усреднения стали по температуре и химическому составу при использовании донных пробок в среднем составила 0,95 (оценка производилась по температуре и качеству металла в начале и конце разливки). При использовании верхней продувки через погружаемые фурмы придонные слои металла перемешивались недостаточно равномерно и степень усреднения едва достигала 0,80, так как расстояние от нижнего среза фурмы до горизонта дна составляло не менее 500 мм (см. рис. 1).

Устанавливаемые в дне сталеразливочных ковшей донные продувочные блоки должны быть надежными в жестких условиях эксплуатации. К ним предъявлялись специфические требования, такие как постоянство расхода газа при заданном диапазоне давлений, возможность обслуживания и контроля скорости износа.

Особенности эксплуатации. Основным методом обслуживания донных продувочных блоков, устанавливаемых в сталеразливочных ковшах ККЦ ОАО ММК, является очистка рабочей поверхности пробки методом противотока после разливки металла, когда через пробку продувается природный газ, позволяющий тестировать работоспособность продувочной пробки по наличию факела. При его отсутствии

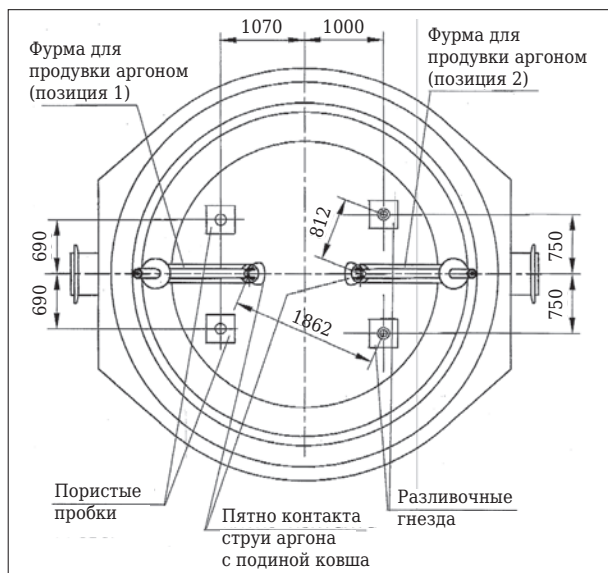


Рис. 1. Схема позиционирования фурм для верхней продувки и установки продувочных блоков в дне сталеразливочных ковшей

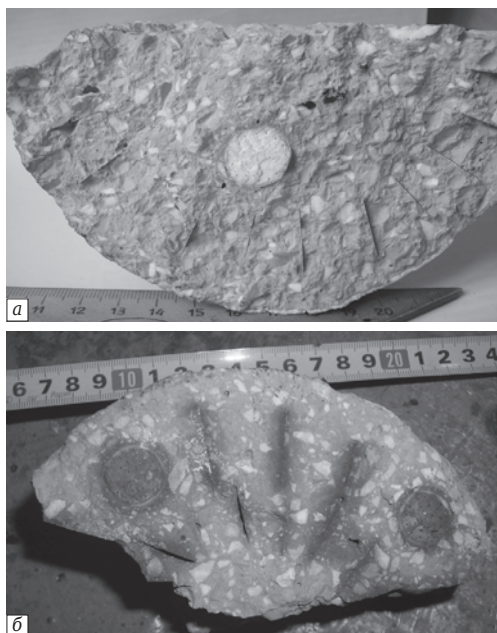


Рис. 2. Фрагмент продувочной пробки после эксплуатации: *а* — не загрязненной сажистыми отложениями; *б* — со следами сажистых включений

зоны установки блоков для продувки стали аргонem обрабатывают кислородной пушкой, позволяющей провести частичную очистку рабочей поверхности пробки от образовавшейся настыли. Однако в процессе обработки зачастую получается обратный эффект — вместо очистки пробки от настыли и улучшения продуваемости происходит частичное забивание рабочих каналов с последующим ухудшением продувки. Причина кроется в значительной разнице давлений природного газа и кислорода. Максимальное давление природного газа не превышает 6 бар. В то же время кислород подается на пушку под давлением не менее 10 бар (при отсутствии возможности тонкой регулировки), поскольку его используют для очистки каналов сталевыпускных блоков. Разница в давлении приводит к образованию коксующих включений в рабочих продувочных каналах и последующему ухудшению качества продувки. Даже при визуальном осмотре отработавших пробок наличие сажистых включений легко определяется по изменению цвета тела пробки — от розовато-белого до различных оттенков серого (рис. 2). Наличие углерода в пробке подтверждается результатами рентгеноспектрального микроанализа (рис. 3). Кроме сажистых образований в рабочих каналах продувочных пробок обнаружены пластинки железа, содержащие легирующие добавки (рис. 4).

Продувочные пробки находятся под давлением только при подключении и продувке

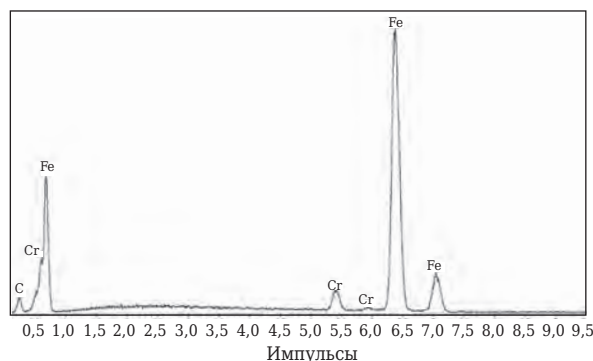


Рис. 3. Рентгенограмма анализа отложений в рабочих каналах продувочной пробки

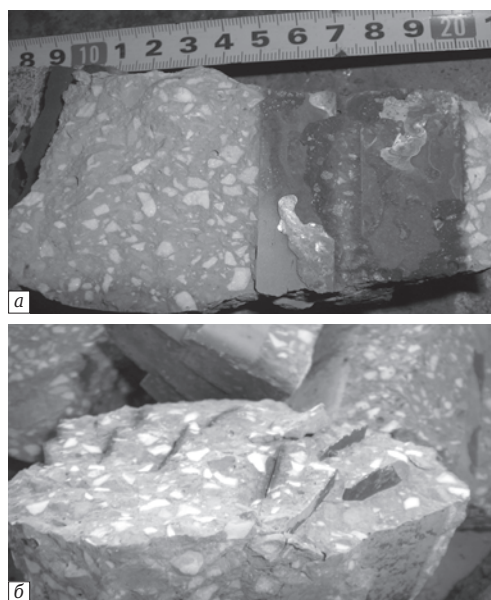


Рис. 4. Фрагменты (*а*, *б*) продувочных пробок с металлическими включениями в продувочных каналах

стали газом на агрегатах внепечной обработки стали. Однако в момент слива металла в сталеразливочный ковш из конвертера велика вероятность инфильтрации жидкой стали в продувочные каналы, последующего затвердевания в глубине пробки и ухудшения ее последующей работоспособности. Это предположение подтверждается результатами контроля состояния продувочных пробок после службы (см. рис. 4). Вероятность проникновения инфильтрата в продувочные каналы пробок может быть определена с учетом нескольких важных параметров — поверхностного натяжения стали, краевого угла смачивания, размеров продувочного канала и ферростатического давления. Определение размера продувочных каналов явилось одной из значимых задач, решенных в условиях ККЦ ОАО ММК.

С использованием общеизвестных параметров, требуемых для определения толщины

Таблица 2. Сравнительный анализ эффективности продуваемости донных пробок различной конструкции (с учетом усреднения технологических факторов)

Показатели сравнения	Серийные пробки	Опытные I (конструкция № 1)	Опытные II (конструкция № 2)
Эффективность продуваемости, %	87,4	90,8	96,8
Время продувки одной плавки, мин	52,2	51,8	62,0
Общая продуваемость, мин	2084	2148	2468
<i>Конструктивные особенности</i>			
Число продувочных каналов	54	24	74
Наличие дополнительных продувочных элементов	—	3 бара диам. 15 мм	8 бар диам. 15 мм
Толщина каналов, мм	0,19	0,20	0,15
<i>Причины ухудшения продувки</i>			
Ресурс продувки, %	37,2	27,7	45,5
Нестабильность эксплуатации, %	41,5	49,6	36,6
Подготовка ковша, %	7,7	8,8	11,4
Технологическая подготовка металла, %	6,5	5,8	4,5

щели d для сталеразливочных ковшей ККЦ, были рассчитаны ее оптимальные размеры*2:

$$d = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho gh} \cdot 1000000,$$

где σ — поверхностное натяжение стали (1,7 Н/м); ρ — плотность стали (7100 кг/м³); g — ускорение свободного падения (9,8 м/с²); θ — краевой угол смачивания ($\cos\theta = 0,97$); h — высота гидростатического давления стали (4,8–5,0 м).

По этой формуле была рассчитана оптимальная толщина продувочных каналов, которая составила 0,188–0,195 мм. Последующие испытания подтвердили эти расчетные показатели. Наиболее стабильные результаты продувки получены при использовании донных продувочных пробок, толщина каналов которых максимально приближена к расчетным значениям (табл. 2).

С 2006 г. в условиях ККЦ применяли донные продувочные блоки с 54 радиально сформированными каналами, расположенными по двум окружностям (рис. 6). При соблюдении условий эксплуатации эффективность донных продувочных блоков такой конструкции составляет 88–90 %. Однако воздействие отрицательных факторов — отсутствие своевременного подключения аргона, кратковременное выведение ковшей из оборота, нестабильность давления аргона в магистрали и т. д. — заметно снижает качество продувки независимо от типа продувочных блоков (см. табл. 2).

В 2012 г. были проведены испытания изделий, в конструкции которых кроме щелевых

Э, %; $\tau_{\text{ср}}$, мин

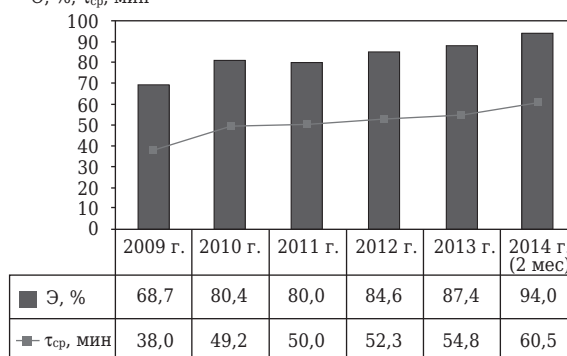


Рис. 5. Эффективность использования донной продувки в условиях ККЦ ОАО ММК



Рис. 6. Продувочные пробки с радиальным расположением продувочных каналов

каналов дополнительно имеются цилиндрические вставки с пористой структурой. Кроме того, эффективную работоспособность показали продувочные блоки, оборудованные двумя пробками (рис. 7). Основной объем продувки осуществляется через щелевые каналы, размер которых составляет 0,15 мм. Кроме того, имеющиеся в пробке 4 пористые цилиндрические вставки также имеют ориентированную

*2 Шварц, К. Изучение проникновения жидкого металла в продувочные пробки / К. Шварц, О. Краус // Огнеупоры и техническая керамика. — 2013. — № 4/5.

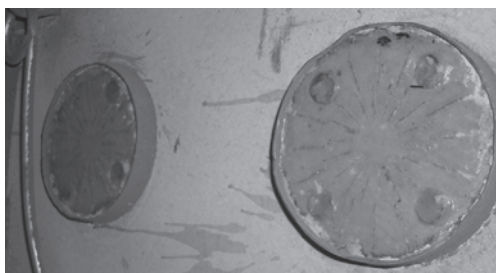


Рис. 7. Блок с двумя продувочными пробками для продувки стали аргоном



Рис. 8. Вид ориентированных каналов пористой вставки

структуру (рис. 8). Опыт эксплуатации донных продувочных систем (установочный блок + продувочная пробка) различных конструкций, а также анализ параметров эксплуатации показали, что в условиях ККЦ ОАО ММК эффективность продувки в большей степени зависит от условий использования и обслуживания (рис. 9). Анализируя полученную в ходе серийного использования информацию, а также руководствуясь опытом многочисленных испытаний донных продувочных блоков различных конструкций, можно сделать следующие выводы:

- отсутствие системы подачи аргона в продувочные пробки в момент выпуска металла из конвертера приводит к проникновению металла в каналы пробки и в последующем может явиться причиной снижения эффективности продувки;

- нестабильность эксплуатации сталеразливочных ковшей (выведение из оборота с установкой в стенд разогрева на длительный срок, длительный межплавочный простой с остыванием футеровки, длительное нахождение металла в ковше без подключения донной

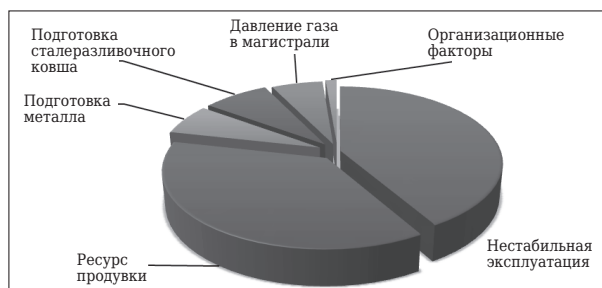


Рис. 9. Диаграмма распределения причин, влияющих на качество донной продувки

продувки) является основной причиной ухудшения продуваемости;

- отсутствие или неудовлетворительное качество проведения тестирования пробки после разлива металла приводит к забиванию рабочих каналов посторонними включениями и временному прекращению или значительно ухудшению донной продувки;

- в случае нестабильности давления инертного газа в магистрали отмечается снижение эффективности продувки;

- жесткие условия эксплуатации — длительность продувки плавки на агрегатах внепечной обработки стали, длительность выдержки металла в сталеразливочном ковше, методы обслуживания и технология эксплуатации — приводят к ресурсному прекращению продувки.


ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ближайшем будущем в условиях ОАО ММК планируется внедрить ряд проектов, которые позволят снизить влияние отрицательных факторов и достигнуть 100 %-ной эффективности донной продувки в условиях ККЦ. Наиболее перспективно внедрение системы с заменяемыми продувочными пробками. Такая модель продувочной системы позволит производить своевременную замену пробки независимо от стойкости футеровки сталеразливочного ковша и обеспечит донную продувку практически на уровне 100 % независимо от условий эксплуатации. ■

Получено 09.04.14

© Е. В. Бурмистрова, Р. И. Абдрахманов,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



VI международный конгресс и выставка «Цветные металлы-2014»

16–19 сентября 2014 г.

<http://nfmsib.ru/>

г. Красноярск, Россия



УДК 666.76:621.746.328.3

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОПРОВОДКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗЛИВКИ НА РАБОТУ СОРТОВЫХ МНЛЗ*

Приведен опыт освоения технологии непрерывной разливки на сортовых МНЛЗ на Челябинском металлургическом комбинате и Первоуральском новотрубном заводе. Рассмотрено влияние геометрии погружаемого стакана и стакана-дозатора в комплексе со стартовыми настройками технологических параметров МНЛЗ на запуск ручья. Даны рекомендации по повышению надежности работы сортовой МНЛЗ в период запуска и во время разливки сортовых заготовок.

Ключевые слова: МНЛЗ, непрерывная разливка, промежуточный ковш, погружаемые стаканы, стаканы-дозаторы, К-старт.

За последние 10 лет в России и странах СНГ запущено множество сортовых МНЛЗ. В период освоения технологии производства непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) возникают трудности старта ручьев, связанные с геометрией металлопроводки и настройками МНЛЗ. Это, в свою очередь, снижает производительность и увеличивает время выхода на проектную мощность сталеплавильного цеха. За период освоения технологии производства НЛЗ на Челябинском металлургическом комбинате (ЧМК) с 2004 по 2007 г. и Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ) с 2011 по 2012 г., по статистическим данным, на третьем месте по потерям ручьев — потери, связанные со стартом ручьев. Проблема была решена за счет использования и внедрения новых автоматических средств запуска ручья и совершенствования дизайна огнеупорной металлопроводки промежуточного ковша — стопора-моноблока, стакана-дозатора и погружаемого стакана.

Практически все современные сортовые МНЛЗ имеют функцию, при помощи которой первое наполнение кристаллизатора может контролироваться автоматически по специально заложенному алгоритму. Преимуществом такой системы является раскрытие стопора в один и тот же момент, а ее недостаток — это неспособность системы обнаружить какие-ли-

бо отклонения в объеме поступающей стали (слишком быстрое или слишком медленное) и неспособность автоматики реагировать на это должным образом. На некоторых металлургических предприятиях автоматический старт ручья используется постоянно, но требует выполнения следующих условий.

1. Температура стали в промежуточном ковше должна соответствовать требованиям технологии.

2. Жидкотекучесть стали должна соответствовать требованиям технологии.

3. Должен быть обеспечен равномерный нагрев всей футеровки промежуточного ковша.

4. Должен быть обеспечен равномерный нагрев погружаемых стаканов, стаканов-дозаторов и стопоров-моноблоков.

5. Должно быть обеспечено минимальное время от момента отключения нагрева промежуточного ковша до открытия шибера на сталеразливочном ковше.

6. Геометрия и качество металлопроводки промежуточного ковша должны обеспечивать надежное регулирование потока металла из промежуточного ковша в кристаллизатор.

Использовать функцию автоматического наполнения кристаллизатора на старте ручья нецелесообразно, если хотя бы одно из условий не выполняется на практике. Поэтому для надежного старта ручья первое наполнение кристаллизатора жидким металлом производится в ручном режиме.

За рубежом погружаемый стакан, который можно менять во время разливки, называют «submerged entry shroud» (SES, рис. 1, а), а цельный погружаемый стакан со стаканом-дозатором, который невозможно заменить, —

* По материалам Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (3–4 апреля 2014 г., Москва).



С. А. Ботников

E-mail: botnikov_sa@chf-trubodetal.ru

«submerged entry nozzle» (SEN, рис. 2, б). Погружаемый стакан SES устанавливают на стакан-дозатор (nozzle) с использованием специального держателя (манипулятора), закрепленного к промежуточному ковшу. За рубежом распространены в основном стаканы типа SEN, в то время как отечественные металлурги отдают предпочтение стаканам типа SES, так как работа с такими стаканами проще и не требует высокой культуры производства. Некоторые предприятия в России освоили технологию разлива на стаканах типа SEN (например, ПНТЗ). В 2011 г. на ПНТЗ освоена технология разлива на цельных стаканах SEN на круглую и квадратную заготовку: диаметром 150, 220, 460, 550 мм и сечением 150×150 мм². Сложность работы на стаканах SEN заключается в том, что при нарушении режима разогрева или при неслаженной организации технологического процесса в периоды разогрева стаканов и запуска серии высока вероятность их термической и механической поломки. Это, в свою очередь, снижает производительность МНЛЗ и останавливает всю технологическую цепочку. Преимущества и недостатки разливочных стаканов SES и SEN представлены в таблице. Таким образом, стаканы типа SEN имеют больше преимуществ по сравнению со стаканами SES, несмотря на то что этот тип стаканов в России используется не на всех многоручьевых МНЛЗ.

Запуск ручьев сортовой МНЛЗ становится затруднительным, если сечение заготовки малое, поэтому следует больше внимания уделять мелочам. Следует принимать во внимание геометрию металлопроводки, параметры системы контроля уровня стали в кристаллизаторе в период запуска ручья и порядок действий технолога на ручье.

Стопорная разливка подразумевает следующую систему поддержания уровня металла

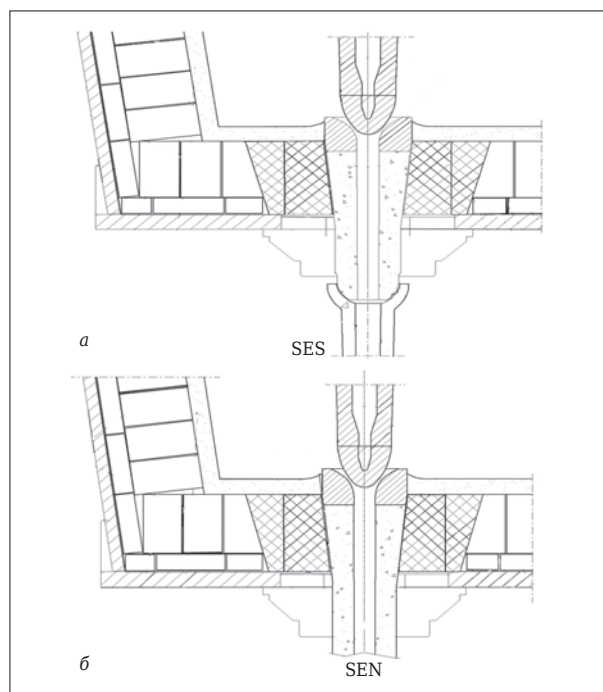


Рис. 1. Металлопроводка по типу SES (а) и SEN (б)

в кристаллизаторе (рис. 2). Заданную скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора (скорость литья) создают электродвигатели тянущего механизма МНЛЗ, а заданный уровень металла в кристаллизаторе поддерживает стопорный механизм. В процессе разлива стали на МНЛЗ стопорный механизм поддерживает уровень металла в кристаллизаторе за счет изменения потока металла из промежуточного ковша в кристаллизатор. Таким образом, для стопорной разливки скорость литья — величина постоянная, а поток металла — переменная.

Обычно для старта ручья на МНЛЗ задают следующие параметры: начальная скорость движения затравки, м/мин; максимальная ско-

Сравнение двух типов металлопроводки для разлива закрытой струей

Параметр	SES	SEN
Штучный расход металлопроводки на промежуточный ковш	Высокий (–)	Низкий (+)
Удельный расход металлопроводки на разлитую сталь	Высокий (–)	Низкий (+)
Масса одного комплекта	Высокая (–)	Низкая (+)
Стоимость	Дороже на 10–20 % стоимости SEN (–)	Дешевле (+)
Сложность технологии разлива	Простая (+)	Сложная (–)
Дополнительные средства и мероприятия для разогрева стакана перед запуском МНЛЗ	Не требуются (+)	Требуются (–)
Возможность замены стакана во время разлива	Да (+)	Нет (–)
Дополнительное оборудование для удержания стакана	Требуется (–)	Не требуется (+)
Использование уплотняющих вставок или аргона для защиты от вторичного окисления	Требуется (–)	Не требуется (+)
Вторичное окисление стали через разливочный стакан	Имеется (–)	Не имеется (+)
Возможность увеличения серийности	Имеется (+)	Не имеется (–)
Итого	«+» — 4 «–» — 7	«+» — 7 «–» — 4

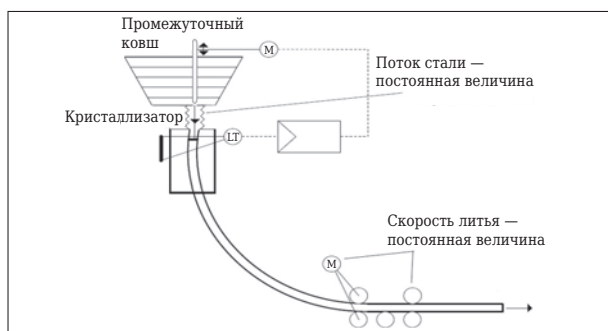


Рис. 2. Схема системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе для стопорной разливки: М — исполнительный привод тянущих валков или стопорного механизма; ЛТ — датчик уровня металла в кристаллизаторе

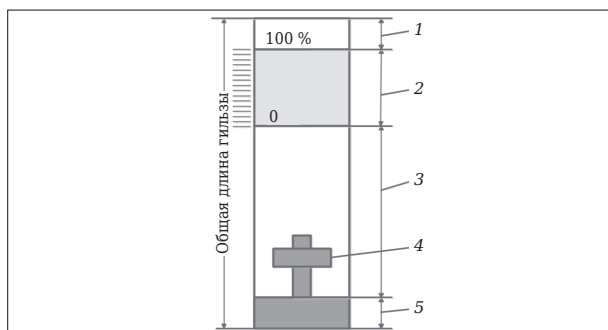


Рис. 3. Схема заполнения зон кристаллизатора сортовой МНЛЗ: 1 — зона верха кристаллизатора, невидимая для системы измерения уровня (~80 мм); 2 — зона измерения уровня металла в кристаллизаторе от 0 до 100 % (~200 мм); 3 — зона стали, невидимая для системы измерения уровня (зона наполнения при запуске ручья); 4 — замораживатель стали (головка затравки); 5 — зона ввода головки затравки в гильзу кристаллизатора (~100 мм)

рость движения затравки, м/мин; время ускорения от начальной до максимальной скорости движения затравки, с; коэффициент чувствительности стопора для старта (К-старт). К-старт определяет ошибку в системе контроля уровня металла в кристаллизаторе в соответствии с заданным уровнем и регулирует положение стопора. Чем больше К-старт, тем быстрее стопорный механизм будет реагировать на изменения уровня металла в кристаллизаторе. Следует также учитывать качество подготовки металла на участке внепечной обработки стали, так как холодный металл или низкая жидкотекучесть стали (высокое содержание в стали тугоплавких неметаллических включений) могут привести к потерям ручьев на старте или в период разливки.

Опыт работы сортовых МНЛЗ показывает, что неудачные запуски чаще всего происходят в основном на крайних ручьях промежуточного ковша из-за отклонения уровня металла в кристаллизаторе от заданного (перелив или уход уровня). Рассмотрим порядок действия тех-

нолога при запуске ручья на сортовых МНЛЗ. Когда ручей находится в режиме разливки и все условия по «готовности к разливке» выполнены, а уровень стали в промежуточном ковше достиг установленного, технолог производит первое открытие стопора при помощи ручного пульта управления или автоматически при заданном уровне металла в промежуточном ковше, чтобы произвести наполнение кристаллизатора. В практике непрерывной разливки ручное открытие стопора зарекомендовало себя как наиболее надежный способ.

Когда уровень металла достигает 20 % (рис. 3), стопор переключается в автоматический режим и контролирует уровень стали в кристаллизаторе в соответствии с установленными технологическими параметрами. При достижении уровня металла 20 % в кристаллизаторе начинается движение затравки согласно установленным технологическим параметрам старта ручья. Если стопор в данный момент имеет небольшое, но достаточное раскрытие, автоматическая система принимает на себя управление, выполняя лишь небольшую настройку положения стопора. Если стопор открыт очень высоко, то системе автоматического контроля уровня приходится значительно менять его положение, что может привести к нестабильности в работе ручья и даже всей МНЛЗ.

Нестабильная работа ручья будет заключаться в следующем. Автоматическая система поддержания уровня металла в кристаллизаторе может привести к резонансной работе стопорного механизма, т. е. будут происходить колебания уровня металла в кристаллизаторе. Эти колебания могут привести к одной из проблем — замерзанию металлопроводки из-за пульсирующего поступления металла в тело стакана и закрытия стопора или «захвату» погружаемого стакана затвердевающей заготовкой в кристаллизаторе. Не исключаются также прорывы кристаллизующейся корочки металла под кристаллизатором из-за подвисания слитка в кристаллизаторе, ухода заготовки в нижнюю зону кристаллизатора или попадания шлакообразующей смеси в тело корочки НЛЗ. В итоге все это приводит к потерям ручьев.

К-старт применяется для перехода с ручного режима на автоматический до тех пор, пока не завершится линейное увеличение скорости вытягивания НЛЗ тянуще-правильным агрегатом (ТПА) до максимума; затем система использует коэффициент чувствительности для разливки (К-разливка), значение которого ниже более чем в 2 раза. Параметр К-старт должен быть настроен так, чтобы уровень металла не выходил за верхнюю границу диапазона из-

мерения уровня, но при этом не должен сильно занижать уровень, чтобы не было его падения за нижнюю границу измеряемого диапазона.

Рассмотрим, каким образом действия технолога МНЛЗ и К-старт могут влиять на уровень металла в кристаллизаторе на старте. Когда в ручном режиме открывают стопор высоко, уровень в кристаллизаторе повышается очень быстро. В момент, когда уровень достигает 20 %, автоматический режим принимает управление на себя. В этом случае К-старт не закроет стопор достаточно быстро, и уровень достигнет более 100 %, когда стопор начнет закрываться с большим ускорением, чтобы предотвратить перелив. Когда затравка начинает ускоряться, уровень уменьшается, и технологу придется повторно открывать стопор. Эти действия часто ведут к прорывам под кристаллизатором или переливам.

Для обеспечения плавного запуска необходимо, чтобы величина раскрытия стопора в момент, когда уровень стали достиг 20 %, была примерно такой же, какая обычно требуется при разливке после завершения запуска ручья. При этом К-старт легко контролирует повышение уровня стали и не приводит к значительным изменениям положения стопора. Если стопор открыт слишком высоко, он не успеет отреагировать достаточно быстро, и уровень выходит за границы диапазона измерения. Данную ситуацию можно исправить, используя более высокий коэффициент чувствительности, но это может привести к колебаниям системы контроля уровня, что также может стать причиной остановки на ручье.

На рис. 4 показаны примеры запуска ручья по правильной и неправильной схемам открытия стопора. На рис. 4, а показан неправильный запуск ручья за счет медленного открытия стопора. За счет быстрого открытия стопора и поэтапного снижения позиции стопора обеспечивается плавный запуск ручья (см. рис. 4, б). Начало понижения позиции стопора определяется моментом стабильного потока стали, т. е. пока не появятся брызги (искры) металла из кристаллизатора. На рис. 5 представлен общий алгоритм запуска ручья на сортовой МНЛЗ. Переход от ручного режима управления стопором на автоматическое обеспечивает включение тянущих валков, качание кристаллизатора и подачу воды на зону вторичного охлаждения.

Малое сечение кристаллизатора (например, квадратное 130×130 мм² или круглое диаметром 150 мм) усугубляется еще и присутствием погружаемого стакана внутри него. Стакан занимает некоторое свободное место,

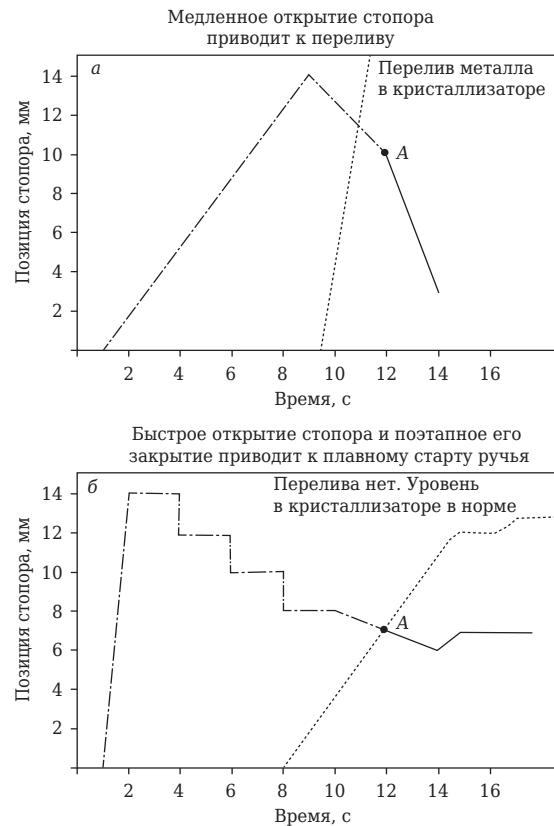


Рис. 4. Схемы открытия стопора и скорость набора уровня металла в кристаллизаторе: — — — — — ручное регулирование позиции стопора; — — — — — автоматическое регулирование позиции стопора; — уровень металла в кристаллизаторе; А — точка перехода от ручного управления на автоматическое

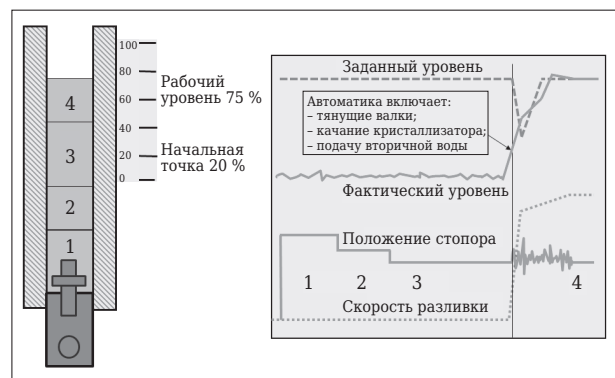


Рис. 5. Алгоритм запуска ручья на МНЛЗ

уменьшая объем кристаллизатора, и приводит к тому, что заполнение начинает резко ускоряться, когда уровень стали достигает погружаемого стакана. К тому же для удовлетворительной работы шлакообразующей смеси необходимо обеспечить расстояние от стенки кристаллизатора до погружаемого стакана минимум 25 мм. Если расстояние меньше, то смесь будет затвердевать, окомковываться и приводить к трудностям в процессе разливки.

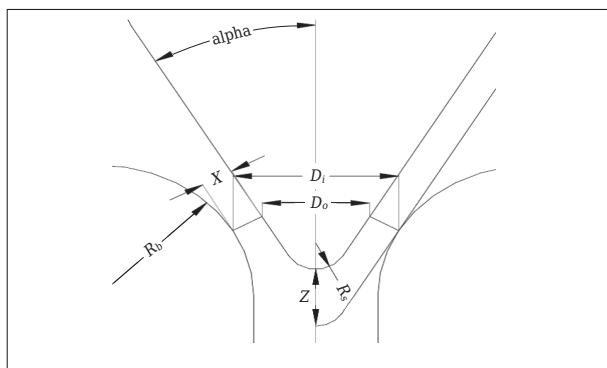


Рис. 6. Схема обозначения размеров стопорной пары (стопор-моноблок и стакан-дозатор)

В зависимости от высоты поднятия стопора производится расчет раскрытой площади, через которую протекает жидкий металл. По данной площади рассчитывается поток металла (в кг/мин). Для исключения технических ошибок при выборе геометрии разливочных стаканов рекомендуется производить расчет для каждой проектируемой металлопроводки МНЛЗ. Диаметр отверстия в верхней части стакана-дозатора SEN или стакана-дозатора промежуточного ковша должен быть небольшим, обычно для сортовой заготовки 36–40 мм. Таким образом, правильно выбранные наружный диаметр погружаемого стакана и внутреннее отверстие стакана-дозатора промежуточного ковша являются залогом успешного запуска ручья.

Для проверки правильности геометрии разливочных стаканов промежуточного ковша рекомендуется рассчитывать поток металла в зависимости от высоты открытия стопора. Для расчета потока металла учитывают следующие параметры стопорной пары (рис. 6): угол конуса стопора (α); радиус закругления конуса стопорного яблока R_s ; диаметр отверстия стакана-дозатора; радиус закругления стакана-дозатора R_b . На стартовые параметры сортовой МНЛЗ влияют следующие размеры металлопроводки: наружный диаметр погружаемого стакана; внутренний диаметр стакана-дозатора SEN или стакана-дозатора промежуточного ковша.

Как указывалось выше, на практике работы сортовых МНЛЗ наблюдалось, что наибольшее количество неудачных запусков приходится на крайние ручки промежуточного ковша. Причина этого заключается в том, что сталь в крайней зоне промежуточного ковша самая холодная: три стенки промежуточного ковша отбирают тепло из жидкой стали. Это может привести к тому, что первая струя из промежуточного ковша вытекает медленно, приходится открывать стопор высоко, затем поток стали становится быстрее и возникает перелив. Установле-

но, что когда крайние ручки перезапускаются после неудачного старта, то они запускаются нормально. Возможно, это происходит потому, что промежуточный ковш прогрет и уровень стали в ковше высок, т. е. первые порции металла жидкотекучие и в этом случае открывать стопор высоко не нужно. Рекомендуется запускать крайние ручки на несколько минут позже после запуска центральных ручьев, чтобы обеспечить хорошую жидкотекучесть стали. При установке стакана-дозатора в промежуточный ковш необходимо, чтобы верхняя часть стакана-дозатора выступала минимум на 30 мм над дном промежуточного ковша. В случае расположения верхней части стаканов-дозаторов на одном уровне с дном промежуточного ковша первые порции стали будут замерзать у нижней части стопора, что приведет к усложнению процесса запуска. Это особенно характерно для крайних ручьев, к которым приходит более холодная сталь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе опыта работы МНЛЗ ЧМК (квадрат сечением $180 \times 180 \text{ мм}^2$, круг диаметром 150 мм) и ПНТЗ (квадрат сечением $150 \times 150 \text{ мм}^2$, круг диаметрами 150 и 220 мм) определены рекомендации по повышению надежности работы сортовых МНЛЗ в период запуска и во время разливки:

1. Регулировать первое наполнение кристаллизатора металлом необходимо ручным способом.
2. Первое открытие стопора должно быть достаточно быстрым. Понижать позицию стопора следует постепенно, когда пойдет стабильный поток стали.
3. В последнюю очередь рекомендуется запускать крайние ручки.
4. Верхняя часть стакана-дозатора промежуточного ковша или погружаемого стакана SEN должна выступать над футеровкой дна промежуточного ковша примерно на 30 мм.
5. Диаметр отверстия в верхней части стакана-дозатора SEN или стакана-дозатора промежуточного ковша должен быть небольшим — обычно для сортовой разливки 36–40 мм.
6. Выбор металлопроводки для сортовой МНЛЗ должен производиться в комплексе с технологией непрерывной разливки стали с учетом марочного сортамента и особенностей работы автоматики. ■

Получено 09.04.14
© С. А. Ботников, 2014 г.

Д. Т. Н. И. Д. Кашеев¹ (✉), С. А. Поморцев², А. А. Ряплова²¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия² ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

УДК 666.974.2:666.762.1]:669.1.043.1

РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО И ГЛИНОЗЕМИСТОГО СОСТАВОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Приведены результаты разработки серии бетонов с низким содержанием цемента для различных условий службы в тепловых агрегатах черной металлургии. В производстве смесей используется широкий спектр заполнителей — от плавленного корунда до шамота. Температура применения бетонов в зависимости от состава заполнителя от 1450 до 1750 °С. Бетоны не разупрочняются при нагреве и обладают высокими качественными показателями. Практическое использование бетонов в тепловых агрегатах и ковшах для транспортировки металла на Магнитогорском металлургическом комбинате показало их высокую эксплуатационную стойкость.

Ключевые слова: низкоцементные бетоны, бетонные смеси, заполнитель, высокоглиноземистый цемент (ВГЦ), коррозионная стойкость, шлакоустойчивость.

В настоящее время перспективным направлением в России и за рубежом является изготовление изделий и футеровок из сухих бетонных смесей. Доля огнеупорных бетонов в общем объеме отечественной огнеупорной продукции составляет примерно 25 % [1]. ООО «Огнеупор» наращивает производство огнеупорных виброналивных бетонов, не уступающих по качественным и эксплуатационным показателям импортным аналогам, а с 2010 г. занимается разработкой низкоцементных бетонов, что позволяет без ухудшения высокотемпературных свойств использовать различные огнеупорные заполнители. Невысокое содержание цемента в составе бетона сводит к минимуму негативное влияние процессов, происходящих при твердении цемента, которые в традиционных бетонах являются причиной так называемого «интервала разупрочнения». Технические и экономические преимущества низкоцементных бетонов способствуют их широкому применению на всех переделах металлургического производства [2, 3]. Сферы применения низкоцементных бетонов постоянно расширяются, что связано с рядом существенных преимуществ и возможностей [2, 3]:

- с повышенной коррозионной стойкостью и деформационной устойчивостью, так как со-

держание СаО в низкоцементных бетонах существенно ниже, чем в обычных;

- с более высокой прочностью как при более низких, так и при высоких температурах, чем у обычных бетонов;

- с мелкопористой структурой, которая создает условия для повышенной термостойкости за счет большего количества мелких пор. Эти поры тормозят развитие микротрещин на ранней стадии их формирования.

Постоянно растущие требования к качеству огнеупоров стимулируют производителей модернизировать оборудование и использовать новые виды сырья для производства продукции. В 2013 г. в ООО «Огнеупор» введена в эксплуатацию современная автоматизированная линия по производству сухих смесей. На участке установлены смесители фирмы «Eirich», позволяющие производить дозирование и качественное смешение, в том числе высокодисперсных специальных добавок в объеме смеси. Это значительно повысило качество выпускаемой продукции. Участок имеет бункерную эстакаду, рассчитанную на многокомпонентность составов смесей, и электронные весовые дозаторы. В производстве смесей используется большое количество различных заполнителей: плавленный корунд, синтетические плавленные порошки системы $Al_2O_3-SiO_2$, спеченные материалы на основе природного алюмосиликатного сырья (глин, каолинов и др.). Классификация заполнителей осуществляется на дробильно-помольном участке, позволяющем получать узкофракционные порошки.

В процессе отработки технологии в качестве вяжущего использовали смесь 10 % вы-



И. Д. Кашеев

E-mail: kir77766617@yandex.ru

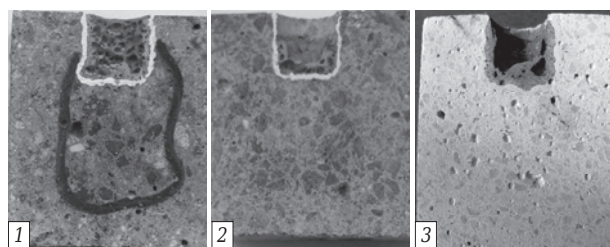


Рис. 1. Образцы составов 1–3 после испытания на шлакоустойчивость

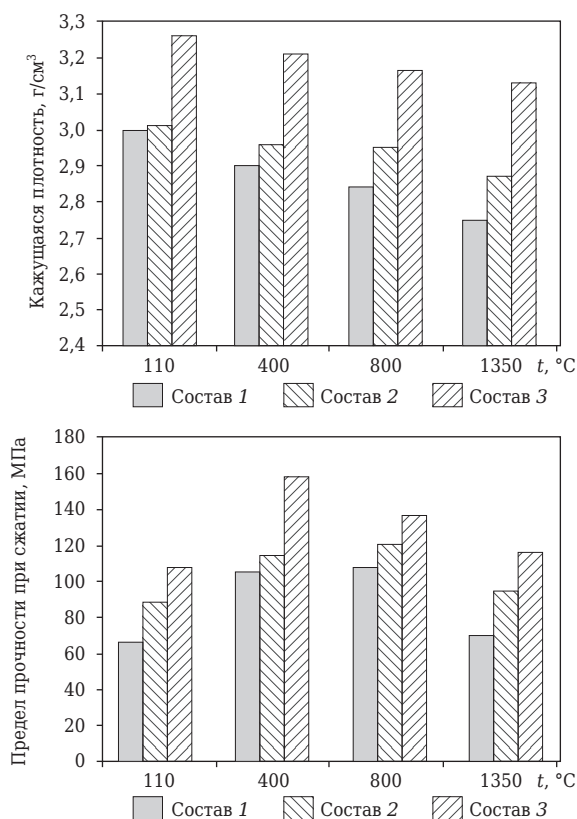


Рис. 2. Влияние снижения доли ВГЦ в бетонной смеси и усовершенствования дискретной матрицы огнеупорного бетона составов 1–3 на его кажущуюся плотность и предел прочности при сжатии

сокоглиноземистого цемента (ВГЦ) и 10 % реактивного глинозема. Регулирование реологических свойств бетонов осуществляли введением суперпластификатора С-3 и триполифосфата натрия (состав 1). Дальнейшими исследованиями исходная дискретная матрица была усовершенствована за счет снижения количества ВГЦ и регулирования количества высокодисперсного корунда в составе шихты, содержания в ней диспергирующих компонентов и армирующих волокон для ускорения процессов сушки и уменьшения внутренних напряжений в бетоне (составы 2 и 3).

Физико-керамические свойства бетонных смесей определяли на лабораторных образцах

кубах с ребром 70 мм по ГОСТ Р 5241, изготовленных виброформованием. После твердения и термообработки на образцах определяли кажущуюся плотность, водопоглощение, открытую пористость и предел прочности при сжатии согласно ГОСТ 2409. Шлакоустойчивость образцов оценивали тигельным методом в высокотемпературной печи. С этой целью в углубление тигля засыпали шлак, измельченный до зерен размерами менее 0,5 мм. Образцы нагревали со скоростью 700 °C/ч до 1400 °C с выдержкой при конечной температуре в течение 2 ч. Затем печь охлаждали, а образцы распиливали алмазным инструментом по центру углубления. Образцы после испытания на шлакоустойчивость показаны на рис. 1.

Анализ данных свидетельствует, что образец состава 1 отличается от образцов составов 2 и 3 с усовершенствованной матрицей повышенной пропиткой шлаком (см. рис. 1); площадь пропитки составляет 2113,2 мм², площадь разъедания 51,8 мм². Образцы составов 2 и 3 обладают высокой стойкостью к воздействию металла и шлака за счет снижения пористости до 8,6 % (состав 3) и содержания муллиты, синтез которого сопровождается уплотнением и упрочнением образцов. По результатам испытаний площадь разъедания шлаком образца состава 2 от 40,8 до 51,5 мм²; у образца состава 3 отмечена глубина шлакопропитки от 60,8 до 65,7 мм², шлакоразъедание не выявлено. Свойства исследуемых образцов показаны на рис. 2. Снижение доли ВГЦ в бетонной смеси и усовершенствование матрицы за счет введения дисперсных составляющих и специальных добавок значительно улучшают физико-химические и структурные свойства образцов (см. рис. 2). Их свойства достаточны для эксплуатации плотных бетонов в металлургическом производстве.

Сравнение свойств разработанных составов огнеупорных бетонов (см. рис. 2) показывает, что усовершенствование матричной системы приводит к увеличению кажущейся плотности (с 2,75 до 2,87–3,13 г/см³), предела прочности при сжатии образцов после термообработки при 1350 °C (с 69,0 до 93,1–114,9 МПа). После термообработки бетона при 400 °C его открытая пористость снизилась с 15,7 до 10,9–8,6 %, а после термообработки при 1350 °C — с 24,5 до 20,3–18,2 %. Водопотребность бетона при усовершенствовании матричной системы снизилась с 7,0 (состав 1) до 4,5–5,3 % (составы 2 и 3), что позволило ускорить процессы сушки и термообработки изделий, а также улучшить эксплуатационные свойства бетонов. Долговечность и качество смесей были достигнуты

Таблица 1. Физико-химические показатели бетонных смесей различных марок

Показатели	Норма для марки								
	КБС-90	КБС-93	ВБС-60	ВБС-70	ВБС-72	ВБС-75	ВБС-80	ШБС-45	ШБС-50
Массовая доля, %:									
Al ₂ O ₃ , не менее	90,0	93,0	60,0	70,0	72,0	75,0	—	45,0	50,0
(Al ₂ O ₃ + Cr ₂ O ₃), не менее	—	—	—	—	—	—	80,0	—	—
Fe ₂ O ₃ , не более	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	—	2,8
CaO, не более	2,5	2,5	3,5	3,5	4,0	4,0	5,5	4,0	3,5
Массовая доля влаги в смеси, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Кажущаяся плотность бетона после сушки при 110 °С, г/см ³ , не менее	3,00	3,10	2,40	2,40	2,60	2,60	2,80	2,00	2,10
Предел прочности при сжатии бетона, МПа, не менее:									
после сушки при 110 °С	60	60	50	40	50	50	50	50	50
после термообработки при 400 °С	—	—	40	—	40	40	40	35	35
после термообработки при 1350 °С	60	60	—	50	—	—	—	—	—

Таблица 2. Физико-химические показатели опытных комплектов бетонных изделий для МНЛЗ № 6 ККЦ ОАО ММК

Показатели	ВБС-80	КБС-93
Химический состав бетонных смесей, мас. %:		
Al ₂ O ₃	82,94	95,94
Fe ₂ O ₃	0,51	0,17
CaO	6,00	2,31
Водопоглощение*, %	5,9–6,9/6,4	3,8–4,5/4,1
Предел прочности при сжатии*, МПа	50,5–62,6/56,8	42,8–101,0/72,3
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,82	3,21

* В числителе — предельные значения, в знаменателе — средние.

благодаря применению современных сырьевых и связующих материалов, оптимизированного гранулометрического состава и использованию в матричной системе ультрадисперсных специфических добавок, таких как активные формы глинозема и дисперганты зарубежного производства. Полипропиленовая фибра повышает способность бетона к деформации без разрушения, уменьшая тем самым размер и количество трещин, а также способствует сохранению прочности бетона.

На основании проведенных исследований разработана серия огнеупорных бетонов алюмосиликатного и глиноземистого составов для службы при температуре от 1450 до 1750 °С. Бетонные смеси применяют для футеровки различных элементов тепловых агрегатов и изготовления огнеупорных изделий. В табл. 1 приведены качественные показатели бетонных смесей.

Составы низкоцементных бетонов являются многокомпонентными. Это усложняет технологию их производства, но придает ей гибкость, возможность изменять вещественный состав в соответствии с требованиями заказчика. Вы-

бор марки бетона ведется на основе базового рецепта, в который вносятся корректировки на основании результатов испытаний опытно-промышленной партии продукции у потребителя. Приготовление бетона из разработанных смесей у потребителя не требует особых условий. Бетон можно готовить в обычном бетоносмесителе, при этом он обладает хорошими реологическими свойствами и удобоукладываемостью.

Разработанные смеси серийно поставляют на Магнитогорский металлургический комбинат для изготовления вибролитых огнеупорных изделий различных конфигурации и назначения, используемых в сталеплавильных агрегатах и ковшах для транспортировки металла: фурм для продувки и обработки металла, «бойных» и страховочных плит, фильтрующих перегородок и порогов, гнездовых блоков, защитных колец, стартовых труб и т. д.

На участке выпуска бетонных смесей ООО «Огнеупор», оснащенном смесителем интенсивного действия и вибростолами с регулируемой частотой вибрации, изделия производятся методом виброформования с последующей тепловлажностной обработкой в пропарочной

камере. Парообработка изделий ускоряет процессы гидратации высокоглиноземистого цемента и сокращает время твердения бетона. Термообработку изделий осуществляют в сушилах с автоматизированной системой регулирования температуры в пределах до 400 °С и длительности термообработки.

Испытания разработанных бетонов подтвердили их высокую конкурентоспособность на рынке неформованных огнеупоров. В табл. 2 приведены качественные показатели опытных комплектов (согласно заключению центральной лаборатории контроля ОАО ММК) для МНЛЗ № 6 кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ОАО ММК, состоящих из фильтрующей перегородки, порога, турбостопа и гнездового блока.

Качественные показатели серийных бетонных изделий в зависимости от марки смеси после термообработки при 400 °С: кажущаяся плотность от 2,75 до 3,20 г/см³, предел прочности при сжатии от 50 до 105 МПа, линейная

усадка 0,1–0,2 %. После термообработки при 1350 °С кажущаяся плотность изделий увеличилась с 2,60 до 3,12 г/см³, предел прочности при сжатии повысился с 65 до 95 МПа, линейная усадка уменьшилась до 0,2 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана технология бетонных смесей с низким содержанием цемента для различных условий службы в тепловых агрегатах черной металлургии. Для производства смесей используют различные заполнители — от плавленного корунда до шамота. Температура применения бетонов в зависимости от состава находится в пределах от 1450 до 1750 °С. Бетоны не разупрочняются при нагреве и обладают пределом прочности при сжатии до 115 МПа. Практическое использование бетонов в тепловых агрегатах и ковшах для транспортировки металла на Магнитогорском металлургическом комбинате показало их высокую эксплуатационную стойкость.

Библиографический список

1. **Суворов, С. А.** Периклазовые бетоны с пониженной влажностью для бойных плит и перегородок промежуточного ковша : тезисы Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (29–30 марта 2012 г., Москва) / С. А. Суворов, А. П. Шевчик // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 78.
2. **Очагова, И. Г.** Мировая практика производства и применения огнеупоров в сталеплавильном производстве / И. Г. Очагова // Новые огнеупоры. — 2000. — № 4. — С. 117–119.

3. **Примаченко, В. В.** Алумосиликатные низкоцементные бетоны для футеровок элементов металлургических агрегатов / В. В. Примаченко [и др.] // Металлургия и горнорудная промышленность. — 2003. — № 5. — С. 64–66. ■

Получено 16.05.14

© И. Д. Кащеев, С. А. Поморцев, А. А. Ряпова,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

57th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2014



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

57-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОЛЛОКВИУМ ПО ОГНЕУПОРАМ «ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

24 – 25 сентября 2014 г.
г. Аахен, Германия

Тематика:

- | | | |
|----------------------------|---|------------------------|
| ■ Чугун, сталь | ■ Металлургия, разливка | ■ Монтаж и сервис |
| ■ Медь | стали | футеровки |
| ■ Литейный чугун | ■ Техника литья | ■ Износ |
| ■ Цветные и легкие металлы | ■ Формованные и неформованные огнеупоры | ■ Управление качеством |
| | | ■ Утилизация |

<http://www.feuerfest-kolloquium.de/>

Д. Т. Н. Г. В. Воронов (✉), д. т. н. М. В. Антропов, О. В. Порох

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

УДК 666.187.2:621.365.2]:662.612.321/322

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ СОВРЕМЕННОЙ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Проанализирована типичная схема расположения горелочных устройств в рабочем пространстве современной дуговой сталеплавильной печи. Сформулированы условия оптимального размещения топливосжигающих устройств и предложена схема их рационального расположения. Особое внимание уделено энергетически эффективной и безопасной эксплуатации газокислородных и комбинированных горелок, улучшению условий службы огнеупорной футеровки шлакового пояса и электродов.

Ключевые слова: газокислородная горелка (ГКГ), комбинированная горелочная фурма (КГФ), аэродинамический угол, проекция факела, теплообмен, дуговая сталеплавильная печь (ДСП).

Вопрос обеспечения высокой производительности и энергетической эффективности дуговых сталеплавильных печей (ДСП) и эксплуатационной надежности их футеровки заслуживает особого внимания. Наметилась устойчивая тенденция к комплексному использованию различных способов интенсификации сталеплавильного процесса, в частности стеновых газокислородных горелок (ГКГ) и комбинированных горелочных фурм (КГФ). Такие устройства прочно вошли в практику применения и стали стандартным оборудованием ДСП. Однако результаты эффективного применения топливокислородных горелок до настоящего времени остаются малоисследованными.

Стандартные предложения зарубежных фирм, поставляющих электросталеплавильное оборудование в Россию, на наш взгляд, не удовлетворяют современным требованиям энергетической эффективности и промышленной безопасности. Этот вывод возник из опыта промышленной эксплуатации дуговых сталеплавильных агрегатов на металлургических предприятиях Уральского региона.

Значение ГКГ и КГФ для организации сталеплавильного процесса в современной ДСП очень велико. С помощью них решается ряд технологических задач, направленных на увеличение производительности печи и сокращение продолжительности плавки. Благодаря работе этих устройств появляется возможность использовать альтернативные источники теп-

ла и экономить часть электроэнергии, расходуемой за весь период плавки. Значительное снижение удельного расхода электроэнергии и электродов при использовании газокислородных горелок не вызывает сомнений [1].

Дополнительное использование энергии топлива в рабочем пространстве теоретически способствует существенному улучшению основных показателей работы печи, однако положительный эффект в таком случае существенно зависит от выбранной схемы размещения горелочных устройств и режима их работы [2].

В настоящей работе исследуется схема горизонтального расположения ГКГ и КГФ на действующей печи. Согласно данным [3], величина аэродинамического угла раскрытия газокислородного факела $\alpha_{а.д} \approx 37^\circ$. Это позволяет спроецировать на поверхность ванны границы распространения газовых потоков.

На рис. 1, а показано существующее размещение топливосжигающих устройств (ТСУ), при котором фактически невозможно обеспечить быстрый и равномерный нагрев по всей поверхности шихты. При работе печи образуется перегретая область А, где шихта быстро нагревается и оседает. Одновременно в пространстве печи сохраняется холодная область В, в которой нагрев шихты занимает большее время. Вследствие неравномерного нагрева и усадки возможны обвал шихтовой массы с повреждением электродов и нестабильное горение электрической дуги.

Кроме того, радиальное расположение горелок, обращенных к центру печи, не создает предпосылок для циркуляции продуктов сгорания в горизонтальной плоскости и интенсификации конвективного теплообмена на шихту. Направление факелов ТСУ на электроды становится причиной их преждевременного



Г. В. Воронов

E-mail: dinari-sha@yandex.ru

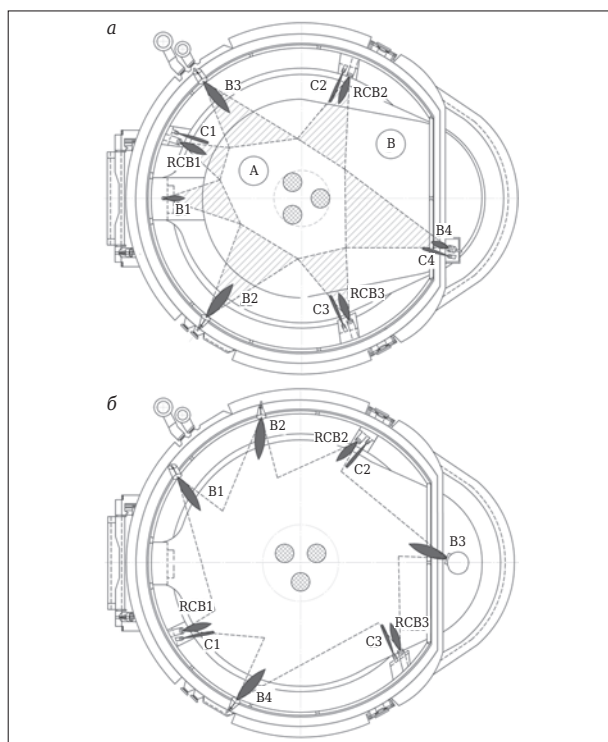


Рис. 1. Схема расположения ТСУ: *а* — существующее размещение; *б* — предложенный вариант: RCB1–RCB3 — КГФ; B1–B4 — стеновые ГКГ; C1–C4 — фурмы для подачи углеродсодержащих материалов

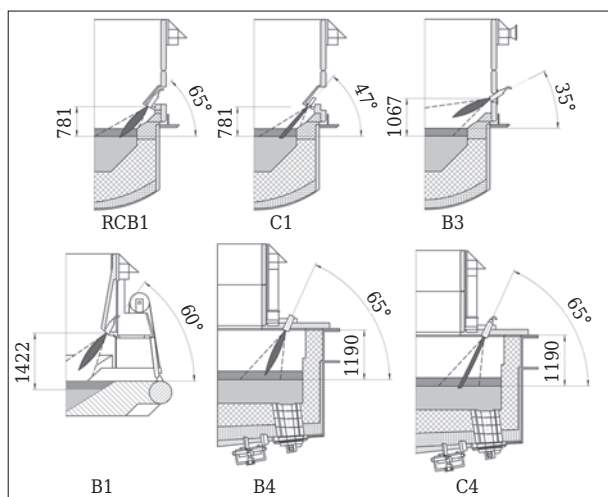


Рис. 2. Схема вертикального размещения ГКГ и КГФ по существующему варианту

износа. Под действием потока высокотемпературных газов в присутствии кислорода графит электродов начинает интенсивно окисляться и выгорать, в результате снижается механическая прочность электродов, увеличивается их удельный расход.

На рис. 1, *б* показана предложенная авторами схема размещения топливосжигающих устройств. Из анализа рисунка следует, что аэродинамическое поле в горизонтальной

плоскости ванны стало равномерным. Не участвующая в теплообмене зона *В* практически исчезла. В данном случае горелки размещены тангенциально, что создает хорошие условия для циркуляции газов в рабочем пространстве печи и интенсифицирует передачу тепла к шихте. Подобное размещение «угольных» фурм обеспечит равномерное распределение углеродсодержащих порошков и поддержание стабильного слоя вспененного шлака на всей поверхности сталеплавильной ванны.

Существенное значение имеет установка горелочных устройств в вертикальной плоскости (рис. 2). На современных печах стационарные ГКГ и КГФ принято располагать в защитных боксах, на внутренней стороне стеновых водоохлаждаемых панелей, вблизи поверхности плавильной ванны. В этом случае оптимальные условия теплопередачи обеспечиваются последовательным прохождением горячих газов через весь слой загруженной шихты.

Размещение горелки *B1* нерационально, поскольку она находится непосредственно над проемом рабочего окна печи и значительно удалена от уровня плавильной ванны. После проседания шихты довольно быстро прекращается ее контакт с факелом, условия конвективного теплообмена и нагрев в этой зоне становятся неэффективными.

Горелка *B4* в эркере печи по причине своего стационарного расположения и большого наклона в вертикальной плоскости имеет ограниченную зону действия. Процесс прогрева шихты в эркерной зоне может затянуться. В этой части печного пространства целесообразно установить подвижную ГКГ с возможностью перемещения в вертикальной плоскости и поворота в горизонтальной на угол до 65°. Факел этой горелки мог бы перемещаться от нагретых к относительно холодным зонам. Таким образом, можно в несколько раз расширить прогреваемую зону в области эркера. В жидкие периоды плавки эркерную горелку следует полностью выводить из рабочего пространства печи.

В расположении комбинированных горелочных фурм существует проблема соприкосновения аэродинамических границ факела с поверхностью огнеупорной футеровки стен и откосов плавильной ванны. При температуре газокислородного факела до 2700 °С существует опасность оплавления огнеупоров футеровки. Разрушение огнеупоров в период работы горелочных устройств может происходить из-за резкого колебания температур. Кроме того, периклазоуглеродистые и смолодоломитовые огнеупоры теряют углерод, находясь в контакте с

окислительными газами при высокой температуре [4]. Обезуглероженный слой огнеупора, в котором выгорел углерод (графит), характеризуется пониженной прочностью, повышенной пористостью и низкой сопротивляемостью к размыванию расплавом. Обезуглероживание огнеупоров резко сокращает срок их службы, стойкость футеровки, увеличивает вероятность загрязнения стали неметаллическими включениями.

На рис. 3 показана схема вертикального расположения горелок, которая позволит решить эти проблемы. Итогом исследования следует считать ряд практических рекомендаций по оптимальному размещению топливо-кислородных горелок в рабочем пространстве ДСП.

Реализация указанных предложений не требует значительных капиталовложений и существенного изменения конструкции печи. По предварительным расчетам, рекомендованные мероприятия позволят расширить зону актив-

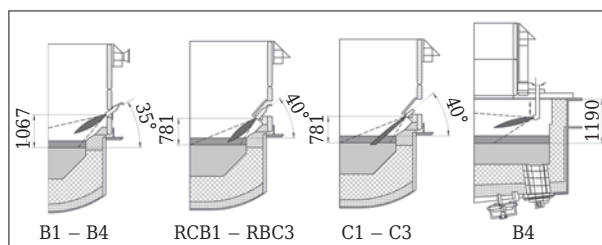


Рис. 3. Рекомендуемое вертикальное размещение горелок на современной ДСП

ного теплообмена более чем на 24 %, значительно улучшить газодинамику и тепломассовые процессы в ДСП, повысить надежность футеровки сталеплавильной ванны в шлаковом поясе, снизить скорость выгорания электродов.

Результаты исследования и указанные в работе рекомендации могут быть использованы при создании новых агрегатов или модернизации действующих печей для энергосбережения, повышения их производительности и надежности.

Библиографический список

1. **Гудим, Ю. А.** Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы : монография / Ю. А. Гудим, И. Ю. Зинуров, А. Д. Киселев. — Новосибирск : изд-во НГТУ, 2010. — 547 с.
2. **Лузгин, В. П.** Энергетика применения альтернативных энергоносителей при плавке в дуговых сталеплавильных печах / В. П. Лузгин, К. Л. Косырев, О. А. Комолова // Черные металлы. — 2010. — № 10. — С. 8–12.
3. **Воронов, Г. В.** Исследование взаимодействия струи компрессорного воздуха с поверхностью жидкой ванны // Теплотехника процессов выплавки ста-

ли и сплавов. Вып. 7 : межвузовский сборник / Г. В. Воронов, С. Н. Гуцин, Н. И. Кокарев. — Свердловск : изд. УПИ, 1980. — С. 3–11.

4. **Кащеев, И. Д.** Футеровка дуговых электросталеплавильных печей / И. Д. Кащеев, И. П. Басьяс, Г. А. Фарафонов, В. И. Сизов. — М. : Интермет Инжиниринг, 2010. — 192 с. ■

Получено 10.06.14

© Г. В. Воронов, М. В. Антропов, О. В. Порох,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ICC5
www.icc-5.com

5th International Congress on Ceramics

Aug. 17th-21st, 2014

Beijing International Convention Center, Beijing, China



ICC5 — 5-й международный конгресс по керамике

17–21 августа 2014 г.

<http://www.icc-5.com/>

г. Бейджин, Китай

ОАО НПП «Эталон», г. Омск, Россия

УДК 66.012.1.017:620.179.132

НОВОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Представлено новое средство измерения теплофизических и теплотехнических параметров и материалов конструкций. Рассмотрены также некоторые проблемы, с которыми приходится сталкиваться в процессе измерения.

Ключевые слова: теплофизические и теплотехнические параметры материалов, измеритель теплофизических величин (ИТВ).

Потребность в измерении теплопроводности различных материалов существует практически в любых областях науки и промышленности [1]. Прежде всего, к ним относятся строительство и энергетика. Необходимость технологического контроля и сертификации по теплопроводности возникает при производстве и эксплуатации новых материалов различного назначения, а также при испытаниях на соответствие требованиям нормативных документов наиболее важных элементов сложных инженерных объектов, например ограждающих конструкций отапливаемых зданий и сооружений. Таким образом, в современном технологическом обществе, характеризующемся все возрастающим уровнем энергопотребления на фоне постоянного увеличения стоимости и ограниченности запасов энергоносителей, измерения теплопроводности наиболее востребованы среди других видов измерений теплофизических свойств материалов и конструкций [2].

В последнее время интенсивно ведутся работы по усовершенствованию метрологического обеспечения измерений плотности теплового потока и теплопроводности, а также средств измерений [3].

Ранее разработанные средства измерения плотности теплового потока и теплопроводности обладают рядом недостатков, однако уже успели зарекомендовать себя с лучшей стороны.

При проектировании средств измерений разработчиками осуществлялся поиск рациональных решений с учетом требований каче-

ства и конкурентоспособности. Для реализации перспективных и конкурентоспособных средств измерений необходимо, чтобы они обладали такими качествами, как компактность, легкость, надежность, транспортабельность; возможность регистрации данных (наличие внутреннего или внешнего запоминающего устройства); обеспечение регистрации измеряемых показателей в автономном режиме с передачей собранной информации в виде, удобном для компьютерной обработки; универсальность, точность и защищенность от внешних воздействий; удобство и простота в работе; наличие свидетельства об утверждении типа средств измерений в РФ.

В зависимости от решаемых задач и финансовых возможностей потребитель формирует свой комплект средств измерений.

Одна из первых задач, стоящих перед НПП «Эталон» на сегодняшний день, — обеспечение рынка потребителей всеми необходимыми средствами измерения, а также внедрение новых средств измерений теплофизических и теплотехнических параметров материалов и конструкций. Разработка нового средства измерения, обладающего всеми вышеупомянутыми качествами, позволит потребителю решать комплексные задачи в области измерения теплопроводности.

Цель разработки — создание комплексного средства измерения плотности теплового потока и температуры с расширенными функциональными возможностями, позволяющего продолжительно отслеживать величины тепловых потоков и температуры контролируемого объекта в лабораторных и натурных условиях. Для мобильного измерения теплофизических свойств материалов и конструкций специалистами НПП «Эталон» был разработан многоканальный измеритель теплофизических ве-



П. Л. Орфанов

E-mail: marketing@omsketalon.ru

личин (ИТВ), отвечающий всем современным требованиям и состоящий из устройства сбора информации УСИ-1 и измерительных коммутаторов КИ-16 (см. рисунок). Измерительные коммутаторы КИ-16 предназначены для коммутации (подключения) первичных преобразователей теплового потока (датчиков теплового потока) и термопреобразователей (термопар), преобразования измеренного напряжения с преобразователей в код и передачу полученной информации по интерфейсу RS 485 в УСИ-1. ИТВ измеряет плотность теплового потока, температуру, напряжение постоянного тока и дает возможность, исходя из полученных данных, по ГОСТ 26254–84, ГОСТ Р 54853–2011 и ГОСТ 26602.1–99 (для стен, перекрытий, оконных и дверных блоков) произвести расчет основных теплотехнических параметров (термического сопротивления ограждающей конструкции, коэффициента теплопроводности, сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции и т. д.). Запись результатов измерения осуществляется на SD-карту в файл с расширением .txt.

ИТВ обладает рядом преимуществ перед существующими аналогами: время непрерывной автономной работы не менее 100 ч; удобен для оперативного транспортирования, прост в эксплуатации. Разрешающая способность при измерении плотности теплового потока $0,5 \text{ Вт/м}^2$; температуры $0,5^\circ\text{C}$. ИТВ обладает возможностью выбора периода времени записи информации в архив значений от 25 с до 60 мин в каждом канале, имеет широкий диапазон измерений плотности теплового потока, температуры и напряжения. Количество каналов измерения в зависимости от вида исполнения (количества подключаемых измерительных коммутаторов КИ-16 от 1 до 6) — 16, 32, 48, 64, 80, 96.

Принцип работы ИТВ заключается в следующем. Применяются первичные преобразователи плотности теплового потока или датчики теплового потока (ДТП 0924) — термоэлектрические, гальванические преобразователи, работающие по принципу «вспомогательной стенки». ДТП 0924 выполнены в виде вспомогательной стенки, состоящей из батареи идентичных гальванических термоэлементов, включенных параллельно по измеряемому тепловому потоку и последовательно по генерируемому электрическому сигналу. Монолитность преобразователя в жестком или гибком исполнении обеспечена заливочным электроизоляционным компаундом. При эксплуатации ДТП 0924, установленного на поверхности исследуемого объекта, в режиме теплообмена на



Измеритель теплофизических величин ИТВ

противоположных плоских поверхностях ДТП 0924 возникает пропорциональный измеряемой плотности проходящего теплового потока температурный перепад, благодаря которому в батарее термоэлементов генерируется ТЭДС. Аналоговый сигнал с преобразователей поступает в коммутатор КИ-16, преобразуется в код и далее поступает во вторичный преобразователь (УСИ-1), который считывает термоэлектрические сигналы датчиков и преобразует в величину плотности теплового потока.

Измерительный комплекс работает со всеми видами рабочих датчиков теплового потока ДТП 0924 производства НПП «Эталон» (которых насчитывается 26 типов).

Технические характеристики ИТВ приведены ниже:

Диапазон измерения плотности теплового потока, Вт/м^2	От 10 до 2000
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения плотности теплового потока, Вт/м^2	± 1
Диапазон измерения температуры, $^\circ\text{C}$	От -50 до 1300
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения температуры, $^\circ\text{C}$	± 1
Диапазон измерения напряжения, мВ	$5-500$
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения напряжения, мВ	± 5
Количество измерительных каналов	От 16 до 96
Индикация	LCD 480×270
Питание от источника постоянного напряжения, В ...	5
Время автономной непрерывной работы, ч, не менее	100
Температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$	От -10 до 50
Габаритные размеры, мм	$250 \times 220 \times 110$
Масса, кг	1,35

Результаты измерений параметров трех образцов

Номинальное значение напряжения (по ТУ), мВ	Допустимое значение погрешности, мВ	Измеренное значение напряжения ИТВ, мВ		
		модуль 1, канал 1	модуль 2, канал 1	модуль 3, канал 1
Первый образец ИТВ (зав. № 001)				
–299, 995	±0,04999	–299,9	–300,0	–299,9
–99, 995	±0,01985	–99,98	–99,99	–99,99
0	±0,005	–0,003	–0,004	0,002
99, 995	±0,01985	99,99	100,0	99,98
299, 995	±0,04999	299,9	299,9	300,0
Второй образец ИТВ (зав. № 002)				
–299, 995	±0,04999	–300,0	–299,9	–299,9
–99, 995	±0,01985	–100,0	–99,98	–99,99
0	±0,005	0,004	–0,002	–0,002
99, 995	±0,01985	99,99	99,99	99,98
299, 995	±0,04999	299,9	300,0	300,0
Третий образец ИТВ (зав. № 003)				
–299, 995	±0,04999	–299,9	–299,9	–300,0
–99, 995	±0,01985	–100,0	–99,99	–99,99
0	±0,005	–0,002	0,003	–0,001
99, 995	±0,01985	99,99	99,98	100,0
299, 995	±0,04999	300,0	299,9	300,0

Для проверки соответствия фактических характеристик требованиям, предусмотренным ТЗ и ТУ, в процессе разработки проводили лабораторные испытания трех опытных образцов ИТВ. В частности, проверяли такие параметры, как: абсолютная основная погрешность и диапазон измерений напряжения; потребляемый ток; напряжение питания, вызывающее индикацию разряда батареи; запись на SD-карту. Результаты измерений параметров трех образцов ИТВ приведены в таблице. Использовали три ИТВ (заводские номера 001, 002 и 003), каждый с тремя измерительными коммутаторами КИ-16 (в таблице — модули 1, 2 и 3).

Для выявления ошибок в обмене данными между УСИ-1 и измерительными коммутаторами КИ-16 проводили проверку, которая установила их отсутствие, т. е. показала положительный результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный ИТВ, отвечающий всем современным требованиям, способен составить конкуренцию своим аналогам на рынке средств измерений за счет расширенных функциональных возможностей и низкой цены.

В ходе испытаний опытных образцов ИТВ было установлено, что полученное максимальное значение абсолютной основной погрешности средств измерений и дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры, ток потребления с выключенной подсветкой, напряжение питания, вызывающее индикацию разряда батареи, не превышают значения, установленные ТУ.

На сегодняшний день завершаются подготовительные работы по внесению ИТВ в Государственный реестр средств измерений РФ.

Отсутствие актуальной информационно-нормативной базы (ГОСТ 25380 принят и введен в действие еще в 1982 г.) не позволяет добиться единства измерений, а предлагаемые для испытаний средства измерений далеко отстали от современного оснащения. Поэтому разработку и утверждение нормативно-технической документации необходимо вести на федеральном уровне.

Получено 21.04.14
© П. Л. Орфанов, 2014 г.

Библиографический список

1. **Герашенко, О. А.** Тепловые и температурные измерения : справочное руководство / О. А. Герашенко, В. Г. Фёдоров. — Киев : Наукова думка, 1965. — 305 с.
2. **Фокин, К. Ф.** Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. — 256 с.

3. **Фридман, А. Э.** Основы метрологии. Современный курс / А. Э. Фридман. — СПб. : НПО «Профессионал», 2008. — 284 с. ■

ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
Санкт-Петербург, Россия

УДК 536.2:[666.974.2-127:666.762.1-127

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НОВЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ С ПОРИСТЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Предложена экспериментальная установка для экспресс-сопоставления теплопроводности новых огнеупорных футеровочных и других материалов. Выявлено, что в качестве наполнителей жаропрочных теплоизоляционных материалов могут быть использованы белитовые отвалыные шламы глиноземного производства, отличающиеся повышенной пористостью.

Ключевые слова: теплопроводность, жаропрочные бетоны, отвалыные шламы, лабораторная установка.

Проблема экономии природных теплоизоляционных материалов особенно актуальна в северных широтах России, где из-за дороговизны теплоизоляционных огнеупоров перерасход теплоносителей в печных аппаратах достигает 30 %. Тепловые потери могут резко уменьшиться с применением в строительной печной технике новых недорогих теплоизоляционных материалов. Большинство теплоизоляционных материалов отличается повышенной пористостью. Поскольку в промышленности огнеупорные теплоизоляционные материалы работают при высокой температуре, то они должны иметь высокую температуру плавления. Такой температурой обладает отвалыный нефелиновый шлам глиноземного производства системы Ca-Si-Al-Fe-O . Температура его плавления 1600 °С. Из влажного нефелинового шлама и цемента марки 400 получали жаропрочные бетонные образцы. Стандартом была принята теплопроводность жаропрочного бетона наиболее распространенного состава смеси из жаропрочного цемента (2 части) и кварцевого песка (3 части).

Для исследований была создана лабораторная установка (рис. 1), включающая горизонтальный нагревательный элемент и систему термодатчиков. Одна из них измеряет температуру греющей поверхности, две другие контролируют прохождение тепловой волны в исследуемых образцах. Термодатчики вставляются в специально подготовленные отверстия и работают в дифференциальном режиме, измеряя разность

температур в двух точках образца, расположенных по вертикали от поверхности нагрева. Глубина погружения в образец равна половине его толщины.

За показатель скорости передвижения тепловой волны принимаются скорость повышения температуры в испытываемых точках образца и разность температур между ними. Чем меньше скорость нагрева верхней точки и больше разность температур между контрольными точками, тем ниже теплопроводность материала. Результаты показаны на рис. 2. Коэффициент теплопроводности λ для каждого образца рассчитывают из выражения

$$\lambda = f(1/\Delta t),$$

где Δt — разность температур между контрольными точками. Как свидетельствуют кривые, изображенные на рис. 2, применение отвалыных нефелинового и бокситового красного

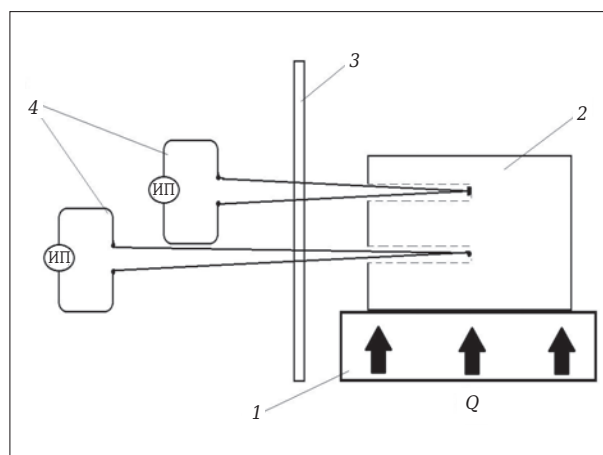


Рис. 1. Схема лабораторной установки для определения теплопроводности жаропрочных бетонов: 1 — нагревательный элемент; 2 — образец; 3 — теплоизолирующая стенка; 4 — измерительный прибор

✉
Д. Ф. Нургалиев
E-mail: bigden1988-88@mail.ru

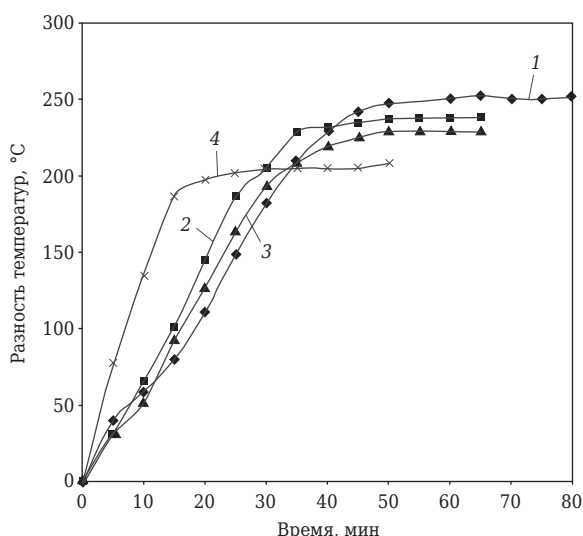


Рис. 2. Сопоставление кривых нагрева образцов жаропрочного бетона: 1 — на основе нефелинового шлака; 2 — на основе бокситового спекательного шлака (<http://ru.wiktionary.org/wiki/спекательный>); 3 — на основе смеси разных фракций бокситового спекательного шлака; 4 — стандартный состав

Библиографический список

1. **Корнеев, В. И.** Комплексная переработка нефелинового шлака / В. И. Корнеев, М. М. Сычёв, Н. С. Шморгуенко [и др.]. — М. : Металлургия, 1974. — 195 с.
2. **Утков, В. А.** Опыт освоения подготовки к использованию отвалных шламов глиноземного производства / В. А. Утков, С. А. Николаев, В. М. Сизяков [и др.] // *Металлург.* — 2008. — № 11.

шламов при производстве жаропрочных бетонов снижает их теплопроводность на 30 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью экспериментальной установки для экспресс-сопоставления теплопроводности новых огнеупорных футеровочных и других материалов выявлено, что в качестве наполнителей жаропрочных теплоизоляционных материалов могут быть использованы белитовые отвалы шламы глиноземного производства, отличающиеся повышенной пористостью. Полученные результаты являются основанием для продолжения исследований, испытаний и внедрения новых конкурентоспособных огнеупоров.

* * *

Статья написана при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения Государственного задания в сфере научной деятельности на 2014 г.

Получено 20.05.14
© Д. Ф. Нургалеев, В. М. Сизяков,
В. А. Утков, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



XIII

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС СТАЛЕПЛАВИЛЬЩИКОВ

12-18 ОКТЯБРЯ
2014

МОО «АССОЦИАЦИЯ
СТАЛЕПЛАВИЛЬЩИКОВ»




**Ассоциация сталеплавильщиков, ОАО ТМК,
ОАО «Северский трубный завод», ЦНИИчермет проводят**

XIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС СТАЛЕПЛАВИЛЬЩИКОВ ПОД ДЕВИЗОМ: «СТАЛЬ: ОТВЕТ ТРЕБОВАНИЯМ ВРЕМЕНИ»



Конгресс будет проходить в г. Полевской Свердловской обл. в год 275-летия Северского трубного завода — одного из крупнейших в России производителей труб и 70-летия ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина».

Оргкомитет:
Адрес: 623388, г. Полевской, ул. Вершинина, 7. Факс: 8-34350-33706. E-mail: StepanovAI@stw.ru

Подробная информация о проведении конгресса сталеплавильщиков размещена на сайтах: www.steelcongress.ru, www.tmkgroup.ru

РАЗРАБОТКА ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННОГО СВОДА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

Сформулированы требования к качеству динасового огнеупора и мертеля, предназначенных для кладки свода высокопроизводительных стекловаренных печей. Приведен расчет арочного свода шириной пролета 9 м с использованием только клиновых изделий. Определены требования к эффективности тепловой изоляции свода. Разработана оригинальная структура тепловой изоляции, основанная на использовании формованных и неформованных изделий. При средней температуре нагрева свода 1486 °С удельный тепловой поток в окружающую среду равен 544 Вт/м², что на 33,4–57,6 % ниже показателей известных технических решений по тепловой изоляции свода стекловаренных печей.

Ключевые слова: стекловаренная печь, арка свода, огнеупор, тепловая изоляция, термическое сопротивление, тепловой поток.

Свод рабочего пространства является одним из основных конструктивных элементов стекловаренной печи. В высокопроизводительных печах тарного стекла (300–450 т/сут) рабочая температура свода достигает 1580–1600 °С, а ширина пролета составляет 9–11 м. Арочный свод выполняется с центральным углом 60°. В зависимости от длины рабочего пространства он разбивается на секции длиной 4–6 м, разделенные между собой температурными швами. Кладка секций ведется вперевязку с использованием прямых и клиновых кирпичей. Для перевязки швов применяются полуторные изделия.

Конструкция свода стекловаренной печи имеет ряд отличительных признаков, несвойственных печам другого технологического назначения [1]. Во-первых, арка свода имеет один замковый ряд, расположенный по продольной оси печи. Во-вторых, в современных стекловаренных печах металлическая обвязка печи обеспечивает жесткость конструкции секций свода без опоры пятых кирпичей на продольные стены рабочего пространства. В-третьих, свод стекловаренной печи подвергается обязательной тепловой изоляции, эффективность которой характеризуется относительно высоким термическим сопротивлением кладки — $R = 1,07 \div 1,70 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ и низкими потерями теплоты в окружающую среду — $q = 816,8 \div 1282,1 \text{ Вт}/\text{м}^2$ [2]. Понятно, что боль-

шему значению R соответствует меньшая величина q .

В то же время стремление повысить энергоэффективность печей и довести их кампанию до 9–10 лет предполагает дальнейшее совершенствование конструкции свода. Речь идет как о повышении его эксплуатационной надежности, так и о энергоэффективности холодной футеровки. Сложность поставленной задачи предусматривает комплексный подход к ее реализации. Остановимся на трех аспектах проблемы: качестве огнеупорных изделий и мертелей, совершенствовании конструкции свода и разработке энергоэффективной структуры его тепловой изоляции.

Несмотря на наличие в газовой среде рабочего пространства паров сульфатов щелочных металлов для кладки свода стекловаренной печи используется стекольный динас. Его преимущество по сравнению с альтернативным электроплавным бадделеитокорундовым огнеупором обусловлено высоким сопротивлением деформации ползучести (пластической деформации), относительно низкой теплопроводностью динаса, а также полной растворимостью продуктов разрушения огнеупора в расплаве стекла. Высококачественный стекольный динас характеризуется сбалансированным химическим составом, в котором массовая доля SiO₂ составляет не менее 96 %, а содержание Fe₂O₃ не превышает 0,5 %. В качестве примера можно привести продукцию Красноармейского динасового завода (марка ДСК), чешской фирмы MSLZ a.s. (Disil-DSS и Disil-DSA) и немецкой фирмы «RHI Glas GmbH» (Stella GGS). Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что эти марки



В. Я. Дзюзер

E-mail: vdzuzer@yandex.ru

Таблица 1. Характеристика стекольного динасового огнеупора

Показатели	ДСК	Disil-DSS	Disil-DSA	Stella GGS
Массовая доля, %:				
SiO ₂	96,0	96,0	96,2	96,5
CaO	2,5	—	—	2,5
Fe ₂ O ₃	0,40	0,45	0,50	—
Al ₂ O ₃	0,40	0,50	0,28	—
Кажущаяся плотность, кг/м ³	1880	1830	1850	1860
Температура деформации под нагрузкой, °C	1650	1660	1670	1650
Предел прочности при сжатии, МПа	40	38	35	40
Термическое расширение (1000 °C), %	1,30	1,40	1,45	1,30 (700 °C)

Таблица 2. Характеристика динасовых мертелей

Показатели	Марка мертеля	
	Q 97 ¹	Stellamur GLS ²
Массовая доля, %:		
SiO ₂	97,50	95,50
Fe ₂ O ₃	0,15	0,10
Температура применения, °C	1650	1680
Размер зерна, мм, не более	0,5	0,3
Жидкость для затворения	H ₂ O	H ₂ O
¹ Фирмы MŠLZ a.s.		
² Фирмы «RHI Glas GmbH».		

огнеупора по химическому составу и другим свойствам близки друг к другу. Их применение лимитируется лишь эксплуатационной температурой свода, которая не должна превышать 1620 °C.

Стойкость динасового свода в значительной степени определяется газоплотностью кладки. При неплотной кладке наблюдается диффузия паров щелочей через швы. По мере проникновения газов в более холодную область кладки происходит их конденсация. Последствием взаимодействия жидкой фазы с огнеупором является образование свищей и каверн. В результате развития этого процесса в своде по швам кладки образуются сквозные прогары. Отсюда вытекают повышенные требования к геометрии изделий и качеству мертеля. Известно, что швы являются таким же важным элементом огнеупорной кладки, как и кирпичи. Шов динасового свода — это связующий шов с временно подвижной связью, поэтому его роль не ограничивается только связующей функцией. В определенной мере швы следует рассматривать как компенсаторы усилия сжатия, которому подвергаются огнеупорные изделия при первичном нагреве кладки. При нормативной толщине шва 2 мм отклонение линейных размеров изделий не должно превышать ± 1 мм. Для изделий с большими допусками на линей-

ные размеры обязательна заводская стендовая сборка свода с имитацией кладочных швов или калибровка кирпичей по плюсовым и минусовым допускам.

Как отмечалось выше, разрушение динасовой кладки начинается по ее швам. Отсюда понятен интерес к качеству мертелей, используемых для приготовления раствора. Очевидно, что химический состав мертеля должен соответствовать материалу огнеупора. Это касается содержания как основного вещества, так и примесей. Особое внимание необходимо обращать на гранулометрический состав мертеля. Для приготовления раствора следует использовать тонкодисперсный мертель с размером зерна не более 0,5 мм. Этим условиям соответствуют мертели, приведенные в табл. 2.

На наш взгляд, при разработке свода с большой шириной пролета следует отказаться от практики применения прямых кирпичей. На конкретном примере рассмотрим расчет конструктивных параметров свода, в кладке которого используют только торцевые двусторонние клиновые изделия. В качестве исходных данных принимается ширина пролета $S = 9000$ мм, центральный угол $\alpha = 60^\circ$, толщина свода и шва $h = 450$ и $d = 2$ мм соответственно (рис. 1). Из практики проектирования стекловаренных печей можно отметить воз-

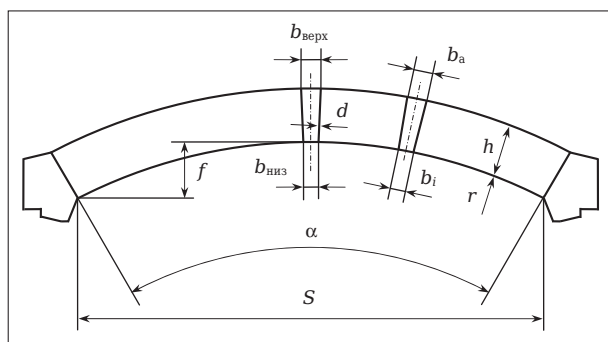


Рис. 1. Расчетная схема к определению геометрических параметров свода

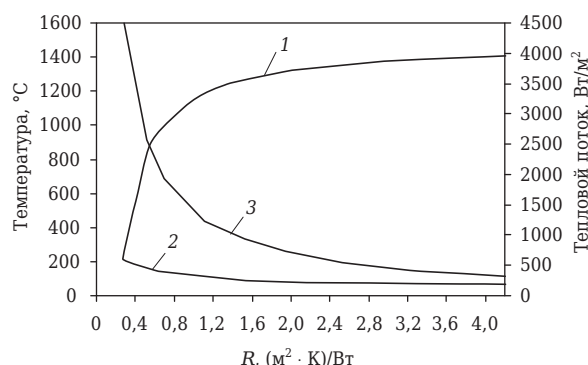


Рис. 2. Влияние термического сопротивления R кладки свода на наружную температуру огнеупорного кирпича (1) и холодной футеровки (2), а также тепловой поток в окружающую среду (3)

можность изменения ширины пролета в пределах ± 100 мм.

Радиус нижней дуги свода r находится по уравнению

$$r = \frac{S}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{9000}{2 \cdot 0,5} = 9000 \text{ мм.} \quad (1)$$

Предварительно принимается меньший размер толщины клина $b_i = 100$ мм. Тогда общее количество кирпичей в своде n_{Σ} :

$$n_{\Sigma} = \frac{\pi \alpha r}{180(b_i + d)} = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 9000}{180(100 + 2)} = 92,4. \quad (2)$$

Поскольку количество кирпичей в своде должно быть нечетным, то для дальнейшего расчета принимается $n_{\Sigma} = 93$ шт. Из уравнения (2) определяется соответствующее этому условию новое значение $r = 9063$ мм. Далее находится больший размер толщины клина:

$$b_a = \frac{(r + h)(b_i + d)}{r} - d = \frac{(9063 + 450)(100 + 2)}{9063} - 2 = 105,06 \text{ мм.}$$

Точное значение разности толщин клинового кирпича равно $l_k = b_a - b_i = 5,06$ мм. При этом количество клиновых кирпичей в своде

$$n_{кл} = \frac{\pi h \alpha}{180 l_k} = \frac{3,14 \cdot 450 \cdot 60}{180 \cdot 5,06} = 93,$$

что равно общему количеству кирпичей в кладке. Принимая $b_a = 105$ мм и $b_i = 100$ мм, переходим к расчету толщины замкового изделия (в мм):

$$b_{\text{верх}} = \frac{\pi \alpha (r + h)}{180} - [(b_a + d)(n_{\Sigma} - 1) + d] = \frac{3,14 \cdot 60(9063 + 450)}{180} - [(105 + 2)(93 - 1) + d] = 111,$$

$$b_{\text{низ}} = \frac{\pi \alpha r}{180} - [(b_i + d)(n_{\Sigma} - 1) + d] = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 9063}{180} - [(100 + 2)(93 - 1) + 2] = 100.$$

Таким образом, для замкового клина $b_a - b_i = 11$ мм. Следует отметить, что параметры толщины замка соответствуют практическим требованиям к этому изделию [1].

В завершение расчета с использованием формулы (1) выполняется корректировка ширины пролета $S = 9063$ мм и определяется стрела подъема арки свода:

$$f = \frac{S}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} = \frac{9063 \cdot 0,268}{2} = 1214 \text{ мм.}$$

Как правило, результаты расчета геометрических параметров свода проверяются компьютерным моделированием раскладки изделий в арке. При этом учитывается техника установки кирпичей в арке относительно друг друга и опорной поверхности опалубки свода. Целесообразность тепловой изоляции динасового свода продиктована как проблемой энергоэффективности, так и температурными условиями службы огнеупора. Термическое расширение стекольного динаса характеризуется рядом особенностей, обусловленных модификационными эффектами. Основное расширение динаса происходит при 700°C , а конечное расширение заканчивается при 1350°C [3]. Наружная температура неизолированного свода, характеризуемого $R = 0,28$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт, составляет 222°C (рис. 2). В этом случае более 1/3 толщины кирпича находится в температурном интервале, при котором происходит основное термическое расширение огнеупора. Полное завершение процесса термического расширения динаса происходит при $R \geq 2,5$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт (см. рис. 2). Эта величина R принимается за ос-

Таблица 3. Характеристика теплоизоляционных изделий и неформованных материалов

Показатели	LEGRAL 55/0 ¹	LUBISOL Si-Seal ²	LUBISOL #2-SL ²	ALSIFLEX®-1260/130 ³
Массовая доля, %:				
SiO ₂	90,0	92,2	> 72,0	53–58
Al ₂ O ₃	3,0	1,8	< 13,0	42–47
Кажущаяся плотность, кг/м ³	590	1920	400	130
Температура применения, °С	1500	1620	1400	1110–1160
Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре, °С:				
400	0,22	1,15 (20 °С)	0,08 (20 °С)	0,09
600	0,25	1,32 (500 °С)	0,13 (500 °С)	0,12
800	0,28		0,18 (1000 °С)	0,18
1000	0,31			0,28

¹ Фирмы «RHI Glas GmbH».

² Фирмы «Lubisol Engineering Co.», Болгария.

³ Фирмы «Promat GmbH», Германия.

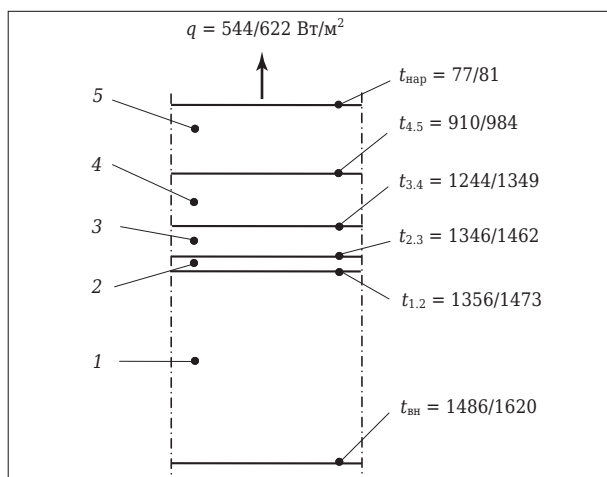


Рис. 3. Результаты расчета теплопередачи через теплоизолированный свод: 1 — Stella GGS — 450 мм; 2 — LUBISOL Si-Seal — 30 мм; 3 — LEGRAL 55/0 — 64 мм; 4 — LUBISOL #2-SL — 114 мм; 5 — ALSIFLEX®-1260/130 — 152 мм; $t_{вн}$, $t_{нар}$, $t_{1,2}$ – $t_{4,5}$ — температура внутренней поверхности свода, наружной поверхности тепловой изоляции и между слоями кладки соответственно, °С; в числителе и знаменателе дроби — параметры при $t_{вн}$ 1486 и 1620 °С соответственно

нову при разработке структуры тепловой изоляции свода.

Учитывая реверсивный режим отопления стекловаренных печей, тепловая изоляция рассчитывается при средней температуре внутренней поверхности свода 1486 °С [4]. Кроме того, выполняется поверочный расчет на пригодность изделий, используемых в холодной футеровке, к эксплуатации при локальном нагреве свода до 1620 °С. Тепловая изоляция свода выполняется после завершения первичного разогрева печи до 1500–1520 °С. Предварительно внешняя поверхность свода подвергается тщательной герметизации, исключающей

диффузию печных газов через футеровку. Герметизация свода может быть выполнена динасовым мертелем с добавлением в водный раствор 20 % (сверх 100 %) 45 %-ной технической ортофосфорной кислоты. При этом на свод последовательно наносятся два слоя обмазки толщиной до 5 мм каждый [5].

На рис. 3 показана структура тепловой изоляции, в которой герметизация свода выполнена огнеупорным бетоном LUBISOL Si-Seal, характеризующимся хорошей адгезией к поверхности нагретой динасовой кладки [6]. Толщина слоя 30 мм обеспечивает герметичность внешней поверхности свода и целостность обмазки при последующем повышении температуры огнеупорной кладки, обусловленном установкой теплоизоляционных слоев холодной футеровки. На герметизированный свод укладывается на плашку слой легковесного динаса LEGRAL 55/0, главное назначение которого в холодной футеровке заключается в создании необходимых температурных условий для применения последующих слоев тепловой изоляции. Основное термическое сопротивление тепловой изоляции создается слоем неформованного материала LUBISOL #2-SL и тремя слоями рулонного керамического волокна ALSIFLEX®-1260/130. Для защиты внешней поверхности холодной футеровки от шихтовой пыли она покрывается стеклотканью или тонким алюминиевым листом. Характеристика изделий, использованных при изоляции свода, приведена в табл. 3.

Разработанная структура тепловой изоляции свода характеризуется суммарным термическим сопротивлением кладки (при 1486 °С) 2,59 (м²·К)/Вт. При этом тепловые потери через свод составляют 544 Вт/м², а наружная

температура холодной футеровки 77 °С. Результаты расчета теплопередачи при 1620 °С свидетельствуют о том, что все использованные в холодной футеровке изделия могут эксплуатироваться при локальном перегреве свода (см. рис. 3 и табл. 3). Следует также отметить, что удельная нагрузка тепловой изоляции на огнеупорную кладку 103,1 кг/м² значительно ниже известных технических решений в этой области, для которых этот параметр составляет 183,6–296,3 кг/м² [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке теплоизолированного свода стекловаренных печей с шириной пролета до 11 м необходимо использовать высококачественный стекольный динас с массовой долей

SiO₂ не менее 96 % и Fe₂O₃ не более 0,5 %. Допуски на линейные размеры изделий не должны превышать ± 1 мм. Химический состав мертелей должен соответствовать составу огнеупорных изделий, а размер зерна не превышать 0,5 мм. При конструировании свода следует отказаться от традиционного сочетания прямых и клиновых кирпичей в арке. Формирование арки свода только клиновыми изделиями обеспечивает существенное повышение ее эксплуатационной надежности и создает условия для последующей тепловой изоляции. По сравнению с известными техническими решениями по тепловой изоляции свода разработанная энергоэффективная структура холодной футеровки обеспечивает снижение тепловых потерь в окружающую среду на 33,4–57,6 %, а наружной температуры кладки на 14,3–36,3 °С.

Библиографический список

1. **Ижорин, М. Н.** Сооружение промышленных печей. Т. II. Строительство печей: справочное издание / М. Н. Ижорин, Ю. П. Сторожков; под ред. М. Н. Ижорина. — М.: Теплотехник, 2006. — 720 с.
2. **Дзюзер, В. Я.** Анализ конструктивных схем тепловой изоляции свода стекловаренной печи / В. Я. Дзюзер // Огнеупоры и техническая керамика. — 2010. — № 7/8. — С. 76–79.
3. **Дзюзер, В. Я.** Первичный разогрев стекловаренных печей / В. Я. Дзюзер // Огнеупоры и техническая керамика. — 2007. — № 10. — С. 28–32.
4. **Дзюзер, В. Я.** Моделирование тепловой работы высокопроизводительной стекловаренной печи /

В. Я. Дзюзер, В. С. Швыдкий, Е. Б. Садыков // Стекло и керамика. — 2012. — № 9. — С. 23–27.


5. **Дзюзер, В. Я.** Требования к качеству и рациональное использование динаса в высокотемпературных стекловаренных печах / В. Я. Дзюзер // Огнеупоры и техническая керамика. — 2004. — № 4. — С. 31–38.

6. **Луцканов, С.** Модернизированная изоляция свода экономит топливо / С. Луцканов // Стекло и керамика. — 2009. — № 10. — С. 23. ■



Получено 22.05.14

© В. Я. Дзюзер, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

"Мы решим Ваши задачи в кратчайшие сроки..."

5-й международный научно-технический симпозиум

«ПОРИСТЫЕ ПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ТЕХНОЛОГИИ И ИЗДЕЛИЯ НА ИХ ОСНОВЕ»

Симпозиум посвящен 85-летию со дня основания Национальной академии наук Беларуси

30–31 октября 2014 г. **Минск – Раков, Беларусь**

Секции симпозиума

1. Пористые порошковые материалы: теоретические и экспериментальные исследования процессов их получения
2. Проницаемые материалы: свойства, технологии получения
3. Эффективные области использования пористых материалов
4. Новые пористые и проницаемые материалы, оборудование и процессы с их применением

Контакты:
Адрес: 220005, Беларусь, г. Минск, ул. Платонова, 41, Институт порошковой металлургии
Телефоны: +375 (17) 290-99-93, +375 (17) 290-95-64 • Факс: (017) 292-82-42 • E-mail: info50@mail.ru

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

- В статье следует сообщить цель проведения работы, привести фактические данные, их анализ и дать заключение (выводы). Текст статьи должен быть дополнен кратким рефератом и ключевыми словами. Реферат и ключевые слова желательно представлять также в английском варианте. Библиографический список следует оформлять в соответствии с ГОСТ 7.1-2003. На труднодоступные источники просьба не ссылаться. Рисунки должны быть четкими, упрощенными и не загроможденными надписями. На графики желательно не наносить масштабную сетку (за исключением номограмм).
- В статье должны быть указаны ученая степень, адрес и телефон каждого автора. Все материалы статьи редакция просит предоставлять в электронном виде.
- Если статья отправлена по e-mail, допускается оформление изображений только в виде отдельных файлов формата TIF (цветные и тоновые — 300 dpi, штриховые — 600 dpi), JPEG, CDR. Изображения (за исключением диаграмм Excel), введенные в файлы формата doc, в качестве оригиналов не принимаются, как не обеспечивающие стандартного качества полиграфического исполнения.
- Представляя рукопись в редакцию, авторы передают издательское право на публикацию ее в журнале. В качестве гонорара авторы получают 1 экземпляр журнала или оттиск своей статьи, который высылается первому автору или любому другому (по указанию авторов). Направление в редакцию работ, опубликованных или посланных для напечатания в редакции других журналов, не допускается.
- Статья, пришедшая в редакцию от зарубежных авторов, вначале отдается на рецензирование, редактируется, переводится на русский язык и публикуется в журнале «Новые огнеупоры». Затем статья отправляется на публикацию в журнал «Refractories and Industrial Ceramics» вместе с английской версией, присланной автором. Таким образом, конечный вариант статьи, опубликованный в журнале «Refractories and Industrial Ceramics», может немного отличаться от первоначального, присланного авторами. Статья, опубликованная в журнале «Новые огнеупоры», в формате PDF высылается авторам по e-mail.

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.

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.

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

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

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

УДК 666.762.2:666.3.022.66

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВКВС ПЛАВЛЕННОГО КВАРЦА. Часть 1. Сопоставительная оценка и отличительные особенности технологий кварцевой керамики и огнеупоров

Охарактеризованы основные технологические процессы и параметры получения материалов на основе ВКВС плавленного кварца применительно как к технической керамике, так и к огнеупорам широкого круга применения. Принципиальное различие между технологиями получения этих групп материалов состоит в чистоте (стоимости) исходного сырья, условиях получения ВКВС, дисперсности формовочных систем и методах формования. Рассмотрены технико-экономические аспекты применяемых при этом технологий.

Ключевые слова: плавленный кварц, кварцевое стекло, кварцевая керамика, кристаллизация, кристобалит, шликерное литье, центробежное формование, объемная концентрация ВКВС.

Необходимость создания керамических материалов на основе плавленного кварца (прозрачного или непрозрачного кварцевого стекла) была обусловлена исключительными технологическими сложностями при изготовлении крупногабаритных и сложнофасонных изделий из этих материалов по обычной стекольной технологии [1–3]. Начало проведения систематических исследований в этой области относится к 60-м годам прошлого века [1–4]. Всю группу материалов на основе стеклообразного или аморфного кремнезема, полученных по керамической технологии, авторами статьи [4] впервые было предложено называть «кварцевой керамикой». В последующие годы этот термин в отечественной литературе стал общепринятым [1–10].

Современный уровень разработки технологии позволяет получать кварцевую керамику с различным интервалом пористости. В качестве образца можно привести не только обтекатели высокоскоростных ракет как пример высокоплотной керамики или среднеплотные огнеупоры, но и получение высокопористых теплозащитных материалов, применяемых для летательных аппаратов типов «Шатл» и «Буран». Эти материалы получают из диспергированно-

го и измельченного кварцевого стекловолокна (шликерно-волоконистые формовочные системы). Как следует из рис. 1, пористость материалов может варьироваться в пределах 0,2–90 % [2, 3]. Многочисленные материалы рассмотренного класса по области применения весьма условно можно классифицировать на керамику и огнеупоры. Характерный пример применения последних — многочисленные изделия для металлургии и стекольной промышленности.

На первом этапе необходимость развития технологий кварцевой керамики (60–70-е годы прошлого века) была определена преимущественно актуальнейшей задачей создания принципиально новых конструкционных материалов с уникальными характеристиками для ракетно-космической техники, в частности обтекателей высокоскоростных ракет нового поколения [2, 3, 5–8]. Между тем уже в 70-е годы прошлого века в связи с развитием в СССР непрерывной разливки стали возникла не менее актуальная технико-экономическая задача, касающаяся разработки технологии и создания массового производства термостойких сталеразливочных огнеупоров для МНЛЗ [2, 3, 5–8]. Не без оснований предполагали, что и эта цель могла быть решена за счет совершенствования и интенсификации существовавшей уже тогда технологии технической кварцевой керамики [1]. В соответствии с этим уже в 1970 г. в данном направлении были не только проведены предварительные исследования, но и достигнуты положительные результаты промышленных испытаний стака-



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



Рис. 1. Керамические материалы на основе SiO₂, технология их получения и области применения (П — пористость)

нов-дозаторов для непрерывной разливки стали [9], полученных по существовавшей тогда технологии кварцевой керамики [1].

Между тем для того, чтобы реально «раздвинуть» рамки технологии от технологии технической кварцевой керамики (очень дорогие материалы и изделия для ракетно-космической техники) до технологии огнеупоров аналогичного химического состава с такой же высокой термостойкостью, нужно было решить, как увеличить объемы производства в тысячи раз, а себестоимость материалов снизить в сотни раз [6, с. 522; 8]. Эти проблемы постепенно были решены, а современная технология кварцевых огнеупоров, позволившая резко уменьшить издержки производства при одновременном повышении их стойкости, в течение примерно 30 лет успешно применяется и постоянно совершенствуется на Первоуральском динасовом заводе (ПДЗ) [2, 3–8, 10–16]. По ориентировочным данным, за 40-летний период в СССР и России произведено не менее 100 тыс. т кварцевых огнеупоров (из них около 70 % на Первоуральском динасовом заводе). По современным ценам этих изделий это соответствует стоимости товарной продукции около 10 млрд рублей.

В связи с широким развитием технологии, производства и применения кварцевой керамики в качестве огнеупоров данный класс материалов получил название «кварцевые огнеупоры» [2, 3, 5–16]. Различие в терминологии при этом вполне оправданно ввиду существенной разницы не только в области применения, но и

в технологии получения этих материалов. В отличие от технологии кварцевой керамики технического назначения (например, обтекатели ракет) [2, 3], где в качестве исходного материала применяют прозрачное кварцевое стекло с содержанием SiO₂ не менее 99,9 %, для получения аналогичных по составу огнеупоров используют непрозрачное стекло с пониженным (до 99,3 %) содержанием SiO₂, получаемое на основе чистых или обогащенных кварцевых песков. Принципиальное различие этих видов исходного сырья состоит не только в их исходной цене (разница в десятки раз), но и в разной предрасположенности к кристаллизации материала в процессе спекания. Это в значительной степени сказывается как на кинетике процесса, так и на некоторых свойствах материала.

На первых стадиях отработки технологии и изготовления кварцевых обтекателей использовали прозрачное кварцевое стекло в виде отходов трубок светотехнического назначения, содержащих 99,99 % SiO₂ [2, с. 570]. По мере нарастания объемов производства в середине 90-годов прошлого века при активном участии ГосНИИ кварцевого стекла были разработаны и введены в производство установки непрерывной вытяжки кварцевых труб (исходный материал для получения суспензий) и стержней (материал для мелющих тел) [2, с. 572] аналогичного химического состава.

Следует отметить, что детальные исследования спекания кварцевой керамики, в том числе ее кристобалитизации, основательно проведены преимущественно на материалах,

полученных из высокочистого кварцевого стекла [1–4, 10, 17–21]. Еще во второй половине 60-х годов прошлого века были установлены технологические параметры, позволяющие получить беспористую кварцевую керамику со значительной (до 40–60 %) светопропускательностью [19, 20]. При этом средние значения предела прочности при изгибе такой керамики достигали 73 МПа [21]. Керамику с подобными свойствами получали из высокоплотных шликерных отливок (60–70 % частиц размерами менее 10 мкм) обжигом при 1300–1400 °С с непродолжительной выдержкой, позволяющей избежать процесса кристобалитизации материала (рис. 2). По мере повышения температуры обжига резко уменьшаются как требуемая продолжительность процесса спекания (область 2), так и временной период начальной кристаллизации. Заметное снижение температуры спекания (на 50–70 °С) достигается за счет введения небольших (0,5–0,7 %) добавок нитрида бора [3, с. 162]. Оптимальные свойства материала кварцевых обтекателей (пористость 9–10 %, предел прочности при изгибе 50–60 МПа) достигаются при температуре обжига 1250–1280 °С и линейной усадке в пределах 1,0–1,2 % [2, с. 591].

Кроме чистоты исходного материала в технологии огнеупоров следует отметить также ряд других факторов, определяющих повышенную кристаллизационную способность материала при обжиге. Так, если в технологии кварцевой керамики (например, обтекателей ракет) при подготовке исходного кварцевого стекла не допускается применение металлических дробильных агрегатов, а также дополнительно предусматривается химическая обработка исходного материала травлением в плавиковой кислоте, то при производстве огнеупоров для первичного дробления плавленного кварца применяют валковые или конусные дробилки с его последующей магнитной сепарацией. При этом, как правило, часть намолотого железа остается в материале, а его дополнительная химическая обработка не предусмотрена.

В технологии технической кварцевой керамики помол кварцевого стекла осуществляется в шаровых мельницах, футерованных плавленным кварцем, в качестве мелющих тел применяют стержни из прозрачного кварцевого стекла [1–3]. В технологии кварцевых огнеупоров используют футеровочные материалы и мелющие тела высокоглиноземистого состава (75–80 % Al_2O_3) с существенным количеством стеклофазы сложного состава (SiO_2 , MgO , CaO , Fe_2O_3 , Na_2O и др.) [2, 22]. Намол мелющих тел и футеровки может составлять 0,5–1,0 % (в

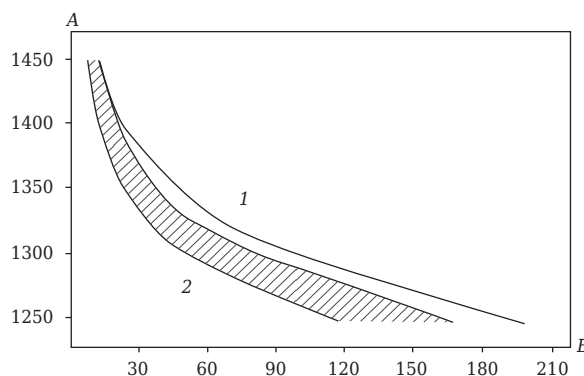


Рис. 2. Температурно-временная зависимость начала поверхностной кристаллизации кварцевой керамики (1) и диаграмма получения материала с истинной пористостью менее 1 % (2); А — температура, °С; В — время, мин

зависимости от качества и стадии износа мелющих тел). Кроме того, если в производстве кварцевой керамики при помоле применяют дистиллированную воду, то в производстве кварцевых огнеупоров — преимущественно водопроводную с непостоянными рН и содержанием примесей. Поэтому заметная, в том числе объемная, кристобалитизация кварцевых огнеупоров может отмечаться уже после обжига при 1230–1280 °С.

Существенное различие в технологии керамики и огнеупоров на основе ВКВС плавленного кварца состоит в дисперсности и зерновом распределении частиц твердой фазы формовочных систем. Речь идет прежде всего о содержании в них относительно крупнодисперсных частиц (> 63 мкм). Если для формования керамики их содержание в ВКВС, как правило, находится в пределах 4–8 % (при максимальном размере 100–300 мкм), то в технологии огнеупоров оно может составлять 50–75 % (при D_{\max} 1–10 мм у керамобетонов). Значительное различие в технологиях состоит также в базовых методах формования. Если формование обтекателей ракет вплоть до последнего времени осуществляется шликерным литьем в гипсовых формах, то преобладающую (до 98 %) долю кварцевых огнеупоров, в особенности изделий, имеющих форму тел вращения (погружаемые стаканы, защитные трубы, оболочки роликов печей), формируют центробежным методом. Продолжительность формования изделий центробежным методом в десятки раз ниже, чем при шликерном литье, а стойкость форм в сотни раз выше [2, 5, 7, 8, 10–16].

Между тем, несмотря даже на последнее явное различие в аспекте формования, преобладает наиболее важный фактор — исходные суспензии (для керамики) или они же с зернистым наполнителем (для огнеупоров) должны

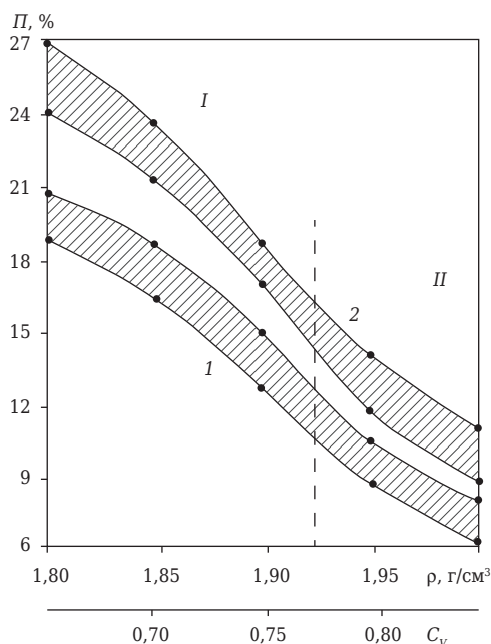


Рис. 3. Влияние исходной плотности ρ и объемной концентрации C_V суспензии плавленного кварца на пористость P полуфабриката, полученного шликерным литьем (1) и центробежным методом (2); I, II — области плотности, соответствующие исходной (I) и наполненной заполнителем суспензии (II)

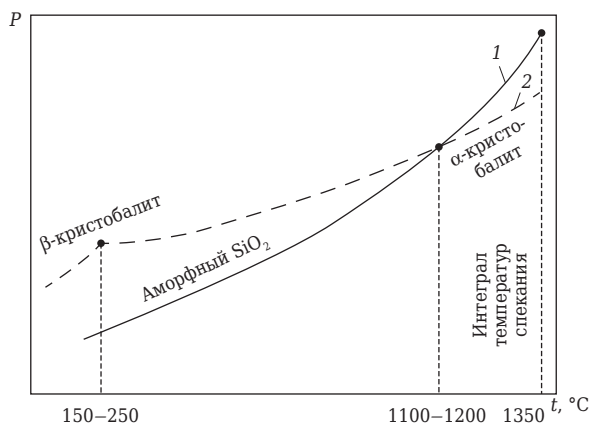


Рис. 4. Схема превращения аморфного кремнезема (кварцевое стекло или синтетический SiO_2) при получении кварцевой керамики (1) и кварцевых огнеупоров (2)

иметь по возможности наибольшую плотность или объемную концентрацию. Последняя независимо от метода формования при прочих равных условиях определяет пористость и плотность полуфабриката. Таким образом, как при получении керамики, так и при производстве кварцевых сталеразливочных огнеупоров наиболее важным параметром является концентрация (или плотность) исходной суспензии или наполненной (заполнителем) формовочной системы [2, 5, 10]. На рис. 3 показано влияние плотности суспензии (или эквивалентных

значений объемной концентрации C_V) на пористость полуфабриката, полученного шликерным литьем и центробежным методом. При равных значениях ρ или C_V меньшую пористость имеют материалы, полученные шликерным литьем. Характерна закономерность: чем выше ρ (C_V), тем меньше разница в пористости материалов, полученных сравниваемыми методами.

В отличие от классической диаграммы SiO_2 по Феннеру [1, 2] для всех разновидностей аморфного кремнезема в диаграмме SiO_2 по Флерке [2, с. 81; 6, с. 251] образования тридимита как самостоятельной фазы не происходит. Согласно схеме превращений аморфного SiO_2 , предложенной Ю. Е. Пивинским [1, с. 17], на рис. 4 представлена обобщенная диаграмма превращений при спекании кварцевой керамики. При этом сохранен привычный условный характер диаграммы, при котором ордината P носит лишь качественный характер. Сплошной линией на рис. 4 показано поведение кварцевой керамики, не кристаллизующейся при спекании, пунктирной — поведение керамики, склонной к кристаллизации. Как следует из диаграммы, в керамике второго вида в интервале температур спекания возможно образование некоторого количества высокотемпературного α -квartzита, который обладает пониженной температурой перехода (вплоть до 150 °C) в низкотемпературный β -квartzит. Этот полиморфный переход в достаточно узком интервале (150–250 °C) в случае полной кварцезитизации материала сопровождается увеличением плотности с 2,22 до 2,34 г/см³ и ростом объема примерно на 5 % [2]. В керамике первого вида полиморфные превращения не протекают во всем интервале указанных температур спекания. Принадлежность керамики к одному из типов, показанных на диаграмме, определяется целым рядом рассмотренных факторов: типом исходного сырьевого материала, его чистотой как в исходном состоянии, так и на стадии технологических операций, характеристикой полуфабриката (пористость, дисперсность), условиями спекания, требуемой конечной плотностью материала и другими показателями.

В отличие от технической кварцевой керамики на основе прозрачного кварцевого стекла применение непрозрачного кварцевого стекла за счет присутствия примесей (Na_2O , Fe_2O_3 и др.), а также применение при этом менее «чистой» технологии по сравнению с технологией кварцевой керамики приводит к понижению температуры кварцезитизации, что затрудняет спекание материала до открытой пористости ниже 6 %. Последнее проиллюстрировано на рис. 5. Шликерные отливки на основе ВКВС

непрозрачного кварцевого стекла с исходной пористостью 12 % после обжига при 1300 °С (выдержка 1 ч) и линейной усадкой 1,2 % характеризуются пористостью 9 % и пределом прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ 50 МПа. Превышение этой температуры обжига сопровождается падением прочности на 40 %. Это обусловлено тем, что этой температуре обжига соответствует только начальная стадия объемной кристаллитизации образцов, а при ее повышении до 1330 °С кристаллитизация проявляется уже в значительной степени. Если в первом случае содержание кристаллита не превышает 5 %, то во втором составляет 10–15 %. Как для кварцевой керамики, так и для огнеупоров, получаемых на основе ВКВС, исключительно важным технологическим преимуществом является то, что достаточно высокие значения их прочности достигаются при низкой линейной усадке [1–4].

Как следует из рис. 5, интенсивный рост $\sigma_{изг}$ отмечается при линейной усадке при обжиге до 0,8 %. Максимальное значение $\sigma_{изг}$ достигается при усадке 1,2 %, а дальнейший ее рост сопровождается падением прочности. Из рассмотренных данных следует, что применительно к технологии кварцевых сталеразливочных огнеупоров, характеризующихся незначительной исходной прочностью, для ее достижения вполне достаточен кратковременный обжиг (1–2 ч) при 1150–1170 °С. Это позволяет при огневой усадке до 0,2 % получать материал с $\sigma_{изг}$ 12–15 МПа и $\sigma_{сж}$ 40–60 МПа. Для сталеразливочных огнеупоров, полученных на основе литейных систем с существенным (до 40–50 %) содержанием зернистого заполнителя, рассмотренный уровень механической прочности достигается при температуре обжига 1150–1170 °С. Усадка при этом не превышает 0,2 %, что исключительно важно применительно к обжигу крупногабаритных огнеупорных изделий, отформованных центробежным методом.

Следует отметить, что для подавляющего большинства огнеупоров на основе ВКВС плавленного кварца их оптимальные эксплуатационные характеристики достигаются при значениях пористости в пределах 10–15 % [2, 3, 5, 15]. Несмотря на наличие открытой пористости высокая эксплуатационная стойкость этих огнеупоров достигается исключительно за счет тонкокапиллярной и поэтому непроницаемой для расплавов структуры материала [2, 3]. Поэтому фактор кристаллитизации с точки зрения оптимизации технологии, как правило, не является критическим. Между тем наличие кристаллита в кварцевых огнеупорах являет-

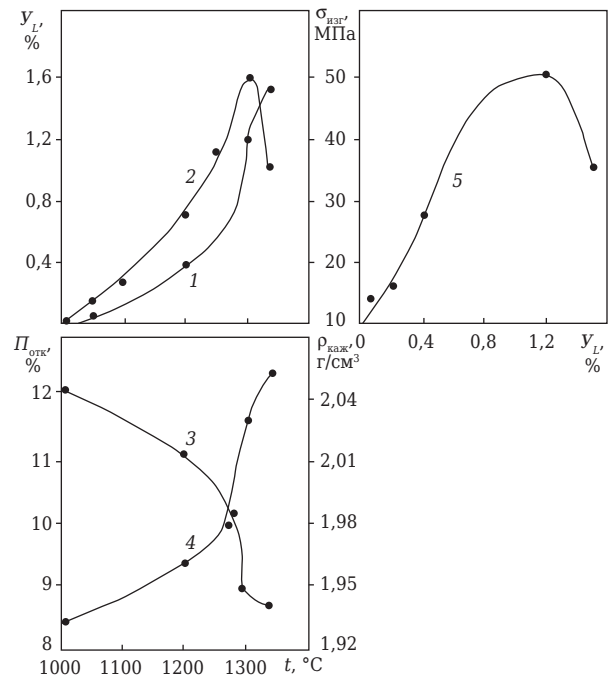


Рис. 5. Влияние температуры t обжига отливок из суспензии непрозрачного кварцевого стекла (содержание частиц менее 5 мкм 28 %, крупнее 63 мкм 14 %) на линейную усадку Y_L (1), предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ (2), открытую пористость $P_{отк}$ (3), кажущуюся плотность $\rho_{каж}$ (4) и зависимость $\sigma_{изг}$ от Y_L (5)

ся важным структурным фактором, определяющим их эксплуатационные характеристики. Это обусловлено повышенным тепловым расширением материалов, содержащих кристаллит. Критическое содержание кристаллита в исходных сталеразливочных огнеупорах, эксплуатирующихся в условиях резкого первичного термоудара, не должно превышать 5 %. В процессе эксплуатации в зависимости от температуры и продолжительности службы его содержание в материале может повышаться до 80–100 %. Однако и в этом случае кварцевые огнеупоры характеризуются высокой термостойкостью при охлаждении до 250–300 °С. Это обусловлено тем, что тепловое расширение высокотемпературного кристаллита и плавленного кварца сопоставимо. Например, теплозащитные кварцевые керамобетонные трубы для защиты струи металла при его выпуске из сталеразливочного ковша в процессе испытаний на НЛМК достигали средней стойкости 5 плавок, что сопоставимо со стойкостью аналогичных корундографитовых труб или превышает ее [3, с. 273; 15]. При этом в период между плавками температура кварцевых труб за относительно короткое время понижалась от 1550–1570 до 300–500 °С и наоборот (при очередной разливке), т. е. они подвергались достаточно резким циклическим термоударам.

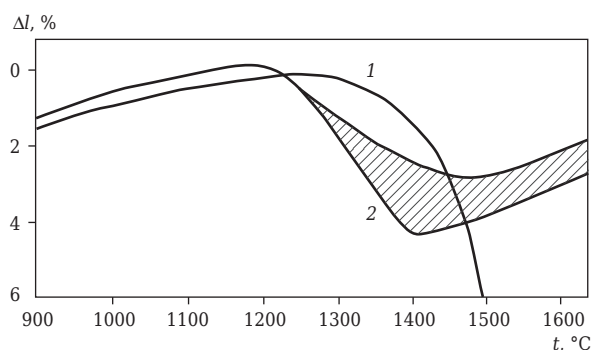


Рис. 6. Кривые деформации образцов под нагрузкой 0,2 МПа: 1 — высокоплотная спеченная при 1300 °С кварцевая керамика ($\Pi = 2\%$) на основе прозрачного кварцевого стекла (99,8 % SiO_2); 2 — термообработанный при 1100 °С сталеразливочный огнеупор ($\Pi = 10 \div 15\%$) на основе плавленного кварца (98,5–99 % SiO_2); Δl — относительная деформация по отношению к точке максимального теплового расширения

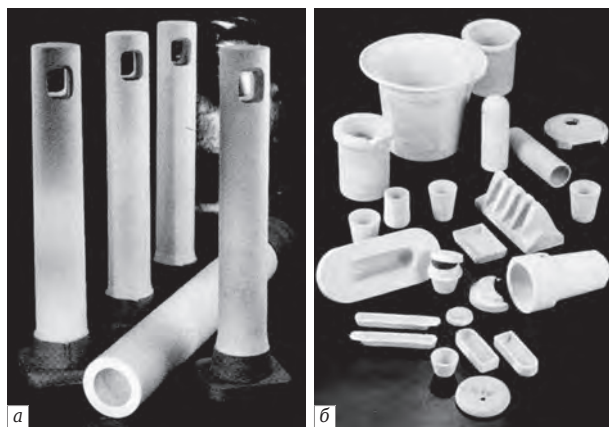


Рис. 7. Кварцевые сталеразливочные огнеупоры, формируемые центробежным способом (а), и изделия различного назначения, полученные шликерным литьем (б)

Известно [1–3, 5], что из всех модификаций кремнезема кристобалит является наиболее огнеупорным и химически стойким. Поэтому в определенных случаях, например при применении кварцевых огнеупоров в стекловарении, осуществляют предварительно термообработку материала для его кристобалитизации. Процесс кристобалитизации кварцевых огнеупоров существенно влияет на закономерности их деформации под нагрузкой (рис. 6). Сопоставительный анализ кривой 1 и области 2 на рис. 6 показывает, что чистота исходного материала, а также его исходная пористость существенно влияют на температуру начала деформации под нагрузкой и его деформируемость при повышенных температурах. Если для высокоплотной кварцевой керамики (кривая 1) температура начала деформации составляет 1370 °С, то для материала, соответствующего области 2, — только 1250 °С. В связи с большим

содержанием примесей в плавленном кварце (в частности, Na_2O , Fe_2O_3) огнеупор на его основе (область 2) уже при 1400 °С существенно кристобалитизируется и после достижения 2–4 %-ной деформации отмечается его рост. У материала на основе высокочистого кварцевого стекла (кривая 1) ввиду его замедленного перехода в кристобалит подобного эффекта не наблюдается. Характерно, что температура начала деформации для закристобалитизованного кварцевого огнеупора достигает 1700 °С [5, 13], что превышает аналогичные значения для высококачественного динаса.

Исходя из изложенного, было бы логичным предположить, что все рассмотренные и проанализированные различия должны бы были привести к значительному осложнению технологии кварцевых огнеупоров и существенному ухудшению их свойств по сравнению с кварцевой керамикой. Именно такое различие и отмечалось в технологии и свойствах сравниваемых материалов до конца 80-х годов прошлого века. Однако если в области производства обтекателей ракет как основные технологические параметры, так и технологическое оборудование оказались «замороженными» на уровне достижений примерно 1970 г. [2, 3, 7, 23], то соответствующий уровень технологии в области производства огнеупоров на ПДЗ не только достиг уровня кварцевой керамики, но и существенно превзошел его. Несмотря на применение в качестве исходного материала менее чистого плавленного кварца (цена примерно в десятки раз ниже, чем у отходов прозрачного кварцевого стекла), плотность рядовых ВКВС как основополагающего параметра технологии на ПДЗ составляет 1,91–1,92 г/см³, а при изготовлении обтекателей 1,87–1,89 г/см³ [2, 3]. При этом продолжительность измельчения ВКВС в 2–3 раза меньше, а содержание в них высокодисперсных частиц существенно выше. Рабочий объем шаровых мельниц в производстве огнеупоров в 20–25 раз больше, а удельные энергозатраты на получение ВКВС на ПДЗ в 10 раз ниже, чем в производстве обтекателей [23]. На рис. 7 показаны кварцевые сталеразливочные огнеупоры, формируемые центробежным способом, и изделия различного назначения, полученные шликерным литьем.

Целесообразно еще раз акцентировать исключительную роль концентрации суспензий, поскольку она является определяющим технико-экономическим фактором в технологии. Это обусловлено следующим. За счет повышения плотности суспензии даже в пределах от 1,87 до 1,92 г/см³ можно снизить не только пористость полуфабриката на 1,5–2,0 %, но и его усадку при сушке (долю брака). Кроме того, по мере умень-

шения исходной пористости можно снизить температуру обжига и уровень усадки, требуемый для достижения заданной прочности. Последнее позволяет уменьшить не только выход брака на стадии обжига, но и деформацию изделий и, соответственно, припуски изделий и затраты на механическую обработку. В последнее время в опытных работах на промышленных мельницах ПДЗ получены ВКВС плотностью 1,98–2,00 г/см³ [2, 6]. Испытания опытной партии погружаемых стаканов на Магнитогорском металлургическом комбинате показали, что их удельный износ примерно в 1,5 раза ниже, чем у рядовых.

Значительная разница в технологии сравниваемых видов керамических и огнеупорных изделий отмечается и по важнейшим показателям, определяющим экономическую эффективность производства: удельному расходу сырья и доле производственного брака. Если выход годных изделий в производстве кварцевых огнеупоров на ПДЗ не ниже 97 %, то, по данным [3, 4], аналогичный показатель в производстве обтекателей не превышает 50 %. С учетом этого фактора, а также большого объема удаляемого при механической обработке обтекателей материала расход исходного сырья на производство составляет 5 кг на 1 кг изделия. Существенная доля затрат в технологии обтекателей из кварцевой керамики связана с необходимостью механической обработки с применением шлифования алмазными инструментами [3]. В производстве кварцевых изделий (даже таких массивных и высокоточных по размерам, как ролики массой до 100 кг) благодаря практически «безусадочной» технологии требуемая их точность достигается непосредственно в процессе формования (все изделия практически безусадочны). Эта особенность в сочетании с незначительным (до 3 %) браком производства и эффективной 100 %-ной утилизацией отхо-

дов производства обеспечивают весьма низкий расход плавленного кварца — 1,1 кг на 1 кг производимой продукции. Основной отход при производстве кварцевых изделий — слив высокодисперсной (до 5 мкм) суспензии плотностью 1,50–1,60 г/см³ после центробежного формования. Его введение при мокром помоле ВКВС плавленного кварца в количестве 10 % позволяет в 1,5 раза ускорить процесс. Аналогичный эффект наблюдается при получении ВКВС боксита, но при этом еще повышается (на 200–250 °С) температура деформации под нагрузкой высокоглиноземистых керамобетонов вследствие протекания процесса их муллитизации, обусловленной введением высокодисперсного плавленного кварца в виде слива [5–8, 24]. Значительное удорожание стоимости керамических обтекателей обусловлено необходимостью проведения комплексных и дорогостоящих испытаний каждого изделия. С учетом всего изложенного не вызывает удивления тот факт, что стоимость изделий, полученных по сопоставляемым технологиям, различается в несколько десятков раз.

Таким образом, из сопоставления технологий производства технической кварцевой керамики на примере обтекателей ракет и кварцевых сталеразливочных огнеупоров, получаемых на основе ВКВС прозрачного или непрозрачного кварцевого стекла, следует, что наиболее значительными отличительными технологическими или технико-экономическими параметрами или факторами являются: тип и стоимость сырья, дисперсность и зерновое распределение формовочных систем, преобладающий способ формования, производительность и энергозатраты процесса получения ВКВС, удельный расход сырья. Важнейшим технологическим фактором при изготовлении как керамики, так и огнеупоров является плотность (концентрация) исходных формовочных литейных систем.

Библиографический список

1. Пивинский, Ю. Е. Кварцевая керамика / Ю. Е. Пивинский, А. Г. Ромашин. — М. : Металлургия, 1974. — 264 с.
2. 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.
3. Пивинский, Ю. Е. Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Том II. Материалы, их свойства и области применения / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев ; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М. : Теплоэнергетик, 2008. — 464 с.
4. Будников, П. П. Кварцевая керамика / П. П. Будников, Ю. Е. Пивинский // Успехи химии. — 1967. — Т. 36, № 3. — С. 511–542.

5. Budnikov P. P. / P. P. Budnikov, Yu. E. Pivinskii // Russian Chemical Reviews. — 1967. — Vol. 36, № 3. — P. 210–227.
6. Пивинский, Ю. Е. Керамические и огнеупорные материалы : избр. тр. Т. 2 / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 668 с.
7. Пивинский, Ю. Е. Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении : избр. тр. Т. 3. / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Политехника, 2012. — 682 с.
8. Пивинский, Ю. Е. Кварцевая керамика, искусственные керамические вяжущие (ВКВС) и керамобетоны — история и перспективы развития технологий / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. — 2009. — Часть 1, № 3. — С. 8–17; часть 2, № 4/5. — С. 9–18.

8. **Пивинский, Ю. Е.** ВКВС и керамобетоны в XXI веке — проблемы и перспективы применения технологий в области силикатного материаловедения / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2011. — Часть 1, № 3. — С. 120–130; часть 2, № 4. — С. 39–50.

Pivinskii, Yu. E. HCBs ceramic concretes in the XXI century — problems and prospects for applying technology in the field of silicate materials science. P. 1 / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 52, № 2. — P. 107–115.

9. **Фроловский, Н. М.** Служба графито-глиноземистых и плотных кремнеземистых вставок дозаторов при непрерывной разливке стали / Н. М. Фроловский, М. Г. Чигринов, Ю. Е. Пивинский [и др.] // Огнеупоры. — 1971. — № 10. — С. 19–23.

10. **Пивинский, Ю. Е.** Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров : избр. тр. Т. 1. / Ю. Е. Пивинский. — СПб. : Стройиздат СПб., 2003. — 544 с.

11. **Пивинский, Ю. Е.** Разработка, внедрение в производство и служба кварцевых безобжиговых огнеупоров // Ю. Е. Пивинский, Т. И. Литовская, О. Н. Самарина [и др.] // Огнеупоры. — 1989. — № 9. — С. 40–44.

Pivinskii, Yu. E. Development, introduction and service of unfired quartz refractories / Yu. E. Pivinskii, T. I. Litovskaya, O. N. Samarina // Refractories and Industrial Ceramics. — 1989. — Vol. 30, № 9. — P. 572–578.

12. **Рожков, Е. В.** Разработка и служба кварцевых погружаемых стаканов повышенной стойкости / Е. В. Рожков, Ю. Е. Пивинский, В. И. Хабарова [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. — 1997. — № 12. — С. 22–25.

Rozhkov, E. V. High-durability submerged fused silica nozzles for continuous steel casting machines: Design, fabrication and service / E. V. Rozhkov, Yu. E. Pivinskii, V. I. Khabarova // Refractories and Industrial Ceramics. — 1997. — Vol. 38, № 11. — P. 467–470.

13. **Гришпун, Е. М.** О технологии производства и службе кварцевых сталеразливочных огнеупоров. Ч. 1. Технологические особенности. Ч. 2. Некоторые свойства и особенности службы / Е. М. Гришпун, Ю. Е. Пивинский, Е. В. Рожков // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 4. — С. 42–45; № 6. — С. 42–46.

Grishpun, E. M. Production process and service of quartz steel-casting refractories. Part 1. Features of the process / E. M. Grishpun, Yu. E. Pivinskii, E. V. Rozhkov // Refractories and Industrial Ceramics. — 1999. — Vol. 40, № 3/4. — P. 170–173.

14. **Гришпун, Е. М.** ВКВС и керамобетоны — прорыв в технологии огнеупоров XXI века / Е. М. Гришпун, Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2002. — № 2. — С. 28–33.

15. **Пивинский, Ю. Е.** О рекордной стойкости в службе кварцевых защитных труб для разливки 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.

16. **Гришпун, Е. М.** Двадцатилетняя эпоха сотрудничества / Е. М. Гришпун, Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2007. — № 1. — С. 15–25.

17. **Будников, П. П.** Исследование условий получения высокоплотной керамики из кварцевого стекла / П. П. Будников, Ю. Е. Пивинский // Доклады АН УССР. Сер. Б. — 1968. — № 5. — С. 449–453 (на укр. яз.).

18. **Будников, П. П.** О влиянии спекания и кристаллизации керамики из плавленного кварца на ее прочность / П. П. Будников, Ю. Е. Пивинский, Ф. Т. Горобец // Доклады АН СССР. — 1968. — Том 180, № 6. — С. 1411–1414.

19. **Будников, П. П.** Исследование спекания керамики из плавленного кварца / П. П. Будников, Ю. Е. Пивинский // Журнал прикладной химии. — 1968. — № 5. — С. 957–964.

20. **Пивинский, Ю. Е.** Высокоплотная кварцевая керамика / Ю. Е. Пивинский, Ф. Т. Горобец // Огнеупоры. — 1968. — № 6. — С. 45–51.

Pivinskii, Yu. E. High-density fused-silica ceramics / Yu. E. Pivinskii, F. T. Gorobets // Refractories and Industrial Ceramics. — 1968. — Vol. 9, № 7/8. — P. 509–516.

21. **Пивинский, Ю. Е.** Некоторые особенности шликерного литья керамики из кварцевого стекла / Ю. Е. Пивинский, Ф. Т. Горобец // Стекло и керамика. — 1968. — № 5. — С. 19–22.

Pivinskii, Yu. E. Some features of slip casting quartz glass ceramics / Yu. E. Pivinskii, F. T. Gorobets // Glass and Ceramics. — 1968. — Vol. 25, № 5. — P. 285–288.

22. **Пивинский, Ю. Е.** Высококонцентрированные суспензии непрозрачного кварцевого стекла и материалы на их основе / Ю. Е. Пивинский, Н. Г. Котова, Ф. С. Каплан // Огнеупоры. — 1986. — № 6. — С. 14–19.

Pivinskii Yu. E. Highly concentrated suspensions of nontransparent fused quartz and materials based on them / Yu. E. Pivinskii, N. G. Kotova, F. S. Kaplan // Refractories and Industrial Ceramics. — 1986. — Vol. 27, № 5. — P. 318–323.

23. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика, ВКВС, керамобетоны — страницы истории (десятилетия спустя об этом можно рассказать) / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2007. — № 2. — С. 56–64.

24. **Пивинский, Ю. Е.** Нанодисперсный кремнезем и некоторые аспекты нанотехнологий в области силикатного материаловедения. Ч. 2 / Ю. Е. Пивинский // Новые огнеупоры. — 2007. — № 12. — С. 28–38.

Pivinskii, Yu. E. Nanodisperse silica and some aspects nanotechnologies in the field of silicate science. P. 2 / Yu. E. Pivinskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2007. — Vol. 48, № 6. — P. 435–443. ■

Получено 16.05.14
© Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, 2014 г.

Д. Т. Н. К. Н. Вдовин¹, Д. Т. Н. В. В. Точилкин¹, О. А. Марочкин¹ (✉), В. И. Умнов²

¹ ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

² ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», г. Иркутск, Россия

УДК 666.762.2:621.746.047

НОВЫЕ ВСТАВКИ ИЗ ПЛАСТИЧНЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТРУИ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИВКЕ НА МНЛЗ

Разработанные конструкции вставок с буртом исключают взаимодействие жидкой стали с воздухом в процессе работы сортовых МНЛЗ и позволяют обеспечить рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы. При этом повышаются стабильность процесса разливки и качество разливаемого металла.

Ключевые слова: машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), защитная труба, стакан-коллектор, защитная вставка, пластичный огнеупор.

Несмотря на широкое применение пластмасс и других продуктов химического синтеза сталь продолжает оставаться основным конструкционным материалом. Значение стали обусловлено ее универсальностью, позволяющей создавать многообразие механических и других свойств, геометрических форм и размеров изделий. Тем не менее при всех достоинствах стали необходимо постоянно улучшать качество готовой продукции. Одно из решений этой задачи — обеспечение содержания азота в электростали различных марок 0,004–0,007 %.

На МНЛЗ взаимодействие жидкой стали с воздухом в основном происходит на участке сталеразливочный ковш — промежуточный ковш (рис. 1). Участок имеет 3 зоны. В зонах 0–0 и 2–2 поверхность жидкой стали защищена специальными укрывными материалами (шлакообразующими и теплоизолирующими смесями), препятствующими взаимодействию жидкой стали с воздухом. Зона 1–1 включает огнеупорные элементы (рис. 2): стакан-коллектор 1, плотно установленный в дно сталеразливочного ковша; защитную трубу 2 с отверстием для подачи аргона во внутреннюю кольцевую полость; специальную вставку 3 из пластичного огнеупора [3].

В процессе прохождения потоков стали на участке сталеразливочный ковш — промежуточный ковш наблюдается эрозия огнеупорных элементов в зоне 1–1 от возникновения

зазора, через который во внутреннюю полость защитной трубы проникает воздух. Толщины зазоров можно определить, исходя из условий их образования: при температурном расширении кварцевой защитной трубы, при выгорании вставки из пластичного огнеупора, в результате эрозии огнеупорных изделий.

Температурное расширение кварцевой защитной трубы определяется по ТКЛР:

$$l = l_0 (1 + \alpha t), \quad (1)$$

где l — длина образца после воздействия температуры; l_0 — начальная длина образца; α — ТКЛР; t — температура образца.

При расчете температурного расширения по внутреннему диаметру защитной трубы в верхней ее части формула (1) примет вид

$$D_{\text{вт}}^{1610} = D_{\text{вт}}^0 (1 + \alpha t), \quad (2)$$

где $D_{\text{вт}}^{1610}$ — внутренний диаметр кварцевой защитной трубы при нагреве до 1610 °С; $D_{\text{вт}}^0$ — но-

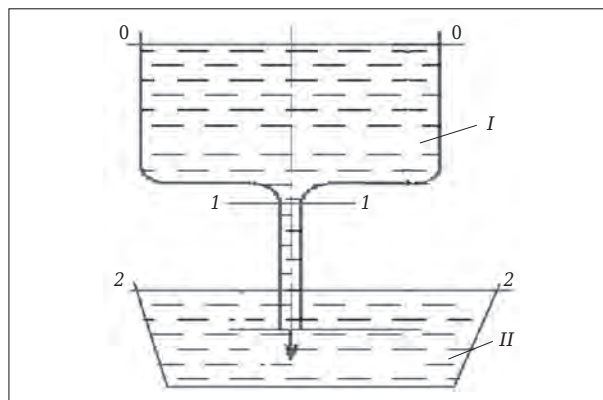


Рис. 1. Зоны взаимодействия азота и жидкой стали на участке сталеразливочный ковш (I) — промежуточный ковш (II)

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

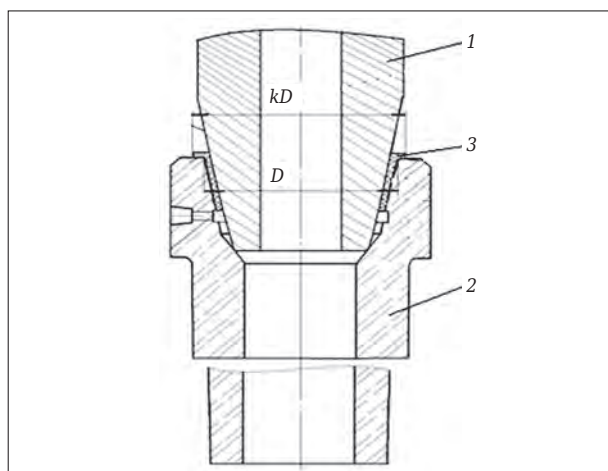


Рис. 2. Огнеупорные элементы зоны 1–1 (см. рис. 1)

минальный диаметр защитной трубы при 0 °С; a — ТКЛР, для кварца $\text{ТКЛР} = 0,000014 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; t — температура образца, для частного случая $t = 1610 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Толщина зазора, возникающая при температурном расширении кварцевой защитной трубы

$$D_{\text{вт}}^{\text{ТР}} = 1,0225 D_{\text{вт}}^0. \quad (3)$$

Для определения остальных толщин были проведены исследования использованных (отработанных) защитных труб в верхней ее части. Выгорание вставки из пластичного огнеупора происходит по одной стороне, поэтому толщина зазора, образованная при выгорании вставки из пластичного огнеупора, составит

$$D_{\text{вт}}^{\text{ББ}} = 0,5 D_{\text{вт}}^{\text{Б}} = 1,03125 D_{\text{вт}}^0. \quad (4)$$

Размер очага эрозии защитных труб (без учета сколов) составляет от 1,05 до 1,15 $D_{\text{вт}}^0$. Для расчета размера бурта принята максимальная толщина зазора, образованная от эрозии огнеупорных изделий:

$$D_{\text{вт}}^{\text{ЭР}} = 1,15 D_{\text{вт}}^0. \quad (5)$$

Для создания условий, препятствующих проникновению воздуха в полость зоны 1–1, необходимо, чтобы размер бурта защитной вставки превышал толщины зазоров, полученные по

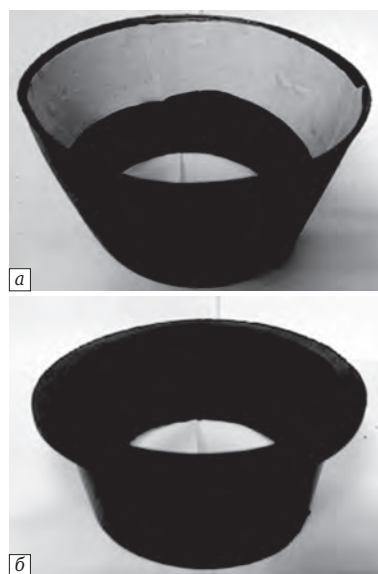


Рис. 3. Защитные вставки: а — ранее существующая; б — измененная

формулам (3)–(5) относительно внутреннего диаметра защитной трубы в верхней ее части:

$$D_{\text{бурта}} = k D_{\text{вт}}^0 = 1,0225 \cdot 1,03125 \cdot 1,15 D_{\text{вт}}^0.$$

Полученный размер бурта относительно внутреннего диаметра защитной трубы составит

$$D_{\text{бурта}} = 1,212 D_{\text{вт}}^0 \approx 1,2 D_{\text{вт}}^0. \quad (6)$$

Решением задачи стало создание новой конструкции вставки, имеющей торцевую поверхность с наружным диаметром не менее 1,2 диаметра отверстия огнеупорной трубы в верхней ее части по плоскости (см. рис. 3, б). Применение вставки с диаметром, меньшим 1,2D (см. рис. 3, б), приводило к выгоранию торцевой части вставки по плоскости соприкосновения огнеупорных изделий. Применение диаметра бурта, большего 1,2D от внутреннего диаметра защитной трубы в верхней ее части, приводило к короблению торцевой части, к неплотному прилеганию по этой плоскости и соответственно к трещинообразованию торцевой части вставки. Поэтому величина 1,2D является рациональной и приемлемой в аналогичных конструкциях [2].

Взаимодействие воздуха с жидкой сталью при различных размерах бурта защитной вставки

Размер бурта	Величина относительно внутреннего диаметра	Увеличение содержания азота в жидкой стали, %	Трещинообразование на вставках
0	$1,0625 D_{\text{вт}}^0$	$\geq 0,0010$	Да
2	$1,1 D_{\text{вт}}^0$	$\geq 0,0005$	»
4	$1,2 D_{\text{вт}}^0$	$< 0,0005$	Нет
8	$1,4 D_{\text{вт}}^0$	$\geq 0,0005$	Да
12	$1,6 D_{\text{вт}}^0$	$\geq 0,0005$	»

Для подтверждения полученной расчетной формулы (6) были проведены эксперименты по определению оптимального размера бурта вставки относительно внутреннего диаметра защитной трубы. Для этого были изготовлены различные вставки с размерами бурта от $0,0625D$ до $1,6D$. Полученные эмпирические данные, подтверждающие формулу рационального диаметра бурта, приведены в таблице.

Библиографический список

1. **Аверин, В. В.** Азот в металлах / В. В. Аверин, А. В. Ревякин, В. И. Федорченко, Л. Н. Козина. — М. : Металлургия, 1976. — 224 с.
2. **Пат. 102552 РФ, МПК В 22 D 41/08.** Устройство для защиты струи металла при разливке на машине непрерывного литья заготовок / Бигеев В. А., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Великий А. Б., Кашеев Д. В., Марочкин О. А., Хоменко А. А., Шевченко С. В.; заявл. 07.10.10 ; опубл. 10.03.11, Бюл. № 3.

Для дальнейшего улучшения качества готовой продукции наряду с применением вставок с буртом в зоне 1—1 необходимо применение конструкций манипуляторов, обеспечивающих необходимое усилие прижима для гарантированного прилегания плоскостей соприкосновения огнеупорных элементов и точную центровку огнеупорных элементов.

3. **Вдовин, К. Н.** Применение пластичных огнеупоров усовершенствованной конструкции для защиты струи металла при разливке стали на сортовых МНЛЗ / К. Н. Вдовин, В. В. Точилкин, О. А. Марочкин // Новые огнеупоры. — 2014. — № 1. — С. 3—5. ■

Получено 27.01.14

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

Представительство Promat GmbH
Департамент «Высокотемпературная изоляция»
Россия, 115477, Москва, ул. Кантемировская, 58
телефон: + 7 495 411 6007, факс: + 7 495 231 7977
Интернет: www.promat.ru, E-mail: hpi@promat.ru

Promat
High Performance Insulation

УНИКАЛЬНЫЕ МИКРОПОРИСТЫЕ ПЛИТЫ STEELFLEX ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ



Достоинства применения в сталковшах:

- Обладает теплопроводностью в 5 раз меньшей любых известных теплоизоляционных материалов;
- Не выгорает и не даёт усадку на всём интервале применения;
- Постоянство теплофизических свойств на всём интервале работы сталковша, т.е. температура на обечайке ковша 1-й и последней плавки будут одинаковые;
- Бережно сохраняет электроэнергию и минимизирует затраты;
- Увеличивает объём сталковша;
- Значительно снижает температуру оболочки сталковша;
- Снижает температуру поступающего расплава;
- Увеличивает стойкость рабочего и арматурного слоя;
- Снижает скорость остывания стали;
- Уменьшение времени на ремонты;
- Является защитным барьером в случае прохода металла.

Выпускаемая продукция:

- Микропористая теплоизоляция;
- Керамоволокнистые и поликристаллические плиты, картон, маты, модули и бумага;
- Плиты из силиката кальция;
- Огнеупорный легковесный кирпич;
- Огнеупорный клей для склеивания любых поверхностей;
- Высокотемпературные крепежные системы;
- Жаропрочные бетоны, ткани, ленты, шнуры;
- Фасонные изделия по чертежам заказчика;
- Отвердители и различного рода покрытия;
- Теплоизоляционные материалы для алюминиевой и стекольной промышленности;
- Подготовка проектов теплоизоляции агрегатов;
- Бесплатная доставка каталогов и образцов.

Приглашаем Вас оценить все достоинства эффективного применения продукции PROMAT:
Виртуальный калькулятор расчёта температуры на холодной стенке
<http://www.microthermgroup.com/high/EXEN/site/calculator.aspx>

Ищем партнеров для развития дистрибьюторской сети в регионах.



К. ф.-м. н. **В. В. Милявский**¹, к. т. н. **Ф. А. Акопов**¹ (✉), д. т. н. **Е. С. Лукин**²,
к. т. н. **Л. Б. Боровкова**¹, к. ф.-м. н. **Т. И. Бородин**¹, **Г. Е. Вальяно**¹,
Н. А. Попова², к. ф.-м. н. **В. С. Зиборов**¹

¹ ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН», Москва, Россия

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

УДК 666.3:546.641-31].017:620.181

ПОЛИМОРФНЫЕ ПЕРЕХОДЫ ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ZrO_2 НА ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ТРАНСФОРМАЦИОННО-УПРОЧНЕННОЙ КЕРАМИКИ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАЗЛИЧНЫХ СИЛОВЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Приведены результаты исследования высокоплотной керамики на основе частично стабилизированного ZrO_2 с содержанием около 2,0 мол. % Y_2O_3 . Охарактеризованы прочностные свойства, структура и фазовый состав на исходных базовых поверхностях и поверхностях разрушения образцов керамики при силовых механических воздействиях, а также в условиях низких температур (жидких азота и гелия). Полученные результаты сопоставлены с известными литературными данными.

Ключевые слова: частично стабилизированный ZrO_2 (ЧСДЦ), рентгенофазовый анализ (РФА), область когерентного рассеяния (ОКР), атомная силовая микроскопия, растровая электронная микроскопия, упругие модули.

Керамика на основе частично стабилизированного ZrO_2 (ЧСДЦ) — материал нового поколения — характеризуется комплексом высоких эксплуатационных свойств. Разработке технологии и исследованию свойств ЧСДЦ уделяли большое внимание как в 80–90-х годах прошлого века, так и в настоящее время. Опубликованные ранее результаты исследований технологии и свойств керамики на основе ЧСДЦ [1–7] показывают, что многие свойства, в том числе прочностные, значительно зависят от плотности изучаемого материала. В статье [8] сопоставлены результаты определения упругих характеристик различных типов диоксидциркониевой керамики (модули сдвига, всестороннего сжатия, Юнга и коэффициент Пуассона). Авторы настоящей статьи отмечают увеличение этих показателей с ростом плотности керамики. Настоящая статья посвящена продолжению всесторонних исследований характеристик высокоплотной керамики на основе высокодисперсных порошков ЧСДЦ.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОШКА И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ КЕРАМИКИ

Для получения высокоплотной ЧСДЦ керамики был использован промышленный порошок ZrO_2 , частично стабилизированного Y_2O_3 . Количество Y_2O_3 в нем составляло 2,0–2,1 мол. %, а примесей Fe_2O_3 , Na_2O , SiO_2 — менее 0,01 %. Фракционный состав исходных материалов исследовали на атомном силовом микроскопе «Solver P47-PRO» полуконтактным методом в режиме «Высота». В качестве исходного материала использовали дробленый сырец, предварительно прокаленный при 300 °С. Результаты исследований показали, что линейные размеры округлых (в плане) частиц, слагающих исходный дробленый сырец (рис. 1), лежат преимущественно в диапазоне 50–100 нм, их средний размер составляет около 73 нм. Частицы сгруппированы в довольно плотные агрегаты диаметром 0,5–3,0 мкм.

Рентгенофазовый анализ (РФА) порошка ZrO_2 , частично стабилизированного Y_2O_3 , проводили на установке ДРОН-2 (Cu K α -излучение). Анализ показал наличие в исходном порошке двух фаз — кубического и моноклинного твердых растворов на основе ZrO_2 . Содержание моноклинной фазы составляет 42 мас. %, кубической 58 мас. %. Параметр кристаллической

✉
Ф. А. Акопов
E-mail: felix.akopov@mail.ru

решетки кубического флюоритового твердого раствора $a = (0,5128 \pm 0,0001)$ нм, что соответствует содержанию 4,8 мол. % Y_2O_3 . Средний размер областей когерентного рассеяния (ОКР) кубической фазы составляет 43 нм, моноклинной 40 нм.

Образцы прессовали на гидравлическом прессе под давлением 200 МПа и после сушки обжигали на воздухе при 1450 °С с выдержкой 2 ч при конечной температуре. Диаметр образцов после обжига составлял около 25 мм, толщина 3,5 мм. Результаты РФА показали, что поверхностные слои толщиной около 10 мкм в спеченных образцах сложены из материала, включающего тетрагональную (95–96 мас. %) и моноклинную (4–5 мас. %) фазы — твердые растворы на основе ZrO_2 . Первая из этих фаз имеет тетрагонально искаженную флюоритную структуру ZrO_2 . Параметр a тетрагональной фазы на разных базовых поверхностях лежит в диапазоне от 0,5085 до 0,5099 нм. Значительно сильнее выражен разброс в значениях параметра c — от 0,5153 до 0,5181 нм; отношение c/a при этом находится в пределах от 1,013 до 1,015. Размер ОКР тетрагональной фазы составляет 80 нм, моноклинной — не менее 100 нм. Рентгеновская плотность материала в поверхностных слоях разных образцов лежит в диапазоне от 6,21 до 6,27 г/см³. Плотность образцов, определенная гидростатическим взвешиванием, составляла 6,01 г/см³.

Исследование на растровом электронном микроскопе показало, что керамика сложена из агрегатов размерами 2–10 мкм в поперечнике, состоящих, в свою очередь, из частиц с линейными размерами 0,2–0,8 мкм. Средний размер частиц около 0,3 мкм. Существенный рост размера частиц связан с их рекристаллизацией в процессе спекания.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА КЕРАМИКИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ И ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Для изучения изменения кристаллической структуры и состава керамики образцы резали алмазным диском и подвергали механическому ударному нагружению (раскалыванию с помощью молотка по нанесенному надрезу). Результаты РФА показали, что материал на срезах и изломе имеет трехфазный состав. Помимо моноклинной ($m-ZrO_2$) и тетрагональной (t_1-ZrO_2) твердых растворов, присутствующих на базовых поверхностях, фиксируется вторая тетрагональная фаза (t_2-ZrO_2) с объемно-центрированной кристаллической структурой. Па-

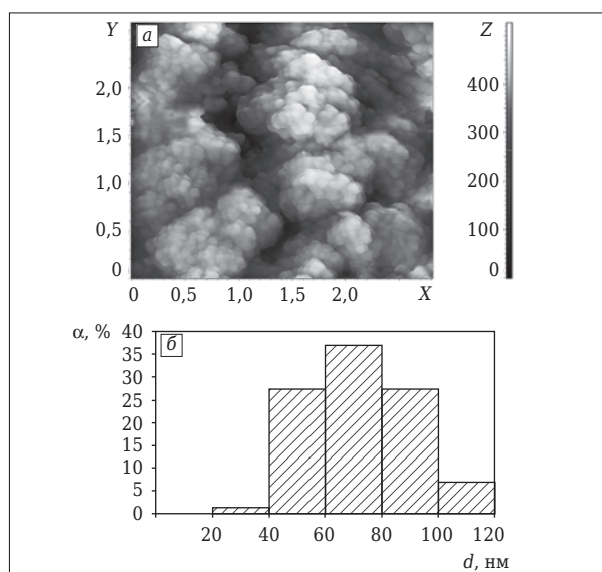


Рис. 1. Микроструктура дробленого сырья ZrO_2 (а) и распределение слагающих сырец частиц по размерам (б). На столбчатой гистограмме здесь и далее α — отношение числа зерен, линейный размер которых варьируется в пределах, задаваемых шириной данного столбца гистограммы, к общему числу зерен на исследуемом участке поверхности

раметр a кристаллической решетки этой фазы варьируется на разных поверхностях от 0,3656 до 0,3666 нм. Параметр c изменяется от 0,5214 до 0,5246 нм, отношение c/a находится в пределах от 1,424 до 1,435. Количество t_2-ZrO_2 на поверхностях срезов составляет 40–42 мас. %, на поверхности излома 28 мас. %. Можно предположить, что вследствие низкого содержания стабилизатора во внутренних областях образцов сосуществуют две тетрагональные фазы на основе ZrO_2 .

Количество моноклинной фазы на срезах колеблется от 7 до 9 мас. %, на изломе 21 мас. %. Сопоставление составов на срезах и изломе показывает, что увеличение количества моноклинной фазы на изломе обеспечено в основном за счет перехода t_2-ZrO_2 в моноклинную модификацию. Параметры кристаллической решетки тетрагональной фазы t_1-ZrO_2 на срезах и изломе претерпевают некоторые колебания по сравнению с величинами, зафиксированными на базовых поверхностях, однако объем элементарной ячейки кристаллической решетки этой фазы при этом остается практически неизменным. На срезах и изломе обеих тетрагональных фаз размер ОКР составляет 40–45 нм, что для фазы t_1-ZrO_2 существенно меньше, чем на базовых поверхностях. Для моноклинной фазы уменьшение размера ОКР фиксируется только в отдельных случаях.

Микроструктуру образцов (рис. 2) исследовали на растровом электронном микроскопе

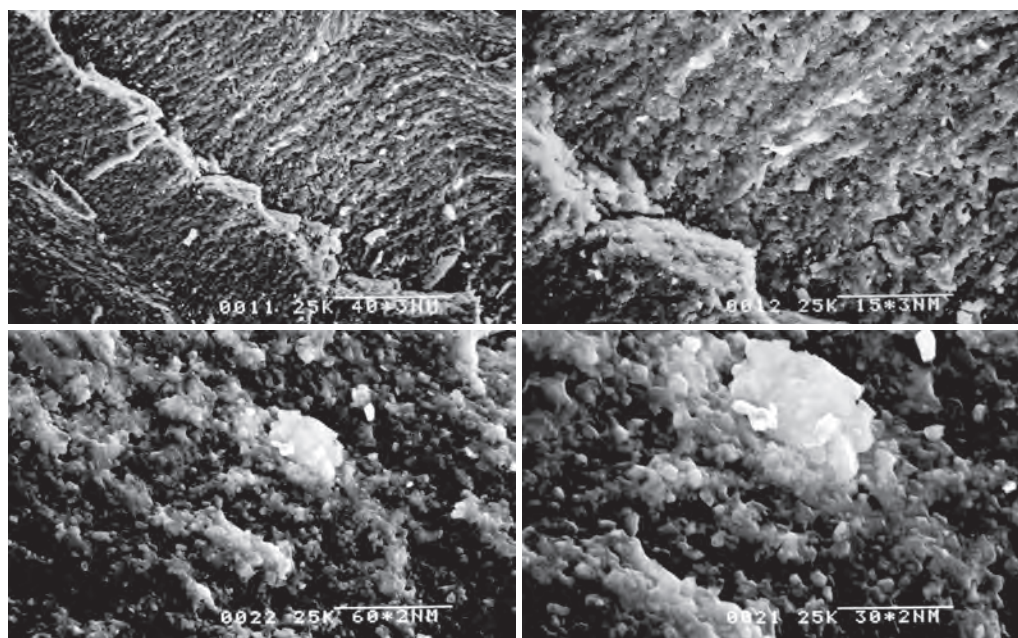


Рис. 2. Микроструктура излома образца ЧСДЦ с нарастающим увеличением (излом ударным нагружением); обозначение под масштабной линией на микрофотографиях $B \cdot \text{CNM}$ расшифровывается как $B \cdot 10^C \text{ нм}$

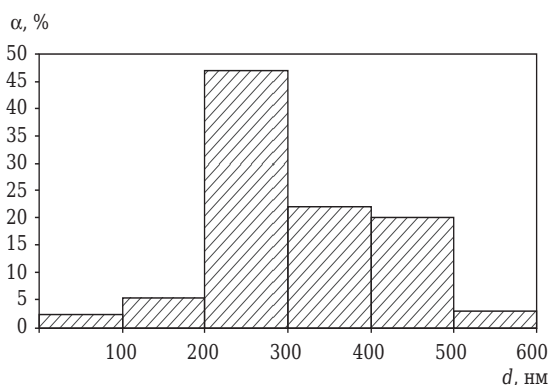


Рис. 3. Столбчатая гистограмма распределения зерен по размерам на поверхности излома образца ЧСДЦ

«Hitachi S 405A» по стандартной методике. Поверхность излома образца ZrO_2 , полученного методом ударного нагружения, обладает ярко выраженным террасовидно-ступенчатым рельефом с длинными (до 1000 мкм) террасами шириной около 150 мкм (см. рис. 2, сверху). Расположенные на террасах и почти перпендикулярные им ступени имеют ширину (период) 1,5–3,0 мкм. Возможно, подобная микроструктура связана с полиморфными превращениями ZrO_2 у вершины трещины в процессе разрушения образца ЧСДЦ. При более детальном анализе излома (см. рис. 2, внизу) обнаружено, что прошедшая трещина обнажила на поверхности разрушения группы полиэдрических частиц линейными размерами в основном 0,2–0,6 мкм. Агрегаты размерами 2–10 мкм в поперечнике наблюдаются по всей поверхности

излома. Средний размер зерна на поверхности излома составляет 310 нм. Столбчатая гистограмма распределения зерен по размерам показана на рис. 3.

Представляется, что существенный рост размера зерен ЧСДЦ, зарегистрированный на поверхности излома, связан прежде всего с их рекристаллизацией в процессе спекания. Влияние термического воздействия на состав керамики исследовали после погружения двух образцов в жидкий азот и одного образца в жидкий гелий. Для устранения потери фрагментов образцов при возможном разрушении в условиях низких температур образцы помещали в сетчатые медные капсулы. Капсулы в медных трубках с отверстиями для свободного поступления жидких азота и гелия опускали в дьюары на 15 мин. Пребывание в жидком азоте и жидком гелии не привело к утрате образцами целостности и появлению на их поверхностях трещин и микротрещин. Погружение в жидкий азот в одном образце не вызвало изменения фазового состава на базовых поверхностях. Во втором образце увеличилось количество моноклинной фазы до 11 мас. % (5 % до эксперимента), увеличился объем элементарной ячейки $t_1\text{-ZrO}_2$ и уменьшился размер ОКР этой фазы до 56–60 нм (80 нм до эксперимента). На срезах в обоих образцах наблюдается увеличение в 2 раза количества моноклинной фазы по сравнению с ее содержанием до погружения образца в азот. При этом повышение количества моноклинной фазы происходило за счет перехода

Упругие модули керамики на основе ЧСДЦ

Состав	ρ_0 , г/см ³	V, %	C_L , км/с	C_T , км/с	G, ГПа	K, ГПа	E, ГПа	ν
$t\text{-ZrO}_2$ 2 % Y_2O_3 *	6,010	3,0	6,74	3,60	78	169	202	0,30
$t\text{-ZrO}_2$ 3 % Y_2O_3 [8]	5,790	6,0	6,75	3,63	76	162	198	0,30
$t\text{-ZrO}_2$ [5]	5,954	—	6,86	3,63	78	176	205	0,31
$t\text{-ZrO}_2$ [5]	6,020	—	7,11	3,72	83	194	219	0,31

* По данным авторов настоящей статьи.

$t_2\text{-ZrO}_2$ в моноклинную модификацию. Пребывание в жидком гелии вызывает небольшое увеличение количества моноклинной фазы на базовых поверхностях до 7–8 % и на срезе до 10 мас. % (7 % до эксперимента). Следует, однако, отметить, что определенные механические усилия, с которыми образцы загружали в капсулы и трубки, а после экспериментов освобождали из них, могли повлиять на фазовый состав их поверхностей. Поэтому зарегистрированные изменения фазового состава в данном случае нельзя считать значимыми.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ

По стандартным методикам были определены некоторые механические свойства керамики. Трещиностойкость K_{1c} составляла 8 МПа · м^{1/2}; твердость по Роквеллу HRC 89 единиц. Модуль упругости и микротвердость измеряли на атомном силовом микроскопе «Solver Next» с использованием программ Nova и NanoScan. Результаты: микротвердость ($15,49 \pm 1,37$) ГПа, модуль упругости ($343,31 \pm 56,83$) ГПа. Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ (1500 ± 200) МПа.

Измерения продольной C_L и поперечной C_T фазовой скорости звука в образцах на частотах 5 МГц были выполнены на модифицированной установке УЗИС-ГЭТУ по времени прохождения акустических импульсов через образец известной толщины [9]. Погрешность измерения не превышала 1,5 % измеряемой величины. По величине продольной и поперечной скорости распространения звуковых волн рассчитывали значения упругих модулей в однородной и изотропной среде по следующим формулам:

$$G = \rho_0 C_T^2,$$

$$K = \rho_0 \left(C_L^2 - \frac{4}{3} C_T^2 \right),$$

$$E = \rho_0 C_T^2 \frac{3C_L^2 - 4C_T^2}{C_L^2 - C_T^2},$$

$$\nu = \frac{C_L^2 - 2C_T^2}{2(C_L^2 - C_T^2)},$$

где G — модуль сдвига; ρ_0 — плотность образцов; K — модуль всестороннего сжатия; E — модуль Юнга; ν — коэффициент Пуассона.

Результаты расчетов упругих модулей приведены в таблице. Приведенные в таблице величины упругих модулей керамики на основе $t\text{-ZrO}_2$ при сопоставлении с литературными данными возрастают с увеличением плотности керамики, как отмечалось ранее [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовлены образцы керамики на основе ЧСДЦ состава 98 мол. % ZrO_2 + 2 мол. % Y_2O_3 . Плотность образцов ρ_0 составляет 6,01 г/см³ при пористости 3–4 % и среднем размере зерен спеченного материала 0,3 мкм. Предел прочности при статическом изгибе (1500 ± 200) МПа, продольная скорость звука в образцах $C_L = 6,74$ км/с, модуль сдвига G 78 ГПа и коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$. Согласно данным РФА керамика после обжига состоит в основном из тетрагональной фазы, являющейся искаженной флюоритовой структурой. После механического воздействия материал на срезах и изломе имеет трехфазный состав. Помимо моноклинного ($m\text{-ZrO}_2$) и тетрагонального ($t_1\text{-ZrO}_2$) твердых растворов, присутствующих на базовых поверхностях, зафиксировано присутствие второй тетрагональной фазы ($t_2\text{-ZrO}_2$), имеющей объемно-центрированную кристаллическую структуру.

Подтверждено, что механическое воздействие на керамику инициирует превращение тетрагональной фазы в моноклинную. На срезе и при ударном изломе в керамике возрастает содержание моноклинной фазы. Пребывание образцов керамики на основе ЧСДЦ в условиях термонагружения от комнатной температуры до температур жидких азота и гелия и в обратном направлении не привело к утрате образцами целостности и образованию трещин на их поверхностях. Величины упругих модулей исследованной керамики возрастают с ростом плотности материала образцов, что подтверждено сопоставлением с литературными данными.


Библиографический список

1. **Рутман, Д. С.** Высокоогнеупорные материалы из двуокси циркония / Д. С. Рутман, Ю. С. Торопов, С. Ю. Плинер [и др.]. — М. : Металлургия, 1985. — 136 с.
2. **Плинер, С. Ю.** Высокопрочная керамика из тетрагонального диоксида циркония / С. Ю. Плинер, Д. С. Рутман, А. А. Дабизжа // Огнеупоры. — 1986. — № 9. — С. 19.
3. **Лукин, Е. С.** Особенности получения прочной керамики, содержащей диоксид циркония / Е. С. Лукин, Н. А. Попова, Н. И. Здвижкова // Огнеупоры. — 1991. — № 3. — С. 5.
4. **Шевченко, В. Я.** Техническая керамика / В. Я. Шевченко, С. М. Баринков. — М. : Наука, 1993. — 187 с.
5. **Mashimo, T.** Anomalous shock compression behavior of yttria-doped tetragonal zirconia / T. Mashimo, A. Nakamura, M. Nishida [et al.] // J. Appl. Phys. — 1995. — Vol. 77, № 10. — P. 5069–5076.
6. **Савиных, А. С.** Деформирование и разрушение нанокерамических образцов ZrO_2 и Al_2O_3 в ударных волнах : сб. «Физика экстремальных состояний вещества-2002» ; под ред. В. Е. Фортоса, В. П. Ефремова и др. / А. С. Савиных, С. В. Разоренов, Г. И. Каннель. — Черноголовка, 2002. — С. 77, 78.
7. **Grady, D. E.** Shock and release wave properties of yttria-doped tetragonal and cubic zirconia / D. E. Grady, T. Mashimo // J. Appl. Phys. — 1992. — Vol. 71, № 10. — P. 4868–4874.
8. **Милявский, В. В.** Керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония: синтез, структура и свойства при динамическом нагружении / В. В. Милявский, А. С. Савиных, Ф. А. Акопов [и др.] // ТВТ. — 2011. — Т. 49, № 5. — С. 707.
9. **Шевелько, М. М.** Измеритель скорости распространения ультразвука повышенной точности УЗИС-ГЭТУ : Труды Нижегородской акустической научной сессии / М. М. Шевелько, А. Н. Перегудов, Л. А. Яковлев, М. В. Ковалевский ; под ред. С. Н. Гурбатова. — Нижний Новгород : ТАЛАН, 2002. — С. 297–299. ■

Получено 25.02.14

© [В. В. Милявский], Ф. А. Акопов, Е. С. Лукин, Л. Б. Боровкова, Т. И. Бородин, Г. Е. Вальяно, Н. А. Попова, В. С. Зиборов, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова
XI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов
Физикохимия и технология неорганических материалов
Москва, 16–19 сентября 2014 г.

Уважаемые коллеги!

Оргкомитет приглашает принять участие в конференции молодых научных сотрудников и аспирантов академических институтов, государственных научных центров и вузов, предприятий, занимающихся научными проблемами физикохимии и технологии неорганических материалов, а также студентов старших курсов.

Цель конференции: поддержка творческой активности молодых научных сотрудников и аспирантов академических институтов, государственных научных центров и вузов. Данная конференция затрагивает весь комплекс вопросов металлургии и материаловедения, включая наноматериалы и нанотехнологии, перспективные материалы, ресурсосберегающие процессы и технологии.

Конференция состоится в Институте металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова.
 Регистрация участников конференции, очное или заочное участие в конференции, публикация тезисов, личное получение трудов конференции – *бесплатно*. Можно участвовать в конференции заочно.

Тематика:

- Структура и свойства высокопрочных и наноструктурных металлических и композиционных материалов
- Развитие методов исследования и моделирования структуры и свойств материалов и наноматериалов
- Функциональные керамические и композиционные наноматериалы
- Развитие физико-химических основ и технологий новых процессов получения и формования порошковых материалов и наноматериалов
- Физико-химические основы получения и обработки перспективных неорганических материалов
- Физикохимия и технология энерго-, ресурсосберегающих и экологически безопасных процессов получения черных, цветных и редких металлов
- Перспективные композиционные покрытия и наноструктурные пленки функционального назначения
- Физико-химические основы новых процессов формообразования и обработки давлением материалов и наноматериалов

Контакты:
E-mail: info@imetro.ru • Тел.: (499)135-94-84, 135-44-91, 135-96-62 • www.m.imetro.ru

Д. Т. Н. В. Н. Соков (✉), К. Т. Н. С. Д. Сокова

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

УДК 666.974.2:666.762.11]-486:666.32/36

ТЕРМОСТОЙКИЙ КОРУНДОВЫЙ БЕТОН, АРМИРОВАННЫЙ ВОЛОКНАМИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, СИНТЕЗИРУЕМЫМИ В МАТРИЦЕ ПРИ ОБЖИГЕ. Часть 3. Выбор рациональных компонентов для получения корундового бетона*

Отмечено, что методы подбора состава огнеупорных и строительных бетонов значительно различаются. При подборе состава огнеупорного бетона следует учитывать физико-химические процессы, проходящие при его твердении и спекании. Установлено, что наиболее полным требованиям удовлетворяют бетоны на основе высокоглиноземистого цемента и корундового заполнителя.

Ключевые слова: корундовый бетон, подбор состава бетона, соотношение крупных и мелких фракций заполнителя, высокоглиноземистый цемент (ВГЦ).

Методы¹ подбора составов огнеупорных и строительных бетонов значительно различаются. Такой обобщенный показатель оценки качества строительных бетонов, как марка бетона, неприемлем для огнеупорных бетонов. Критерием качества огнеупорного бетона является его надежная работа при воздействии комплекса условий (температуры службы, газовой среды, жидкого шлака, металла, механических нагрузок и др.). При подборе состава огнеупорного бетона следует учитывать физико-химические процессы, происходящие в бетоне при твердении и разупрочнении при спекании. Наибольшую трудность при разработке состава огнеупорного бетона из конкретных материалов представляет выбор наибольшей крупности заполнителя и оптимального соотношения в бетонной смеси крупных и мелких фракций заполнителя. Для выбора важнейших параметров — водоцементного отношения и общего водосодержания в бетонной смеси существует ряд хорошо проверенных методик, позволяющих при известном составе бетона экспериментально уточнить требуемые расход воды и водоцементное отношение.

Для выбора оптимального соотношения крупных и мелких фракций заполнителя пока не существует строго научно обоснованных рекомендаций, позволяющих аналитически

рассчитать гранулометрический состав заполнителя. Поэтому в каждом отдельном случае, с учетом условий работы бетона, приходится находить это соотношение экспериментальным путем. В огнеупорных бетонах в отличие от обычных роль заполнителя очень высока, так как его свойства во многом определяют специфические показатели самого огнеупорного бетона (огнеупорность, деформацию под нагрузкой, остаточную прочность, огневую усадку и др.). Рационально подобранный состав заполнителя в бетоне позволяет резко сократить расход цемента, являющегося наиболее дорогим компонентом и легкоплавкой составляющей и снижающего огнеупорность бетона.

Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и снижает величину деформации бетона. Из-за неравномерности усадочных деформаций возникают внутренние напряжения, которые могут привести к образованию микротрещин. Заполнитель при этом «гасит» усадочные напряжения и в несколько раз уменьшает усадку бетона в целом по сравнению с усадкой цементного камня. Однако следует отметить, что снижение крупности заполнителя приводит к увеличению расхода вяжущего и водоцементного отношения, а это снижает огнеупорность, температуру деформации под нагрузкой и повышает огневую усадку бетона. Верхний предел крупности зерен заполнителя зависит от природы огнеупора (кварцит, спеченный магнезит, шамот), от размеров бетонных изделий, назначения масс и колеблется в пределах от 5 до 60 мм. Высказывается точка зрения о целесообразности применения в огнеупорных бетонах только мелкого заполнителя (0,4–0,8 мм),

* Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 5 за 2014 г., часть 2 — в № 6 за 2014 г.



В. Н. Соков

E-mail: sersok_07@mail.ru

обеспечивающего микротрещиностойкость при нагревании (работы Института физической химии [1]). Установлено, что массы с мелкозернистыми заполнителями склонны к усадке при высоких температурах и обладают низкой термостойкостью. Присутствие крупного заполнителя, по данным [2], полезно, так как такой заполнитель обеспечивает армирование бетона.

По нашему мнению, вопрос о размере зерен заполнителя необходимо рассматривать с учетом конкретных условий эксплуатации огнеупорного бетона. Следует учесть, что основу формирования и служебные свойства огнеупорного бетона определяют физико-химические процессы, происходящие не только при твердении, но и при нагревании, включая спекание. Огнеупорные бетоны после твердения должны обладать прочностью, обеспечивающей транспортability изделий, сохранять прочность при нагревании, иметь ограниченные усадку и деформацию при спекании. Поэтому огнеупорные заполнители следует рассматривать как химически активные компоненты, которые при взаимодействии с вяжущим образуют структуру бетона с определенными свойствами. С этой точки зрения мелкозернистые бетоны имеют преимущества перед крупнозернистыми. Часто встречающуюся в литературе сравнительную оценку огнеупорных бетонов только по прочностным показателям после твердения следует признать неточной. В работе [3] для композиционных материалов с регулируемой структурой предложена модель элементарной ячейки и рассмотрены реакции в ячейке, которые возникают при воздействии на нее внешней нагрузки. По этой модели структура бетона состоит из каркаса сферических зерен заполнителя, равномерно распределенных в матрице, которая создается затвердевшим цементным камнем. Рассматриваемая модель была использована для расчета прочности бетона в зависимости от количества, размера и прочности зерен заполнителя. Однако научно обоснованной методики выбора оптимальной крупности заполнителя нет. И в литературе об этом имеются противоречивые сведения [2, 4, 5], однако общая точка зрения такова — с увеличением крупности заполнителя холодная прочность растет, прочность после нагревания и обжига уменьшается. Однако бетонные футеровки разрушаются не из-за низкой прочности, а в результате сколов и трещин, образующихся при неравномерной усадке, высокой пористости и низкой термостойкости бетона.

На основании опытных данных, а также исходя из условия удобоукладываемости бетонной смеси по рекомендации [5] было установ-

лено, что наибольшая крупность заполнителя, при которой достигаются максимальные прочность и термостойкость бетона, ограничена размером примерно 5 мм. Наиболее полным требованиям к материалам, применяемым, например, в качестве конструктивных элементов футеровки конвертера аммиака, удовлетворяют корундовые бетоны на основе высокоглиноземистого цемента (ВГЦ) и корундового заполнителя.

Высокоглиноземистый цемент марки Та-люм отличается от других гидравлических вяжущих тем, что в его составе диалюминат кальция $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (CA_2) преобладает над моноалюминатом кальция $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA) и по химическому составу содержание в нем Al_2O_3 находится в пределах от 75 до 80 % [6, 7]. Это обеспечивает огнеупорность до 1800 °С и позволяет определить возможную температуру службы (1700–1750 °С) при выборе соответствующего заполнителя и рациональной технологии изготовления изделий; ВГЦ содержит более 75 % CA_2 . Соотношение CA_2 и CA значительно влияет на свойства цемента как в нормальных условиях, так и после обжига. Этот вопрос освещался в ряде работ [8–10], в которых было показано, что содержание CA_2 в количестве 80 % и CA 20 % наиболее оптимально. Характеристика ВГЦ приведена ниже:

Химический состав, %:

SiO_2	0,24
Al_2O_3	79,12
Fe_2O_3	0,12
CaO	20,17
MgO	0,11
SO_3	0,04
$\Delta m_{\text{прк}}$	0,03

Минеральный состав, %:

CA_2	80
CA	20

Срок схватывания, мин:

начало	30
конец	120

Активность, МПа. 64

Нормальная консистенция, % 21,8

Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$ 4500

Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ 3,1

Огнеупорность, °С. 1780

Недостатком ВГЦ является короткий срок схватывания, что усложняет технологию производства бетонных изделий на его основе. Физико-механические характеристики ВГЦ после твердения 1 и 28 сут: предел прочности при изгибе 3,9 и 9,2 МПа, предел прочности при сжатии 23,0 и 64,0 МПа соответственно. Большая огневая усадка ВГЦ, достигающая 7 % при 1500 °С, может быть сведена до минимума за

счет рационально подобранного гранулометрического состава.

Для создания высокопрочного огнеупорного бетона на основе ВГЦ лучшим заполнителем является корунд. Выше 1300 °С он участвует в химических реакциях с ВГЦ, что ведет к образованию плотной структуры и повышению прочности бетона. В качестве заполнителя в данной работе использованы лом и бой корундовых изделий марки К. Лом и бой после дробления подвергали рассеву. Зерновой состав заполнителя, %: 2,5–5,0 мм 10, 1,25–2,50 мм 10, 0,63–1,25 мм 25, 0,315–0,630 мм 29, 0,140–0,315 мм 22, мельче 0,4 мм 4. Физико-хи-

мические показатели заполнителя приведены ниже:

Массовая доля, %:

Al_2O_3 , не менее	97
Fe_2O_3 , не более	0,5
Открытая пористость, %, не более	23
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	3,2
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	73,0

В качестве армирующего компонента использованы специальные волокна диаметром от 30 до 40 мкм и длиной 5–8 мм.

(Продолжение следует)

Библиографический список

1. **Доронин, Л. К.** Мелкозернистый огнеупорный бетон на цементных вяжущих : автореф. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1970. — 20 с.
2. **Стрелов, К. К.** Технология и организация производства огнеупорных бетонов и применение их в металлургической промышленности / К. К. Стрелов, Д. С. Рутман, П. П. Дьячков // Труды ВостИО. — 1969. — Вып. 10. — С. 6–24.
3. **Стрелов, К. К.** Структура и свойства огнеупоров / К. К. Стрелов. — М. : Металлургия, 1972. — 215 с.
4. **Гогоци, Г. А.** Установка для испытания хрупких материалов на термостойкость / Г. А. Гогоци // За-водская лаборатория. — 1967. — № 5. — С. 627, 628.
5. **Баженов, Ю. М.** Способы определения состава бетона различных видов / Ю. М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1975. — 263 с.
6. **Кондрашенков, А. А.** Высокоглиноземистый цемент на основе алюмотермических шлаков / А. А. Кондрашенков, Г. И. Залдат, Б. С. Кишко // Цемент. — 1977. — № 1.
7. **Бакалкин, А. П.** Опыт получения высокоглиноземистого цемента на Семилюкском огнеупорном заводе / А. П. Бакалкин, Я. З. Шапиро, Н. М. Сорин [и др.]. — Огнеупоры. — 1986. — № 5. — С. 26–28.
8. **Sawkow, J.** Влияние фазового состава огнеупорных глиноземистых цементов на их эксплуатационные свойства / J. Sawkow, J. Silikowski // НИИТИ, Силикатные строительные материалы. — 1977. — № 12.
9. **Sawkow, J.** Огнеупорный глиноземистый цемент с добавкой $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ / J. Sawkow // ВИНТИ. Силикатные строительные материалы. — 1977. — № 3.
10. **Jung, M.** Свойства и применение огнеупорных цементов, разработанных в ГДР / M. Jung // ВИНТИ. Силикатные строительные материалы. — 1977. — № 2. ■

Получено 01.04.14

© В. Н. Соков, С. Д. Сокова, 2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



COM 2014
CONFERENCE OF METALLURGISTS
MET SOC



PROSPERITY THROUGH PROCESS ADVANCEMENTS

SEPTEMBER 28 TO OCTOBER 1, 2014 • HYATT REGENCY HOTEL, VANCOUVER (BC)

COM 2014 — конгресс сталеплавильщиков

28 сентября – 1 октября
2014 г.

г. Ванкувер,
Канада

Д. т. н. С. Н. Григорьев¹, д. т. н. В. В. Кузин¹ (✉), к. т. н. С. Ю. Фёдоров¹,
д. фил. Тибор Салаи², к. д. фил. Балаж Фаркаш²

¹ ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
Москва, Россия

² Будапештский университет технических и экономических наук, г. Будапешт, Венгрия

УДК 666.3:621.9.048.4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В ВЫСОКОПЛОТНОЙ КЕРАМИКЕ. Часть 1

Приведены результаты изучения влияния технологических режимов электроэрозионной обработки на точность отверстий малого диаметра в деталях из высокоплотной керамики. Установлено, что повышение частоты и длительности импульсов при электроэрозионной обработке отверстий в оксидно-карбидной керамике приводит к увеличению диаметра и отклонений от формы отверстий, а также диаметра и высоты конуса на дне отверстия. Определена необходимость оптимизации электроэрозионной обработки отверстий малого диаметра в высокоплотной керамике.

Ключевые слова: высокоплотная керамика, электроэрозионная обработка, электроимпульсный режим, точностные параметры, отклонение от формы, область повреждений.

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационная надежность керамических изделий во многом зависит от вида и условий их обработки [1, 2]. Наиболее распространенная для их изготовления операция алмазного шлифования характеризуется экстремально высоким уровнем теплового и силового воздействия на обрабатываемую поверхность [3, 4]. Под действием этих нагрузок в поверхностном слое керамических изделий образуются многочисленные трещины и области локальных разрушений, которые крайне негативно влияют на эксплуатационные показатели изделий [5, 6]. Более того, выполнение отдельных технологических операций алмазной обработки при изготовлении керамических изделий крайне затруднено (например, сверление отверстий диаметром менее 0,5 мм) [7]. В совокупности эти обстоятельства определяют актуальность научных работ, ориентированных на поиск инновационных технологий изготовления керамических изделий сложной формы.

Одним из эффективных вариантов решения этой задачи является применение технологии электроэрозионной обработки (electrical discharge machining — EDM) [8]. К ее основным преимуществам следует отнести практическое

отсутствие силовых нагрузок при обработке, возможность обработки нежестким электродом-инструментом [9]. Высокая эффективность электроэрозионной обработки при сверлении отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных сплавов для газотурбинных двигателей убедительно доказана результатами ее промышленного применения [8]. Однако эта технология редко применяется для обработки деталей из высокоплотной керамики из-за технологических проблем, связанных с особенностями керамики как обрабатываемого материала [10]. Высокое электросопротивление и неоднородная структура керамики, которую формируют как токопроводящие зерна (например, карбид титана), так и зерна, не проводящие ток (например, оксид алюминия), не позволяют изготавливать высокоточные изделия [11, 12].

В этой связи возникает необходимость изучить влияние технологических режимов электроэрозионной обработки на точность керамических изделий и на этой основе сформулировать научно обоснованные рекомендации по оптимальному проектированию технологических процессов изготовления керамических изделий и назначению режимов обработки на каждой операции. Цель настоящей работы — исследование влияния технологических режимов электроэрозионной обработки на точностные параметры «глухих» отверстий малого диаметра в высокоплотной оксидно-карбидной керамике. Результаты исследования будут представлены в серии статей. В части 1 статьи



В. В. Кузин

E-mail: kyzena@post.ru

изложена методика исследования и проанализировано влияние частоты и длительности импульсов на точностные параметры отверстий, в части 2 рассмотрено влияние напряжения пробоя, коэффициента усиления напряжения, силы пикового тока и рабочего напряжения на точностные параметры отверстий, в части 3 проанализировано влияние технологических режимов на размеры и морфологию области повреждений, образующейся на торцевой поверхности керамических образцов и примыкающей к отверстию.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования проводили с использованием прецизионного электроэрозионного станка SARIX SA модели SX-200-HPM, Швейцария. Станок реализует электроимпульсный режим обработки, при котором воздействие ионного потока на поверхность заготовки, являющейся катодом, обеспечивает высокую скорость съема материала (в 8–10 раз превышает производительность электроискрового режима) в ущерб точности изделий. Съем материала с заготовки осуществляется в результате многочисленных дуговых разрядов в зазоре (рис. 1, а), заполненном рабочей жидкостью, между электродом-инструментом и заготовкой [9]. Каждый разряд является интенсивным источником теплоты, создающим тепловой поток в заготовку, который мгновенно нагревает локальную область материала. В результате нестационарного теплового нагрева происходят процессы плавления и испарения микрообъема материала с поверхности заготовки с образованием эрозионной лунки. Отвод продуктов эрозии и создание необходимого разряда обеспечивает рабочая жидкость. При сверлении отверстий электроду-инструменту придают два движения: вращательное v и поступательное S (см. рис. 1, а).

Общий вид прецизионного электроэрозионного станка показан на рис. 1. б. Станок оснащен высокочастотным генератором импульсов SX-HPS 1, ротационным шпинделем 2, блоком SX-CU 3 с программным обеспечением для управления электрическими цепями и механизмами контроля, а также панелью SX-MMI 4 для дистанционного мониторинга параметров обработки. В рабочую зону станка, ограниченную резервуаром, подавали деионизированную воду методом полива, которая затем очищалась от продуктов обработки фильтрующими элементами. В качестве электрода-инструмента использовали стержни из карбида вольфрама диаметром 0,3 и длиной 300 мм, которые

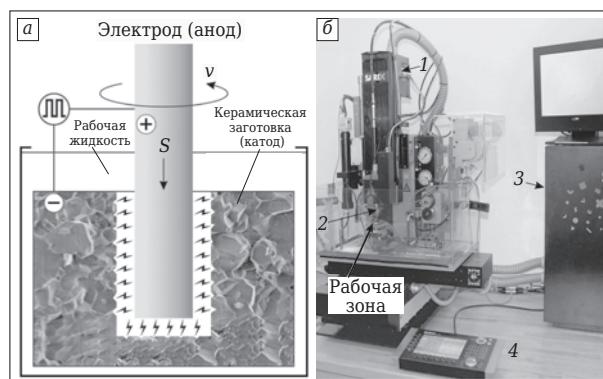


Рис. 1. Принципиальная схема электроимпульсного режима электроэрозионной обработки (а) и общий вид электроэрозионного станка (б)

устанавливали в ротационный шпиндель, оснащенный специальным зажимным устройством. Система автоматической подачи электрода-инструмента обеспечивает непрерывность процесса сверления и постоянную корректировку величины «вылета» электрода-инструмента из шпинделя при его износе в процессе обработки. В качестве обрабатываемого материала использовали заготовки размерами $20 \times 20 \times 5$ мм из керамики BOK71 системы $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$ (твердость HRA 93–94, электросопротивление 0,4 Ом). Заготовки получали по технологии горячего прессования с последующим алмазным шлифованием всех поверхностей (шероховатость $Ra = 0,1$ мкм). Образец закрепляли в зажимном приспособлении на трехкоординатном рабочем столе.

Провели две серии экспериментов. В первой серии изменяли частоту импульсов f в диапазоне от 60 до 140 кГц, другие параметры были неизменными: длительность импульса $t_{\text{и}} = 5$ мкс, сила пикового тока $I = 65$ А, рабочее напряжение $U = 120$ В, энергия импульсов $E = 0,105$ Дж, напряжение пробоя $U_g = 80$ В, коэффициент усиления напряжения $k_u = 70$, глубина сверления $t = 1$ мм. Во второй серии экспериментов изменяли длительность импульсов $t_{\text{и}}$ в диапазоне от 2 до 8 мкс, а другие параметры оставляли без изменения: $f = 120$ кГц, $I = 65$ А, $U = 120$ В, $E = 0,105$ Дж, $U_g = 80$ В, $k_u = 70$, $t = 0,5$ мм. Частота вращения инструмента-электрода во всех экспериментах была постоянной и составляла 600 об/мин; продольное перемещение (подача) S электрода-инструмента обеспечивалось станком в автоматическом режиме.

Для выявления параметров «глухого» отверстия в керамической заготовке, позволяющих идентифицировать точность электроэрозионной обработки, предварительно исследовали геометрию и морфологию поверхности отвер-

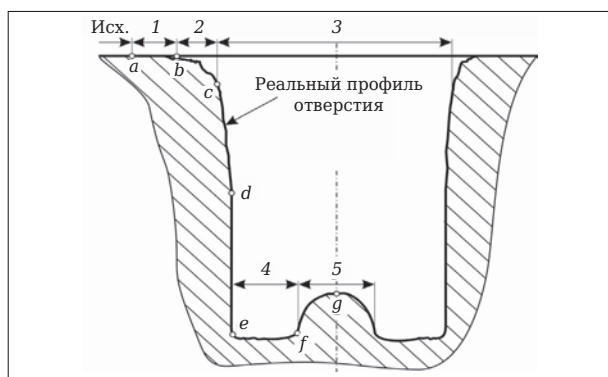


Рис. 2. Реальный профиль «глухого» отверстия после электроэрозионной обработки

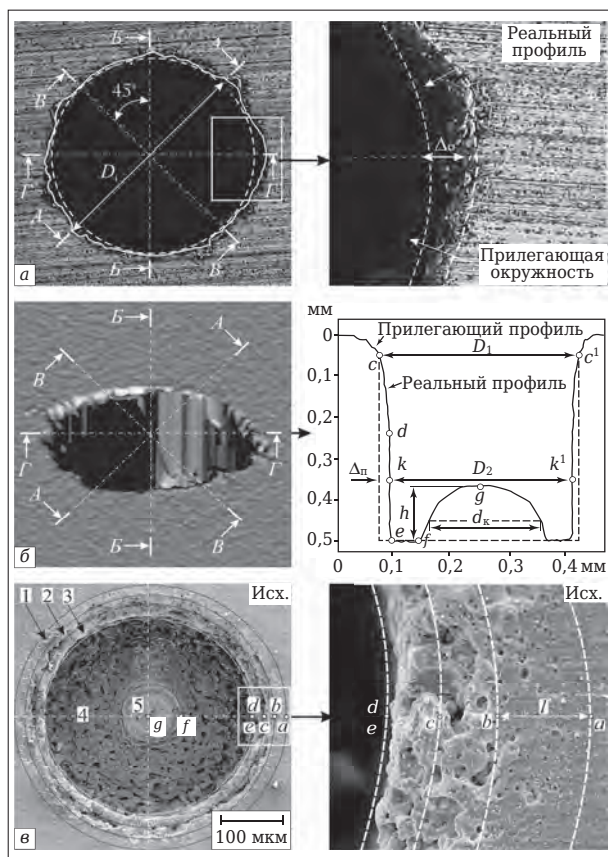


Рис. 3. Иллюстрация методики определения точностных параметров «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВСК71 при электроэрозионной обработке

стей и построили его типовой контур. При этом выявили 5 характерных участков на реальном профиле отверстий (рис. 2). На исходной торцевой поверхности керамических образцов формируется область повреждений 1 (от точки a до точки b), которая характеризуется многочисленными дефектами в виде кратеров эрозии и участками расплавленного материала. Далее образуется переходная область 2 (от точки b до точки c), которая имеет радиусную форму и образуется на пересечении торцевой

поверхности заготовки с цилиндрической поверхностью отверстия. Эта область, имеющая очень дефектную структуру поверхности, распространяется на глубину 0,045–0,055 мм. Боковую поверхность отверстия образует «реальный» профиль 3 (от точки c до точки e), состоящий из конического (от точки c до точки d) и цилиндрического (от точки d до точки e) участков. Внутренняя торцевая поверхность «глухого» отверстия имеет сложный вид и образуется дном 4 (от точки e до точки f) и конусом 5 (от точки f до точки g), происхождение которого связано с износом торцевой поверхности электрода-инструмента.

Для идентификации точности отверстий сложной формы использовали следующие параметры: диаметр отверстия D_c , отклонение от круглости отверстия Δ_o , отклонение профиля продольного сечения отверстия от цилиндрической поверхности Δ_n , диаметр конуса d_k , образованного на дне отверстия, высота конуса h , ширина области повреждений l . На рис. 3 показаны иллюстрации измерений этих параметров отверстия. Диаметр отверстия D_c определяли как среднее арифметическое четырех измерений диаметров реального профиля отверстия в плоскостях $A-A$, $B-B$, $V-V$ и $\Gamma-\Gamma$, расположенных под углом 45° друг к другу (см. рис. 3, а). Отклонение Δ_o (ГОСТ 24642) определяли как наибольшее расстояние от точек реального профиля отверстия до прилегающей окружности, вписанной в реальный профиль. Эти измерения выполняли в четырех плоскостях с применением оптического микроскопа «Olympus BX51M». Отклонение Δ_n (ГОСТ 24642) определяли как наибольшее расстояние между реальным и прилегающим профилями в четырех плоскостях $A-A$, $B-B$, $V-V$ и $\Gamma-\Gamma$ (см. рис. 3, б). Прилегающим профилем считали цилиндрическую поверхность, проходящую через точки c и c^1 , расположенные на расстоянии 0,05 мм от торцевой поверхности керамической заготовки. Для определения значения Δ_n первоначально записывали профиль отверстия на приборе «MicroCAD premium» в четырех плоскостях. Затем на полученных профилограммах измеряли расстояния D_1 и D_2 между точками c и c^1 и k и k^1 соответственно. Измерения D_1 и D_2 производили на расстоянии 0,05 и 0,35 мм от торцевой поверхности керамической заготовки соответственно. Считали средние значения расстояний D_1 и D_2 , измеренных в четырех плоскостях, диаметрами прилегающего и реального профилей, а разницу между ними ($\Delta_n = D_1 - D_2$) — отклонением профиля продольного сечения отверстия.

Параметры d_k и h также измеряли на профилограммах, полученных с использованием

прибора «MicroCAD premium» в четырех плоскостях А–А, Б–Б, В–В и Г–Г (см. рис. 3, б). В качестве d_k и h принимали средние значения измерений, произведенных в этих плоскостях. Замеры d_k выполняли на расстоянии 0,45 мм от торцевой поверхности керамической заготовки, h измеряли между плоскостью дна отверстия и вершиной конуса. Показатель l определяли как расстояние между окружностями 1 и 2, описывающими поврежденную и переходную области соответственно (см. рис. 3, в). Измерения производили с использованием электронно-сканирующего микроскопа TESCAN VEGA 3LMH с вольфрамовым катодом и термоэмиссией. На основании измерений значений l в четырех плоскостях А–А, Б–Б, В–В и Г–Г определяли среднее значение этого параметра.

Использование описанной методики позволило однозначно идентифицировать точностные параметры отверстий и исследовать влияние на них технологических режимов электроэрозионной обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования влияния f на точностные параметры «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71 показаны на рис. 4. С увеличением частоты импульсов в диапазоне $f = 60 \div 140$ кГц точность отверстий значительно ухудшается, причем в наименьшей степени это влияние проявляется на изменении D_c , а наиболее существенно — на отклонениях от формы отверстия. Наименьшее значение D_c зафиксировано при обработке с $f = 60$ кГц ($d_{cp} = 0,405$ мм), а наибольшее — с $f = 140$ кГц ($d_{cp} = 0,456$ мм). Выявлена линейная зависимость между f и D_c , причем повышение f с 60 до 140 кГц приводит к увеличению D_c на 11 %.

Более заметно влияет f на Δ_o : с повышением f показатель Δ_o увеличивается. Например, при $f = 60$ кГц Δ_o отверстия составляет 16 мкм, а при $f = 140$ кГц увеличивается более чем в 2 раза и достигает 32 мкм. Установлено, что в наибольшей степени f влияет на показатель Δ_n . С повышением f в диапазоне от 60 до 140 кГц отклонение Δ_n увеличивается от 2,9 раза.

Результаты исследования влияния t_n на точностные параметры «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВОК71 показаны на рис. 5, а. Видно, что с увеличением t_n точность отверстий также уменьшается. Повышение t_n с 2 до 8 мкс приводит к увеличению показателей D_c с 0,4 до 0,48 мм, Δ_o с 14 до 48 мкм и Δ_n с 6 до 22 мкм. Таким образом, наибольшее влияние t_n оказывает на Δ_o и Δ_n (зафиксировано увеличение Δ_n в 3,7 раза), а наименьшее — на

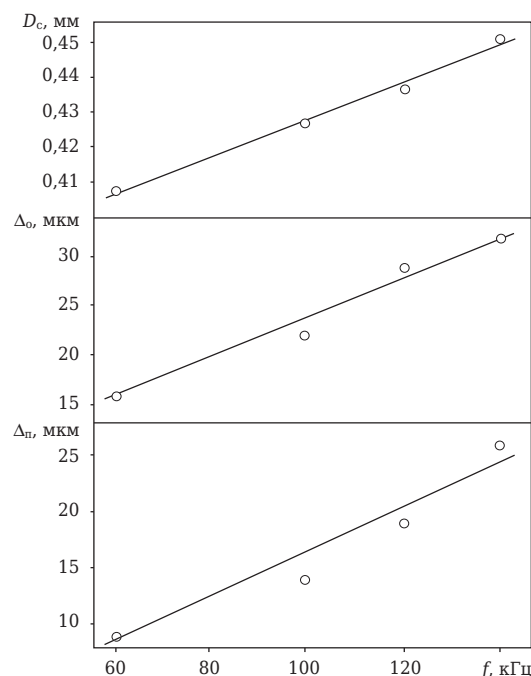


Рис. 4. Влияние f на точностные параметры «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВОК71 при электроэрозионной обработке

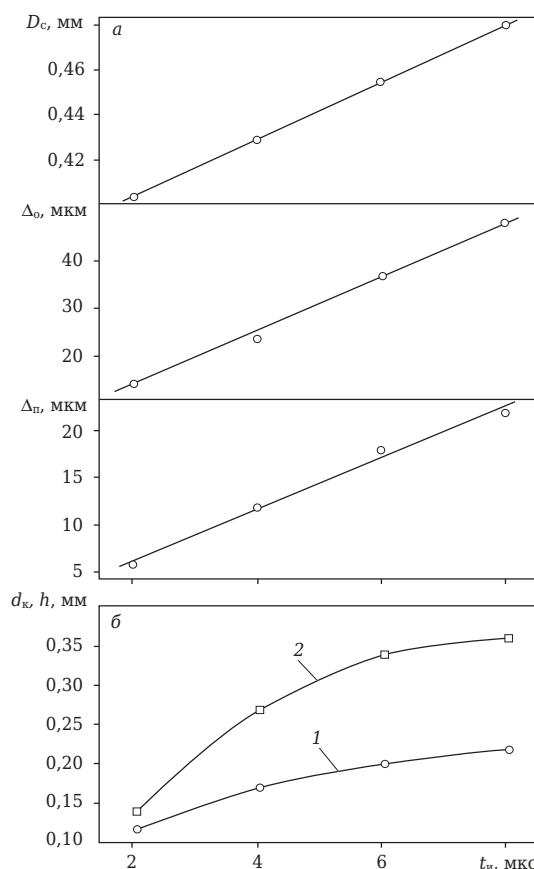


Рис. 5. Влияние t_n на точностные параметры «глухого» отверстия (а) и геометрию дна «глухого» отверстия (б) в заготовке из керамики ВОК71 при электроэрозионной обработке

D_c (в 1,2 раза). Значение Δ_n увеличивается в 3,4 раза при повышении t_n с 2 до 8 мкс.

Влияние t_n на геометрию дна отверстия показано на рис. 5, б. Установлено, что повышение t_n с 2 до 8 мкс приводит к увеличению d_k и h в 1,8 и 2,6 раза соответственно. С учетом связи этих параметров с состоянием торцевой поверхности электрода-инструмента можно отметить, что на ней формируется вогнутая фасонная поверхность, которая копируется на дне «глухого» отверстия. Интенсивность образования этого очага износа также связана с длительностью импульсов, причем в диапазоне $t_n = 2 \div 8$ мкс скорость износа электрода-инструмента в продольном направлении выше, чем в поперечном направлении.

Анализ влияния выявленных взаимосвязей f и t_n на точностные параметры «глухого» отверстия в заготовке из керамики ВСК71 при электроэрозионной обработке показал, что все зависимости с высокой точностью описываются линейной функцией. Это значительно упрощает последующий поиск оптимальных технологических параметров сверления отверстий в заготовках из высокоплотной керамики.

Библиографический список

1. **Балыков, А. В.** Обработка деталей из хрупких неметаллических материалов алмазными кругами / А. В. Балыков, А. Б. Липатова // Технология металлов. — 2008. — № 10. — С. 44–49.
2. **Кузин, В. В.** Инструменты с керамическими режущими пластинами / В. В. Кузин. — М. : Янус-К, 2006. — 160 с.
3. **Кузин, В. В.** Технология механической обработки деталей из высокоогнеупорной керамики на основе нитрида кремния / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2006. — № 8. — С. 19–24.
4. **Kuzin, V. V.** 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.
5. **Кузин, В. В.** Технологические особенности алмазного шлифования деталей из нитридной керамики / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2004. — № 1. — С. 37–41.
6. **Kuzin, V. V.** A model of forming the surface layer of ceramic parts based on silicon nitride in the grinding process / V. V. Kuzin // Key Engineering Materials. — 2012. — Vol. 496. — P. 127–131.
7. **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.
8. **Балыков, А. В.** Алмазное сверление отверстий в деталях из хрупких неметаллических матери-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что частота f и длительность импульсов t_n значительно влияют на точность «глухих» отверстий в заготовках из оксидно-карбидной керамики ВСК71. При $f = 60 \div 140$ кГц D_c увеличивается на 11 %, а Δ_o и Δ_n — в 2,0 и 2,9 раза соответственно. Длительность импульса t_n оказывает более значимое влияние на точностные параметры «глухого» отверстия. В диапазоне $t_n = 2 \div 8$ мкс зафиксировано увеличение D_c , Δ_o , Δ_n , d_k и h в 1, 2; 3,4; 3,7; 1,8 и 2,6 раза соответственно.

Полученные результаты указывают на необходимость оптимизации технологических параметров электроэрозионной обработки, используемой для отверстий малого диаметра в деталях из высокоплотной керамики для обеспечения их точности.

* * *

Статья подготовлена при поддержке Минобрнауки России при выполнении научно-исследовательской работы в рамках государственного задания.

(Продолжение следует)

алов / А. В. Балыков. — М. : Наука и технологии, 2003. — 187 с.

8. **Елисеев, Ю. С.** Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов, А. А. Митрофанов [и др.]. — М. : Дрофа, 2002. — 656 с.

9. **Фатеев, Н. К.** Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фатеев. — Л. : Машиностроение, 1990. — 290 с.

10. **Старков, В. К.** Повышение эксплуатационных характеристик изделий из керамических материалов методами механической и термической обработки / В. К. Старков, В. В. Кузин, В. Ф. Попов [и др.]. — М. : ВНИИТЭМР. Машиностроительные производства. Сер. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении : обзорная информ. Вып. 4. — 1989. — 62 с.

11. **Muttamara, A.** Probability of precision micro-machining of insulating Si_3N_4 ceramics by EDM / A. Muttamara, Y. Fukuzawa, N. Mohri // Journal of Materials Processing Technology. — 2003. — Vol. 14. — P. 243–247.

12. **Bhattacharyya, B.** Experimental investigations into electrochemical discharge machining (ECDM) of non-conductive ceramic materials / B. Bhattacharyya, B. N. Doloi, S. K. Sorkhel // Journal of Materials Processing Technology. — 1999. — Vol. 9. — P. 145–154. ■

Получено 21.04.14

© С. Н. Григорьев, В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, Тибор Салаи, Балаж Фаркаш, 2014 г.

Е. В. Романюк¹, д. т. н. Ю. В. Красовицкий² (✉), к. т. н. А. А. Смирных², И. А. Чугунова²

¹ ФГБОУ ВПО «Воронежский институт ГПС МЧС России», г. Воронеж, Россия

² ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Россия

УДК 66.067.3:666.76.001.8

КОМБИНИРОВАННЫЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

Предложено конструктивное решение процесса пылеулавливания комбинированными фильтровальными перегородками, определены технологические режимы их работы, разработаны и экспериментально проверены математические интерполяционные модели процесса пылеулавливания. Разработан экспериментальный многослойный фильтр с зернистым огнеупорным фильтрующим материалом, позволяющий осуществлять последовательную очистку полидисперсного потока.

Ключевые слова: конструкционные огнеупоры, многослойные фильтровальные элементы, насыпной комбинированный фильтр (НКФ).

В связи с интенсификацией производства, износом технологического оборудования и нерациональной организацией природоохранных мероприятий загрязненность окружающей среды постоянно растет. Серьезным источником пылевых выбросов в окружающую среду является производство строительных и огнеупорных материалов. Пылевые выбросы в атмосферу предприятий этого производства достигают нескольких миллионов тонн в год, поэтому в настоящее время чрезвычайную актуальность приобретают разработка новейших пылеулавливающих установок и создание безотходных технологий. Высокоэффективному обеспылеванию, анализу и контролю эффективности работы пылеулавливающих аппаратов посвящены исследования Е. П. Медникова, О. В. Клепникова, А. Ю. Вальдберга и других отечественных и зарубежных авторов, однако несмотря на обширный круг исследований проблема пылеулавливания до сих пор остается актуальной.

Наиболее распространенный способ удаления частиц пыли из запыленных газовых потоков — фильтрация, при этом особое значение приобретает фильтрация через зернистые слои. Зернистые слои позволяют не только обеспечить предельно допустимые выбросы, но и организовать в отдельных производствах утилизацию отходов [1, 2]. На рис. 1 показан

разработанный авторами настоящей статьи насыпной комбинированный фильтр (НКФ) с продувочными трубками. Конструкция фильтра позволяет оперативно менять сменную фильтровальную кассету, что обеспечивает мобильность и непрерывность работы технологического оборудования.

Фильтр функционирует следующим образом. Пылегазовый поток через входной штуцер 1 поступает в камеру запыленного воздуха 2 и проходит через сменную фильтровальную кассету 3, состоящую из трех последовательно расположенных по ходу газа слоев зернистого материала 4, фильтровальной металлической сетки 5 и слоя волокнистого материала 6. Фильтровальная кассета выполнена в виде цилиндра, внутри которого находятся зернистые слои в ячейках I, II, III. Ячейки содержат верхние и нижние ограничители толщины слоя 7 (плоские распределительные решетки). Первый и второй слои по ходу пылегазового потока заполнены дробленой крошкой огнеупорного материала фракций 3–6 и 1–3 мм, третий слой — зернистый пористый адсорбент — коксик. Пылегазовый поток поступает по газоходу в зернистый фильтрующий элемент. Вначале запыленный воздух проходит через крупный наполнитель ячейки I, где задерживаются наиболее крупные частицы пыли размерами 7–10 мкм. При прохождении первично очищенного пылегазового потока через более мелкий наполнитель ячейки II происходит более тонкая очистка от частиц дисперсной фазы размерами 2–7 мкм. Далее поток попадает в ячейку III, заполненную зернистым адсорбционным материалом, в которой происходит удаление



Ю. В. Красовицкий
E-mail: scercso@mail.ru

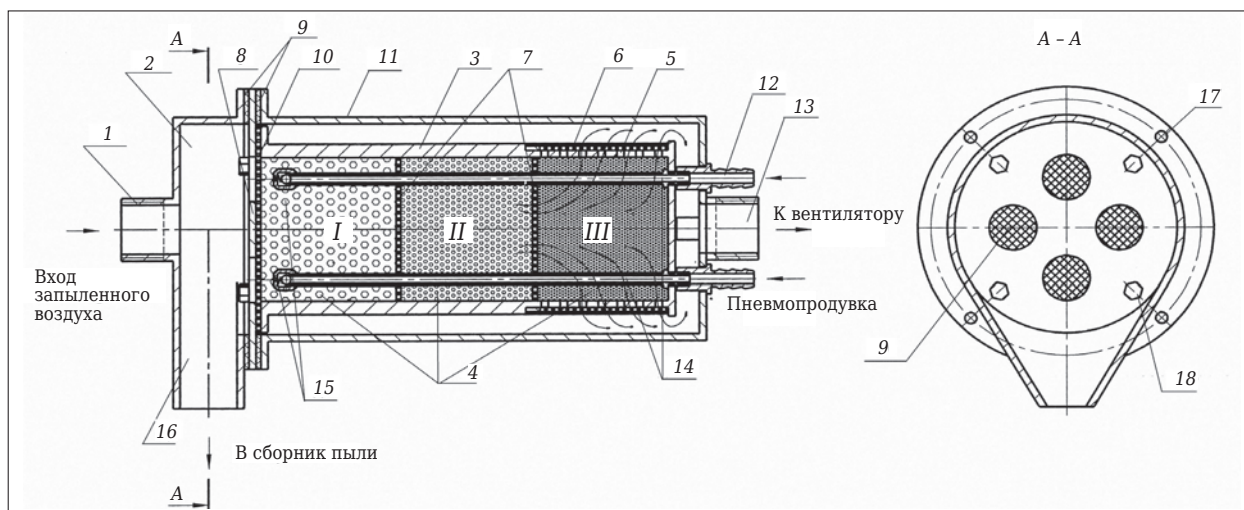


Рис. 1. Насыпной комбинированный фильтр: 8 — распределительное устройство; 9 — металлическая решетка; 10 — резиновая уплотнительная прокладка; 11 — корпус фильтра; 12 — штуцеры для регенирующего агента; 13 — коллектор очищенного воздуха; 14 — регенирующие патрубки (дополнительные передвижные коммуникации для импульсной регенерации зернистых слоев); 15 — пружинные клапаны; 16 — патрубок сбора уловленной пыли; 17, 18 — крепежные болты; остальные обозначения — в тексте

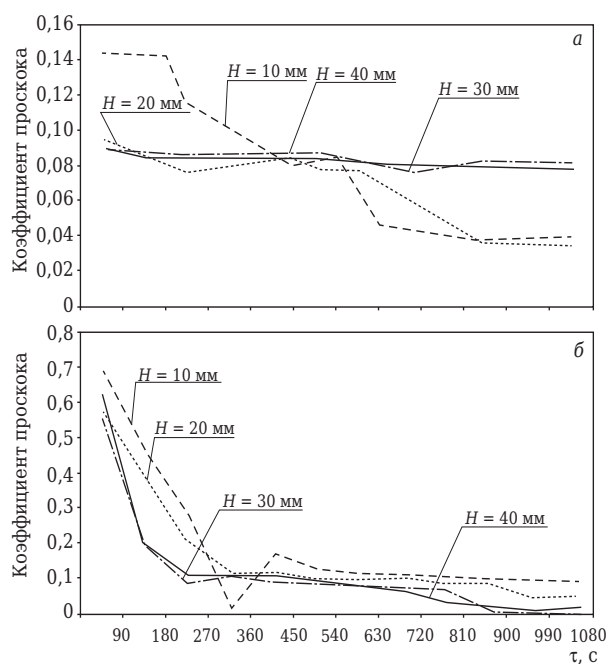


Рис. 2. Зависимости $K = f(\tau)$: а — периклазовая пыль ($Z_n = 23,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, $d_{50} = 26 \text{ мкм}$, $\delta = 2,3$, $\lg \sigma = 0,34$); б — графито-периклазовая пыль ($Z_n = 16,123 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, $d_{50} = 4 \text{ мкм}$)

токсичных компонентов из технологических газов. Одновременно происходит фильтрование через стенки волокнистого полотна б, которое позволяет очистить пылегазовый поток от частиц пыли размерами 1–4 мкм.

Фильтр прошел экспериментальную проверку на двух видах технологических пылегазовых потоков огнеупорного производства, содержащих твердый аэрозоль периклаза и

графито-периклаза. В ходе исследований меняли высоту зернистого слоя фильтра от 10 до 40 мм. Методом априорного ранжирования были определены доминирующие факторы, влияющие на процесс фильтрования: скорость пылегазового потока w , эквивалентный диаметр порового пространства фильтровального слоя d_z , высота фильтрующего слоя H , продолжительность процесса фильтрования τ , начальная концентрация дисперсной фазы Z_n . Для оценки эффективности работы НКФ экспериментальные параметры меняли в достаточно широких диапазонах: $1 \cdot 10^{-3} < d_z < 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $10 \cdot 10^{-3} < H < 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $90 < \tau < 1800 \text{ с}$; скорость потока поддерживали постоянной ($w = \text{const}$). В результате были получены данные, показанные на рис. 2.

Анализ полученных результатов свидетельствует о целесообразности наращивания высоты зернистого слоя лишь до $20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, так как при дальнейшем его увеличении коэффициент проскока практически не меняется, а гидравлическое сопротивление растет. Поэтому в дальнейшем в работе при определении оптимального размера зерен фильтровального слоя использовали высоту одиночного фильтровального слоя, равную $20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Результаты определения эффективности фильтрования при различных значениях диаметра зерна показаны на рис. 3.

Необходимая эффективность (коэффициент проскока) достигается при достаточно непродолжительном фильтровании, что связано с забиванием пор зернистого слоя и сужением каналов слоя. Поэтому целесообразно выполнить

первый по ходу слой с крупными гранулами ($7 \cdot 10^{-3}$ м), а второй — с минимальным размером зерна $3 \cdot 10^{-3}$ м. При фильтровании через насыпной комбинированный слой пылегазовый поток, переходя от слоя с большим размером зерна к слою с меньшим размером зерна, меняет концентрацию и дисперсный состав пыли. Изменяется режим течения газа в порах. Начинается фильтрование с преобладанием процесса накопления осадка на поверхности слоя и образования автофилтра и заканчивается фильтрованием с постепенным закупориванием пор. Для анализа перепада давлений на таком фильтре теоретически можно выделить преобладающий характер процесса фильтрования для каждого подслоя и, основываясь на таком подходе, получить данную характеристику для каждого из подслоев.

Общий перепад давлений ΔP будет равен [2]:

$$\Delta P = \Delta P' + \Delta P'' + \Delta P''', \quad (1)$$

где $\Delta P'$ — перепад давлений, возникающий на фильтре за счет возникновения автофилтра на первом по ходу пылегазового потока слое, Па; $\Delta P''$ — перепад давлений, возникающий за счет постепенного закупоривания пор первого по ходу потока зернистого слоя, Па; $\Delta P'''$ — перепад давлений, возникающий за счет постепенного закупоривания пор второго зернистого слоя, Па.

Аналитическое выражение перепада давлений $\Delta P'$, создаваемого первым по ходу пылегазового потока слоем НКФ при протекании процесса с образованием автофилтра, имеет вид

$$\Delta P' = \frac{Q^2 x_n r_{oc} \tau}{\pi^2 R^4}, \quad (2)$$

где Q — расход пылегазового потока, $\text{м}^3/\text{с}$; x_n — начальная объемная концентрация дисперсной фазы в пылегазовом потоке; r_{oc} — радиус осадка пылевого слоя; R — радиус фильтровального слоя фильтра, м.

Зависимость, характеризующая перепад давлений $\Delta P''$ на первом слое зернистого фильтра при протекании процесса с постепенным закупориванием пор:

$$\Delta P''(\tau) = \frac{14\mu h_1 V}{\left(\pi (r'_3)^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) - \frac{(1 - K_n e^{-m\tau}) \tau}{h_1} \right) R^2}, \quad (3)$$

где μ — вязкость пылегазовой смеси, Па·с; h_1 — высота первого по ходу пылегазового потока зернистого слоя НКФ, м; r'_3 — средний радиус зерна наполнителя первого по ходу пылегазового потока слоя НКФ, м; K_n — начальный коэффициент проскока.

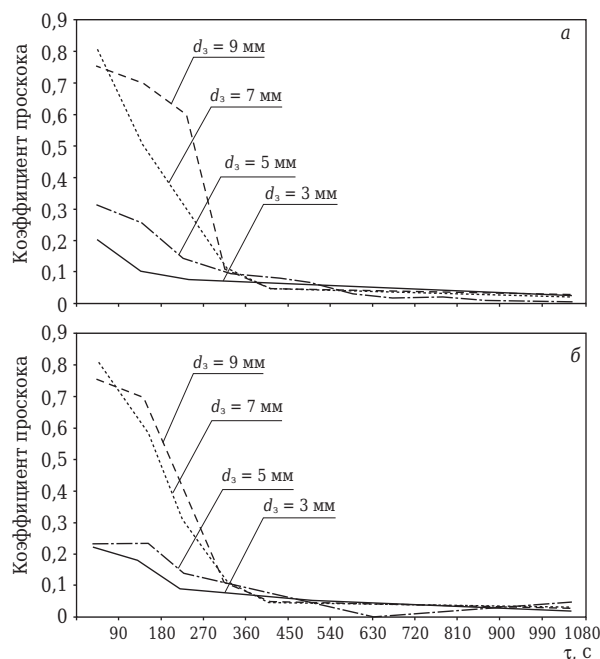


Рис. 3. Зависимости $K = f(\tau)$, полученные при следующих параметрах пылегазового потока: а — графито-периклазовая пыль — $Z_n = 16,123 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, $d_{50} = 4 \text{ мкм}$; б — периклазовая пыль — $Z_n = 23,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, $d_{50} = 27 \text{ мкм}$, $\delta = 2,3$, $\lg \sigma = 0,34$

Перепад давлений $\Delta P'''$, возникающий на втором зернистом слое по ходу пылегазового потока при протекании процесса с постепенным закупориванием пор:

$$\Delta P'''(\tau) = \frac{14\mu h_2 V}{\left(\pi (r'_3)^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) - \frac{(x_n K_n^2 e^{-2m\tau}) \tau}{h_2} \right) R^2}, \quad (4)$$

где h_2 — высота второго по ходу пылегазового потока зернистого слоя НКФ, м; r'_3 — средний радиус зерна наполнителя второго по ходу пылегазового потока зернистого слоя НКФ, м.

После ряда преобразований и математической обработки получаем уравнение

$$\Delta P(\tau) = \frac{Q^2 x_n r_{oc} \tau}{\pi^2 R^4} + \frac{14\mu h_1 Q}{\left(\pi (r'_3)^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) - \left(\frac{1 - K_n e^{-m\tau}}{h_1} \right) \right) R^2} + \frac{14\mu h_2 Q}{\left(\pi (r'_3)^2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) - \frac{(x_n K_n^2 e^{-2m\tau}) \tau}{h_2} \right) R^2}. \quad (5)$$

Для математической оценки эффективности фильтрования (коэффициента проскока) в зависимости от различных факторов процесса получены уравнения регрессии

$$K = f(H, w, d_3, \tau). \quad (6)$$

Для получения уравнений регрессии, характеризующих общий и фракционные коэф-

Параметры регенерации НКФ

Фильтруемая пыль	Параметры пылегазового потока			$h_{oc}, 10^{-3} \text{ м}$	Параметры регенерации		
	$H, \text{ м}$	$Z_n, \text{ кг/м}^3$	средний медианный диаметр пыли d_m		продолжительность регенерации $\tau_{рег}, \text{ с}$		
Графито-периклазовая	0,02	$16,123 \cdot 10^{-3}$	4 мкм ($\lg \sigma = 0,30$)	7	74	45	2
Периклазовая	0,02	$26,123 \cdot 10^{-3}$	28 мкм ($\lg \sigma = 0,32$)	8	48	45	2

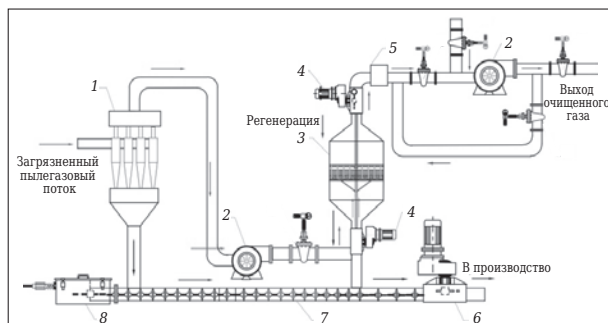


Рис. 4. Схема включения НКФ в технологическую линию Семилукского огнеупорного завода: 1 — первая ступень очистки — батарейный циклон; 2 — газодувка; 3 — НКФ; 4 — электродвигатель; 5 — буферная камера пневморегенерации; 6 — приводная станция конвейера; 7 — конвейерная цепь; 8 — натяжная станция конвейера

фициенты проскока, рационально планировать эксперимент по методу Бокса — Уилсона [3] с последовательной реализацией небольших серий опытов при варьировании значимых факторов [3, 4]. В результате математической обработки получено уравнение общего коэффициента проскока для графито-периклазовой пыли:

$$\ln K^{-1} = 1,28 - 0,09x_1 - 0,07x_2 - 0,038x_3 + 0,03x_4, (7)$$

где натуральные значения факторов H, w, d_3, τ обозначены соответственно через x_1, x_2, x_3 и x_4 .

Особый интерес представляет определение фракционных коэффициентов проскока дисперсной фазы. Эти коэффициенты наиболее представительны при оценке разделяющей способности фильтровальной перегородки. Они показывают, какие фракции дисперсной фазы и в какой степени задерживаются перегородкой. Серия опытов проведена для фракций 2–5 и 7–1 мкм. Получены следующие уравнения регрессии:

$$\ln K_{2-5 \text{ мкм}}^{-1} = 5,89 + 0,063x_1 + 0,063x_2 + 0,19x_3 - 0,11x_4, (8)$$

$$\ln K_{7-10 \text{ мкм}}^{-1} = 5,02 + 0,13x_1 - 0,061x_2 + 0,029x_3 - 0,7x_4. (9)$$

Эффективность применения зернистых фильтров зависит от способа регенерации. В

работе исследован метод регенерации обратной продувкой через перфорированные трубки и через продувочные трубки с буферной камерой. При регенерации таким методом скорость обратной продувки составляет 0,40–0,55 м/с. Проведен ряд экспериментов для определения цикла регенерации. Установлены время протекания процесса фильтрования, продолжительность обратной продувки, время продувки фильтров при условии сохранения оптимальной высоты автофильтра (см. таблицу).

Представленные результаты испытаний многослойного насыпного фильтра позволяют сделать заключение о возможности использования его для очистки пылегазовых потоков огнеупорного производства, однако необходимость замены фильтровального слоя должна предполагать автоматизированную замену фильтровальных слоев при необходимости. Эффективная система позволит создать замкнутую безотходную технологию, где отработанный фильтровальный материал может в дальнейшем служить сырьем в производстве огнеупоров.

Авторами предложены схема включения и конструкция НКФ для промышленного использования (рис. 4) с расширенной поверхностью фильтрования и возможностью оперативного удаления отработанных насыпных слоев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный авторами экспериментальный многослойный фильтр позволяет осуществлять последовательную очистку полидисперсного потока, достигая общей эффективности очистки 99,85 %. Получено уравнение, описывающее изменения общего перепада давлений на НКФ с двухслойной структурой, что подтверждено экспериментально. Предложен метод регенерации фильтра — обратная продувка с использованием перфорированных трубок с буферной камерой, что позволяет осуществить глубинную регенерацию зернистых слоев, уменьшая начальный перепад давлений при последующем цикле фильтрования. Это обеспечивает снижение энергозатрат при эксплуатации фильтра.

Библиографический список

1. **Красовицкий, Ю. В.** Обеспыливание промышленных газов в огнеупорном производстве / Ю. В. Красовицкий, П. Б. Балтренас, В. И. Энтин. — Вильнюс : Техника, 1996. — 264 с.
2. **Горемыкин, В. А.** Энергосберегающее пылеулавливание при производстве керамических пигментов по «сухому» способу / В. А. Горемыкин, Ю. В. Красовицкий, С. Ю. Панов, А. В. Логинов. — Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2001. — 296 с.
3. **Романюк, Е. В.** Разработка математических моделей и программное обеспечение процесса фильтрации : труды XXI Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» / Е. В.

Романюк, Р. А. Вазинский, И. А. Чугунова. — Тамбов : ТГТУ, 2008. — С. 21–23.

4. **Романюк, Е. В.** Математические модели процесса фильтрации пылегазового потока для вращающегося зернистого слоя : труды XXI Междунар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» / Е. В. Романюк, Р. А. Вазинский, И. А. Чугунова. — Тамбов : ТГТУ, 2008. — С. 20, 21. ■

Получено 28.03.14

© Е. В. Романюк, Ю. В. Красовицкий,
А. А. Смирных, И. А. Чугунова,
2014 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



ТЕРМООБРАБОТКА

Восьмая международная специализированная выставка

9 - 11 сентября 2014

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

9-10 сентября

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМООБРАБОТКИ»

Единственная в России
выставка термического
оборудования и технологий

Разделы выставки:

- новый раздел Вспечная местная и объёмная термообработка
- Промышленные печи: муфельные, вакуумные, плавильные, шахтные, камерные, электропечи
- Индукционный нагрев: генераторы индукционных токов, индукционные плавильные печи
- Оборудование для химико-термической обработки: азотирования, цементации и т.д.
- Размерная и поверхностная обработка: формообразование, напыление
- Лабораторные печи, сушильные шкафы
- Оснастка для термического оборудования
- Системы нагрева и газоснабжения, горелки, электронагревательные элементы

- Неразрушающий контроль, испытательное оборудование, измерительные системы
- Автоматизация термообработки, системы управления и регулирования
- Энергосберегающие технологии термических производств
- Диагностика, реконструкция и модернизация оборудования
- Закалочное оборудование, масла и среды

Информационная поддержка:



Организатор:
 Мир-Экспо

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



ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ В ЯНВАРЕ 2014 г.

Продукция	Январь 2014 г.	В % к	
		январю 2013 г.	декабрю 2013 г.
Чугун, млн т	4,4	101,0	102,4
Ферросилиций, тыс. т	85,1	93,5	100,5
Феррохром низкоуглеродистый, тыс. т	17,4	95,2	97,1
Сталь, млн т	5,8	99,5	100,6
Трубы стальные, тыс. т	711	95,0	89,5
Из общего количества стальных труб:			
бурильные для бурения нефтяных или газовых скважин из черных металлов (кроме литейного чугуна)	2,6	94,3	124,9
обсадные	91,7	124,4	147,1
насосно-компрессорные	34,8	100,0	90,2
Проволока из железа или нелегированной стали, тыс. т	99,4	93,7	95,0
Проволока из нержавеющей стали и прочих легированных сталей, тыс. т	20,1	93,5	91,8
Оксид алюминия (глинозем), кроме искусственного корунда, тыс. т		98,0	101,3

Федеральная служба государственной статистики (Росстат)

ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОЧИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ В РОССИИ В ЯНВАРЕ 2014 г.

Продукция	Январь 2014 г.	В % к	
		январю 2013 г.	декабрю 2013 г.
Кирпичи, блоки, плитки и прочие огнеупорные изделия, кроме изделий из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	79,9	88,2	88,4
Неформованные огнеупоры, в том числе цементы, строительные растворы, огнеупорные бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	64,8	78,3	84,0
Огнеупорные безобжиговые изделия и прочие, не включенные в другие группировки, тыс. т	22,7	99,6	103,2
Шлаковата, минеральная силикатная вата и аналогичные минеральные ваты и их смеси навалом, в листах или рулонах, млн м ³	1,2	124,8	79,0

Федеральная служба государственной статистики (Росстат)

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ 2013–2014 гг.

Страна, регион	Январь 2014 г., тыс. т	Январь 2013 г., тыс. т	Январь 2014 г. / январь 2013 г., %	Рейтинг
Австралия	218	322	–32,1	28
Австрия	520	527	–1,4	16
Аргентина	238	112	113,3	26
Бельгия	360	377	–4,6	20
Босния и Герцеговина	78	65	20,0	29
Бразилия	2084	2178	–4,3	9
Великобритания	908	905	43,8	12
Венгрия	53	68	–22,1	32
Германия	2460	2328	5,7	6
Индия	4466	4239	5,4	3
Иран	225	145	54,7	27
Испания	309	238	29,7	24
Италия	646	512	26,2	14
Казахстан	250	185	35,5	25
Канада	500	617	–18,9	17
Китай	54290	58738	–7,6	1
Колумбия	30	26	13,3	34
Мексика	450	416	8,3	18
Нидерланды	525	516	1,8	15
Нов. Зеландия	60	63	–5,3	30
Парагвай	8	2	419,5	35
Польша	320	354	–9,7	22
Россия*	4382	4337	1,0	4
Сербия	51	0	–	33
Словакия	318	308	3,2	23
США	2420	2744	–11,8	7
Тайвань	1050	967	8,6	10
Турция	863	820	5,3	13
Украина	2370	2497	–5,1	8
Франция	1000	830	20,4	11
Чехия	360	341	20,4	21
Чили	55	91	–39,8	31
ЮАР	420	421	–0,2	5
Ю. Корея	3941	3520	11,9	19
Япония	7224	7023	2,9	2
* По данным Росстата.				

По данным Всемирной ассоциации производителей чугуна и стали (WSA)

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ ПО СТРАНАМ В ЯНВАРЕ 2013–2014 гг.

Страна	Январь 2014 г., тыс. т	Январь 2013 г., тыс. т	Январь 2014 г. / январь 2013 г., %	Рейтинг
Австралия	339	408	–17,1	30
Австрия	681	672	1,5	19
Алжир	35	19	80,8	56
Аргентина	397	320	24,1	27
Белоруссия	175	226	–22,6	34
Бельгия	580	627	–7,5	23
Болгария	45	43	3,7	52
Босния и Герцеговина	75	61	22,1	44
Бразилия	2738	2776	–1,4	9
Великобритания	1083	824	31,5	17
Венгрия	80	78	2,6	42
Венесуэла	110	175	–37,0	38
Гватемала	40	26	53,8	55
Германия	3663	3585	2,2	7
Греция	110	87	26,4	39
Египет	489	677	–27,8	24
Индия	6954	6955	0,0	4
Иран	1350	1111	21,5	14
Испания	1111	1000	11,1	16
Италия	2245	1756	27,8	11
Казахстан	300	198	51,3	32
Канада	1050	1096	–4,2	18
Катар	165	197	–16,2	35
Китай	61573	63622	–3,2	1
Колумбия	125	89	40,0	37
Куба	35	20	72,6	57
Ливия	70	41	72,8	45
Люксембург	200	186	7,6	33
Македония	5	5	10,3	61
Марокко	58	53	9,3	48
Мексика	1550	1552	–0,1	13
Молдова	45	0	–	53
Нидерланды	620	612	1,4	21
Нов. Зеландия	77	83	–7,1	43

Окончание таблицы

Страна	Январь 2014 г., тыс. т	Январь 2013 г., тыс. т	Январь 2014 г. / январь 2013 г., %	Рейтинг
Норвегия	49	52	-5,9	51
ОАЭ	157	216	-27,5	36
Парагвай	5	1	354,1	62
Перу	110	87	27,1	40
Польша	640	649	-1,4	20
Россия*	5811	5841	-0,5	6
Сальвадор	10	8	25,0	59
Саудовская Аравия	469	463	1,4	25
Сербия	54	0	—	49
Словакия	393	388	1,3	28
Словения	54	42	28,2	50
США	7328	7362	-0,5	3
Тайвань	1840	1776	3,6	12
Тринидад и Тобаго	45	59	-22,8	54
Турция	2829	2854	-0,9	8
Узбекистан	60	58	2,6	46
Украина	2490	2878	-13,5	10
Уругвай	10	0	—	60
Финляндия	330	300	9,7	31
Франция	1350	1351	0,0	15
Хорватия	20	3	546,6	58
Чехия	458	443	3,5	26
Чили	110	141	-21,8	41
Швеция	387	371	4,4	29
Эквадор	60	46	30,6	47
ЮАР	615	615	0,0	5
Ю. Корея	6040	5928	1,9	22
Япония	9401	8863	6,1	2

* По данным Росстата.

По данным Всемирной ассоциации производителей чугуна и стали (WSA)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



75th Conference on Glass Problems
Organized by Glass Manufacturing Industry Council & Alfred University
November 3 - 6 | Greater Columbus Convention Center | Columbus, Ohio USA

75-я конференция по проблемам стекольной промышленности
3–6 ноября 2014 г. г. Колумбус, штат Огайо, США

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

Вид огнеупорного сырья	Ноябрь 2013 г.	Декабрь 2013 г.	Январь 2014 г.
<i>Глинозем и боксит</i>			
Глинозем спеченный, 98,5–99,5 % Al_2O_3 , насыпью, fob США	675–725	675–725	675–725
Глинозем спеченный со средним содержанием щелочей, насыпью, fob	750–850	750–850	750–850
Глинозем плавленный, 95 % Al_2O_3 :			
коричневый, 8–220 меш, китайского производства, fob Китай	800–840	800–840	800–840
белый, мешками по 25 кг, европейского производства, cif Европа, евро/т	850–890	850–890	850–890
Боксит китайский огнеупорный, кусковой 0–25 мм, Al_2O_3 , % / Fe_2O_3 , % / кажущаяся плотность, г/см ³ , fob Xingang:			
Шаньси (Shanxi), кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	420–435	420–435	420–435
Гуйчжоу (Guizhou), fob Zhanjiang / Fangchend:			
кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	400–430	400–430	400–430
Боксит из Гайаны, огнеупорная марка, fob, Линден	460–510	460–510	460–510
<i>Хромовая руда</i>			
Трансваальская (ЮАР), огнеупорная марка, 46 % Cr_2O_3 , насыпью, fob	425–500	425–500	425–500
<i>Графит кристаллический</i>			
Cif европейские порты:			
крупночешуйчатый: 94–97 % C, +80 меш	1250–1300	1250–1300	1250–1300
90 % C, +80 меш	1100–1150	1100–1150	1100–1150
среднечешуйчатый: 90 % C, +100–80 меш	900–1000	900–1000	900–1000
94–97 % C, +100–80 меш	1050–1150	1050–1150	1050–1150
85–87 % C, +100–80 меш	700–800	700–800	700–800
мелкочешуйчатый: 90 % C, –100 меш	750–850	750–850	750–850
94–97 % C, –100 меш	850–950	850–950	850–950
<i>Магнезиальное сырье</i>			
Греческий сырой магнезит, < 3,5 % SiO_2 , fob порты Восточного Средиземноморья, евро/т	65–75	65–75	65–75
Намертво обожженный периклаз китайского производства, кусковой, 90 % MgO	320–350	320–350	320–350
То же, 92 % MgO	410–450	410–450	410–450
То же, 94–95 % MgO	450–480	450–480	450–480
То же, 97,5 % MgO	531–583	531–583	531–583
Кальцинированный магнезит кусковой, 90–92 % MgO, fob Китай	303–343	303–343	303–343
<i>Карбид кремния</i>			
8–220 меш, cif Великобритания:			
черный, около 99 % SiC, сорт I, евро/т	1900–2100	1900–2100	1900–2100
то же, сорт II, евро/т	1500–1650	1500–1650	1500–1650
огнеупорного сорта, min 98 % SiC, евро/т	1500–1800	1500–1800	1500–1800
то же, min 95 % SiC, евро/т	1350–1450	1350–1450	1350–1450
<i>Минералы силлиманитовой группы</i>			
Андалузит, fob Трансвааль, 57–58 % Al_2O_3 , насыпью, партиями по 2000 т, евро/т	235–280	235–280	235–280
Кианит обожженный, ex-works с предприятий США, 54–60 % Al_2O_3 , партиями по 22 т	373–439	373–439	373–439
<i>Циркон</i>			
Насыпью, fob:			
Австралия (стандарт)	1250–1550	1250–1550	1150–1250
США (стандарт)	2550–2750	2550–2750	950–1150
ЮАР (керамический сорт)	2300–2650	2300–2650	1500–1700

По данным «Industrial Minerals»



ОБЗОР ПАТЕНТОВ РФ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ОГНЕУПОРАМ

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА ОКСИДА ЦИРКОНИЯ, СТБИЛИЗИРОВАННОГО ОКСИДОМ ИТТРИЯ И/ИЛИ СКАНДИЯ

Журавлёв В. Д., Сенников М. Ю.

Патент RU 2492157

МПК C04B35/486, C04B35/626, C01B13/18

Изобретение относится к химической промышленности, в частности к способам получения тонкодисперсных порошков на основе оксида циркония, который может быть использован для производства плотной износостойкой керамики, материалов для имплантологии, твердых электролитов. Технический результат изобретения — получение активных к спеканию нанопорошков, позволяющих изготовить высокоплотную керамику на их основе.

Способ получения нанодисперсного порошка оксида циркония, стабилизированного оксидами иттрия и/или скандия, включает получение исходной смеси нитратов соответствующих металлов и глицина, нагрев смеси до 160–250 °С и выдержку при этой температуре с последующим отжигом. Способ отличается тем, что в исходную смесь дополнительно вводят карбоновую кислоту и/или аммонийные соли карбоновой кислоты или аминокислоты в количестве 5–20 мас. % от содержания глицина. Отжиг осуществляют при 550–570 °С.

Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». — 2013. — № 25. — С. 163.*

СМЕСЬ ДЛЯ ПРИКЛЕИВАНИЯ ПЛИТ

Корнеев В. И., Нуждина Н. И., Петров С. И., Шломин Г. П.

Патент RU 2493121

МПК C04B28/02, C04B24/24, C04B24/16, C04B11/20

Смесь для приклеивания плит, содержащая портландцемент, кварцевый песок, известняк, эфир целлюлозы, сополимер винилацетата и пластификатор, отличается тем, что пластификатором является сополимер меламинасульфокислоты и формальдегида, а также добавлены формиат кальция и нефелиновый шлам при следующем соотношении всех ком-

* В дальнейшем приводится сокращенное название «Бюллетень».

понентов, мас. %: портландцемент 30,0–34,5, кварцевый песок 55,0–59,5, известняк 5–7, эфир целлюлозы 0,20–0,25, сополимер винилацетата с винилверсататом 1,0–1,5, сополимер меламинасульфокислоты и формальдегида 0,3–0,5, формиат кальция 1,0–1,2, нефелиновый шлам 3–5.

Технический результат изобретения — улучшение смачивающей способности смеси и повышение прочности сцепления ее с приклеиваемой поверхностью в первые сутки твердения.

«Бюллетень». — 2013. — № 26. — С. 245.

ДИНАСОВЫЙ ОГНЕУПОР И СПОСОБ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ

Максунов К. А., Бахтина В. К., Гришпун Е. М., Гороховский А. М., Карпец Л. А.

Патент RU 2494075

МПК C04B35/14

Изобретение относится к изготовлению динасовых огнеупорных изделий для футеровки тепловых агрегатов. Технический результат изобретения — повышение прочности, снижение пористости и содержания остаточного кварца.

1. Динасовый огнеупор, полученный из массы, содержащей кремнеземистый наполнитель, портландцемент и затворитель, отличается тем, что кремнеземистый наполнитель содержит кварцевое стекло фракции мельче 5 мм, отмагниченный кварцит фракции мельче 0,09 мм и кварцевый песок, а в качестве затворителя — водный раствор полиметиленафталинсульфоната натрия при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент 3–6, затворитель (сверх 100 %) 7,5–8,5, отмагниченный кварцит фракции мельче 0,09 мм 20–40, кварцевый песок 0,5–3,0, кварцевое стекло — остальное.

2. Способ изготовления динасового огнеупора по п. 1, включающий дозирование компонентов и смешение, формование, сушку и обжиг, отличается тем, что формование производят способом вибролитья, а сушку сформованного огнеупора производят после предварительной выдержки в форме в течение не менее 7 ч при температуре 28–35 °С и естественного подсушивания в течение 8 ч после разборки формы.

«Бюллетень». — 2013. — № 27. — С. 184.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Ляшенко А. В., Бакишуттов В. С., Сизитов Е. А.,
Тихонов Р. В., Андрианов Н. Т., Попова Н. А.

Патент RU 2494077
МПК C04B35/486, B82B3/00

Изобретение относится к изготовлению керамических изделий из материала на основе частично стабилизированного диоксида циркония: сверхострых и износостойких высокопрочных режущих инструментов для хирургии, травматологии, ортопедии и протезирования, безыносных пар трения для подшипников, мелющих тел, поршней тормозных дисков, фильер, валцов, сопел, пружин и др. для работы в условиях высоких температур и агрессивных сред.

Способ изготовления керамических изделий на основе диоксида циркония заключается в том, что приготавливают исходную сырьевую смесь, компоненты которой взяты в следующих соотношениях, мас. ч.: оксид иттрия и/или церия 0,35–15,50, добавка-модификатор в виде оксида переходного металла, выбранного из группы: железо, алюминий, кобальт, никель, медь, титан, марганец — 0,20–3,50, диоксид циркония — остальное (до 100). Осуществляют химическое осаждение частиц смеси размером до 100 нм и ее сушку до влажности 1–2 % в сушилке периодического действия в 3-л корундовых капсулах при 100–150 °С с деагломерационной протиркой порошка через сито или во вращающихся сушильных печах без деагломерации до достижения удельной поверхности порошка 60 м²/г. Далее осуществляют одноосное двустороннее прессование на гидравлических осевых или радиальных магнитно-импульсных прессах в одно- или многоместных металлических пресс-формах, закаленных до 55–60 HRC с чистотой рабочих поверхностей по 9-му классу чистоты, при давлении 200–500 МПа на гидравлических и до 1200 МПа на магнитно-импульсных прессах с контролем средней плотности и геометрии заготовки изделия. Далее отпрессованные заготовки на корундовых подложках помещают в сушилки периодического действия, в которых их сушат в течение 7–8 ч при 200–250 °С. Затем заготовки обрабатывают алмазным инструментом по эскизам для придания требуемой формы и проводят обжиг при 1450–1500 °С в высокотемпературных печах периодического действия с хромитлантановыми или дисилицидмолибденовыми нагревателями, закалку через 1,5–2,5 сут, окончательную обработку, шлифовку и полировку рабочих поверх-

ностей с использованием алмазного инструмента на металлической связке и мелкодисперсных шлифпорошков.

«Бюллетень». — 2013. — № 27. — С. 184, 185.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

Никифорова Э. М., Еромасов Р. Г.

Патент RU 2494994
МПК C04B35/111

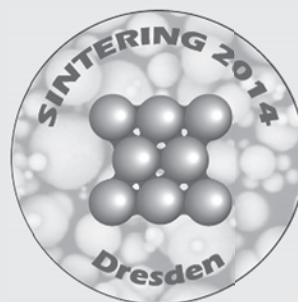
Изобретение относится к способам получения корундового керамического материала, предназначенного для изготовления изделий из конструкционной керамики с повышенными статическими нагрузками. Технический результат — получение корундовой керамики, имеющей низкую температуру обжига при высоких показателях прочности при изгибе.

Способ получения корундовой керамики, включающий измельчение и смешивание глинозема с предварительно спеченной стеклодобавкой-минерализатором и фторсодержащей добавкой, прессование и обжиг керамики, отличается тем, что в качестве стеклодобавки-минерализатора используют трехкомпонентную стеклообразующую систему $P_2O_5-B_2O_3-SiO_2$ при соотношении компонентов (1–2):(0,5–1,0):(2,5–3), предварительно спеченную при 400–450 °С. Систему смешивают или с фторидами, или с хлоридами щелочных металлов и глиноземом при следующем соотношении компонентов сырьевой смеси, мас. %: глинозем 81–83, стеклодобавка-минерализатор 15–16, фториды или хлориды щелочных металлов 2–3. Керамику обжигают при 1310–1340 °С.

«Бюллетень». — 2013. — № 28. — С. 188.

Обзор подготовлен редакцией журнала
«Новые огнеупоры»

International Conference on SINTERING 2014



Международный конгресс по спеканию

24–28 августа 2014 г. г. Дрезден, Германия

www.sintering2014.com

ABSTRACTS

UDC 666.76-127:621.746.329

Refractories for argon blowing of metal in steel-teeming ladles at JSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works»

Burmistrova E. V., Abdrakhmanov R. I. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 5–9.

The data are given on the refractory products used for metal blowing in steel-teeming ladles, on the principles of their operation and on the results obtained. On base of comparative analysis the argon blowing of steel in the steel-teeming ladle through the bottom purging plug system is considered to be the most effective technology. In connection with this conclusion the well-proven on trials refractory products with formed radial channels are used for bottom blowing at JSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Ill. 9. Tab. 2.

Key words: argon blowing, steel-teeming ladle, vacuum vessel, secondary refining, slit channels, purging blocks.

UDC 666.76:621.746.328.3

The influence of the tundish ladle's metal-supply guide configuration and of the casting's operational conditions on the billet CCM behavior

Botnikov S. A. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 10–14.

The experience of mastering the new technology for the billet continuous caster is described in the article for both Chelyabinsk Iron and Steel Works and Pervouralsk New Pipe Plant. The influence of both the submerged nozzle and dispensing nozzle's configuration along with the CCM's operational parameters' initial settings on the strand starting is regarded. Directions are provided for reliability improving of the CCM performance during the starting period and while the billets casting. Ill. 6. Tab. 1.

Key words: CCM, continuous casting, tundish ladle, submerged nozzles, dispensing nozzles, K-start.

UDC 666.974.2:666.762.1]:669.1.043.1

The development of alumina-silicate and alumina concretes for ferrous metallurgy thermal vessels

Kashcheev I. D., Pomortsev S. A., Ryaplova A. A. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 15–18.

The resulting investigation are given in the article for the family of concretes with low cement contents developed for various service conditions at the thermal vessels of ferrous metallurgy. The wide range of aggregates from fused corundum to chamotte is used in the mixture production. The concretes operating temperature depends on the aggregate composition and varies from 1450 to 1750 °C. The concretes don't get softer when heating and have high quality characteristics. The concretes practical application in the thermal vessels and in metal transfer ladles at Magnitogorsk Iron and Steel Works showed their high service durability. Ill. 2. Ref. 3. Tab. 2.

Key words: low-cement concretes, aggregate, high-alumina cement (HAC), corrosion resistance, slag resistance.

UDC 666.187.2:621.365.2]:662.612.321/322

Workspace aerodynamics features of the up-to-date electric arc furnace

Voronov G. V., Antropov O. V., Porokh M. V. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 19–21.

The typical arrangement of the burner devices in the workspace of the modern electric arc furnace is regarded in the article. The requirements were drawn for the burner's devices optimal allocation and their efficient layout is proposed. The special consideration is given to the energetic efficiency and safety operation of gas-oxygen and combined burners, as well as to the improvement of the slag-line lining's service condition. Ill. 3. Ref. 4.

Key words: gas-oxygen burner, combined burner, aerodynamic angle, flame projection, gas dynamic, heat exchange, up-to-date electric arc furnace.

UDC 66.012.1.017:620.179.132

A new means of measurement of thermophysical and thermotechnical parameters of materials and structures

Orfanov P. L. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 22–24.

The article offers a new means of measurement of thermophysical and thermotechnical parameters of materials and structures used in the process of monitoring and diagnostics. Also reviewed some of the problems encountered in the process of measurement. Ill. 1. Ref. 3. Tab. 1.

Key words: thermophysical and thermo-technical parameters of materials, measuring thermal resistance.

UDC 536.2:[666.974.2-127:666.762.1-127

The heat-conduction study for advanced heat-resistant concretes with porous aggregate

Nurgaliev D. F., Sizyakov V. M., Utkov V. A. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 25–26.

The experimental installation is proposed for rapid comparative analysis of the thermal conductivity of advanced refractory lining materials as well as of other materials. It is shown that the belite slurry wastes of alumina industry which have elevated porosity can be used as the aggregates for heat-resistant heat-insulating materials. Ill. 2. Ref. 3.

Key words: thermal conductivity, heat-resistant concretes, slurry wastes, experimental installation.

UDC 666.762.2:666.1.031.2/6.043.1

The heat-insulated roof development for the high-production glass melting furnace

Dzyuzer V. Ya. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 27–31.

The requirements are drawn in the article for quality of both dinas refractory and refractory mortars designed for the high-production glass-melting furnaces roof brickwork. The arch-shaped roof calculation for 9-meters arch spread is given provided that only wedge items are used. The requirements for the effective heat insulation are defined. The unconventional heat-insulation structure based on using both shaped and unshaped refractories is developed. The total thermal resistivity of the heat-insulated

roof is $2,59 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, the ultimate service temperature is 1620°C . Given that the roof average heating temperature is 1486°C the specific heat flow into the environment is 544 W/m^2 , which is 33,4–57,6 % below then that gained by the known technical solutions on the heat insulation of glass-melting furnaces roofs. Ill. 3. Ref. 6. Tab. 3.

Key words: glass-melting furnace, furnace-roof arch, refractory, heat insulation, thermal resistance, heat flow.

UDC 666.762.2:666.3.022.66

Investigations on the materials creation on base of HCBS and fused quartz. Part I. Comparative assessment and distinctive features of the technologies for quartz ceramics and refractories.

Pivinskii Yu. E., Dyakin P. V. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 33–40.

The characteristics are given for the processing and conditions of materials production on base of HCBS and fused quartz which can be applied to both technical ceramics and wide range used refractories. The fundamental difference between the technologies of these two materials groups consists in the purity (cost) of the raw materials, as well as in the HCBS processing conditions, in the forming system's degree of dispersion and in the molding methods. The technical and engineering sides of the applied processing are regarded in the article. Ill. 7. Ref. 24.

Key words: fused quartz, quartz glass, quartz ceramics, crystallization, cristobalite, slip casting, rotational molding, HCBS volume concentration.

UDC 666.762.2:621.746.047

Advanced plastic refractory inserts application for metal stream shrouding when continuous casting

Vdovin K. N., Tochilkin V. V., Marochkin O. A., Umnov V. I. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 41–43.

The technologies and equipment for billet CCMs are regarded in the article. The designed flanged inserts exclude the liquid steel interaction with air in the CCM process and provide the effective condition of argon supplying in the annular groove of the refractory pipe. In this process the casting stability increases and the quality of casting metal gets higher. Ill. 3. Ref. 3. Tab. 1.

Key words: the continuous casting machine (CCM), shrouding pipe, collector nozzle, protecting insert, plastic refractory.

UDC 666.3: 546.641-31].017:620.181

Polymorphic transition of partially stabilized ZrO_2 on the fracture areas of the transformation-toughened ceramics samples as a result of various force and thermal actions

[Milyavskii V. V.], Akopov F. A., Lukin E. S., Borovkova L. B., Borodina T. I., Val'vano G. E., Popova N. A., Ziborov V. S. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 44–48.

The resulting investigation are given in the article for high-density ceramics on base of partially stabilized ZrO_2 containing about 2,0 mol. percent of Y_2O_3 . The strength properties, as well as the structure and phase composition of both the initial base surfaces and fracture areas are defined for the ceramics samples in course of mechanical impacts and at low temperature conditions (liquid nitrogen

and helium). The results obtained are compared with the known literature data. Ill. 3. Ref. 9. Tab. 1.

Key words: partially stabilized ZrO_2 (PSZD), X-Ray phase analysis (XPA), coherent-scattering region (CSR), atomic power microscopy, scanning electron microscopy, elastic modulus.

UDC 666.974.2:666.762.11]-486:666.32/.36

Heat-resistant corundum concrete reinforced by the aluminum oxide fibers synthesizing in the matrix during the burning. Part III. Selection of suitable components for corundum concrete production

Sokov V. N., Sokova S. D. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 49–51.

It is shown in the article that the composition selection methods for refractory concretes and constructional ones differ considerably. When choosing the refractory concrete composition one has to take into account the physical and chemical reactions taking place in course of concretes hardening and sintering. It is established that concretes on base of high-alumina cement and corundum aggregate satisfy the most high-level requirements. Ref. 10.

Key words: corundum concrete, concrete composition selection, coarse and fine aggregate's fraction ratio, high-alumina cement (HAC).

UDC 666.3:621.9.048.4

Technological characteristics of electro-erosion processing for fine holes in high-density ceramic items. Part I.

Grigoriev S. N., Kuzin V. V., Fedorov S. Yu., Salai Tibor, Farkash Balazh// New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 52–56.

The resulting investigations are given in the article for electro-erosion technological condition's influence on the processing accuracy of fine holes in the high-density ceramic items. It is established that the rise in frequency and in pulse length in course of carbide-oxide ceramics electro-erosion processing results in hole enlargement and in deviation from the round hole form, as well as in increase of both the diameter and height of the cone in the hole bottom. The conclusion was drawn about the necessary of the electro-erosion parameters improvement for processing of fine holes in high-density ceramic items. Ill. 5. Ref. 12.

Key words: high-density ceramics, electro-erosion processing, electric impulse operation mode, accuracy parameters, deviation from the form, damage area.

UDC 66.067.3:666.76.001.8

Hybrid filter diaphragm for dust and gas flow's purification in the refractory production

Romanyuk E. V., Krasovitskii Yu. V., Smirnykh A. A., Chugunova I. A. // New Refractories. — 2014. — No 7. — P. 57–61.

The structural design is proposed for dust and gas catching with the help of hybrid filter diaphragms and their process conditions are defined. The mathematical interpolation models for the dust and gas catching are developed and experimentally verified. The research model of multilayer filter on base of granular refractory material is presented which allows the sequential purification of polydisperse dust and gas flow. Ill. 4. Ref. 4. Tab. 1.

Key words: structural refractories, multilayer filter element, bulk hybrid filter (BHF).



Настольный рентгеновский дифрактометр **D2 PHASER**

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

Рентгеновский дифрактометр **D8 ADVANCE**

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



Рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр **S8 TIGER**

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



Innovation with Integrity

XRF/XRD

www.bruker.ru



ООО Брукер

Москва, 119017,
Пятницкая ул. 50/2 стр. 1
Тел.: +7 (495) 517-92-84
+7 (495) 517-92-85
e-mail: xray@bruker.ru

Санкт-Петербург
Екатеринбург
Казань
Новосибирск

Тел.: +7 (812) 323-46-09
Тел.: +7 (343) 345-85-92
Тел.: +7 (843) 290-81-89
Тел.: +7 (983) 121-63-89



кералит

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