



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



АССОЦИАЦИЯ ФИНАНСОВО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРУПП РОССИИ

ООО «ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»

ГРУППА «МАГНЕЗИТ»

ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

• ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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

**14–15 марта
2013 года**

МОСКВА,
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И
ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РФ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА —
ЖУРНАЛЫ «НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ», «СТАЛЬ»,
«МЕТАЛЛОСНАБЖЕНИЕ И СБЫТ»
WWW.RUSMET.RU

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР — КОМПАНИЯ «АПМАТИС»

ГЛАВНЫЙ ПАРТНЕР — КОМПАНИЯ «ВПО СТАЛЬ»

ПАРТНЕРЫ:

«ЕВРАЗХОЛДИНГ»

ОАО «МЕЧЕЛ»

ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

ОАО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ»

ОАО «ПЕРВОУРАЛЬСКИЙ ДИНАСОВЫЙ ЗАВОД»

ООО «КЕРАПИТ»

ООО «ГПП «ФЕРРОКОМПЛЕКС»

«КОФЕРМИН РОШТОФФЕ ГмбХ»

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

3

МАРТ 2013

ООО «ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»

127006, МОСКВА, СТАРОПИМЕНОВСКИЙ ПЕР., 8,
СТР. 1–1А (ПОД. 2)

ТЕЛ.: (495) 699-97-85, 755-90-91

ФАКС: (495) 755-90-40

E-MAIL: OGNEUPOR@INET.RU



РЕКЛАМА

Стратегия качественного роста



Группа Магnezит — признанный мировой лидер в сфере производства магниевой продукции высочайшего класса. Высокий профессионализм, богатый опыт и обширные знания, накопленные за многолетнюю историю, являются нашей гордостью и опорой в решении самых сложных задач.

Мы создали фундамент для стабильного и устойчивого развития и уверенно смотрим в будущее. Открывая новые горизонты, мы строим современную и эффективную компанию, которая ведет за собой, служит примером качественного роста и созидательного движения вперед.



Стальные традиции

Разработка и поставка наполнителей для порошковой проволоки, производимой ООО «ЧЗПС» , разработка и совершенствование технологии ее использования:

- технология введения и материалы для обработки металла ЩЗМ, от чистого кальция до сплавов с железом, кремнием, барием и др., в том числе смеси



- материалы для микролегирования и легирования стали: марганец, кремний, сера, углерод, ванадий, титан, ниобий и др.



- технология и составы наполнителей для обработки металла РЗМ, десульфурации, дефосфорации и дегазации стали



РЕКЛАМА

ООО «ВПО СТАЛЬ»

+7 (495) 641 31 66

www.vpostal.ru

info@vpostal.ru

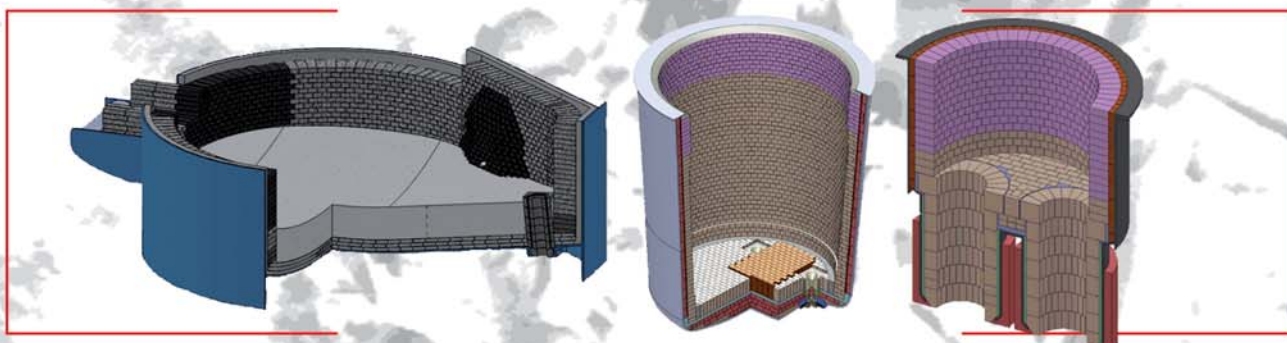


Огнеупорные решения

Разработка и поставка огнеупорных материалов производства компании Corwintec (торговая марка ) для:

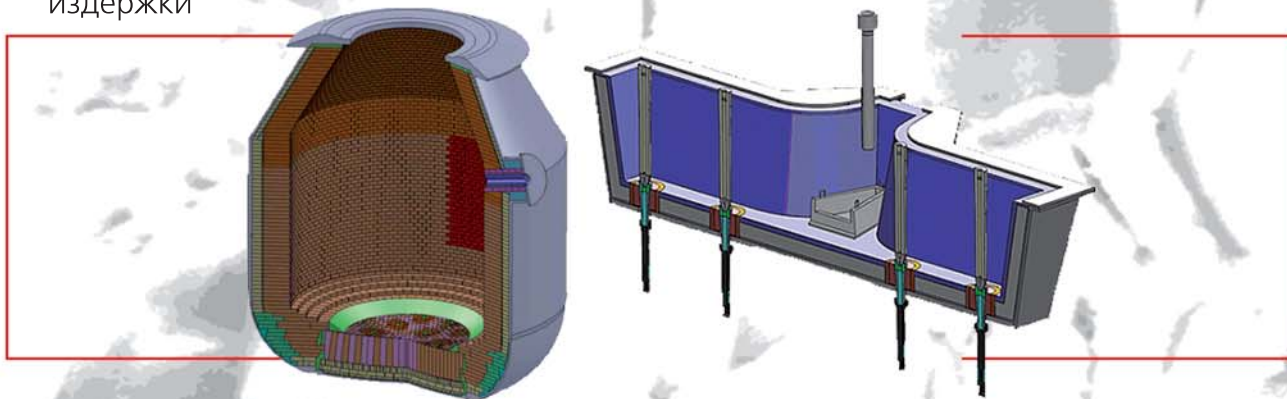
Corwintec Europe Ltd.

- футеровки доменных печей, футеровки желобов литейных дворов, леточные массы,
- футеровки конвертеров, ДСП, сталковшей
- футеровки промковшей
- полный спектр металлопроводки



Развитие инновационных проектов, отвечающих современным технологиям и представляющих технические и экономические решения:

- проекты, направленные на повышения стойкостей конвертеров, сталковшей, желобов ДП с применением новых материалов и нового оборудования
- проекты комплексной футеровки агрегатов, позволяющие снижать теплотери агрегатов, увеличить емкость, повышать производительность и решать другие задачи заказчика,
- проекты огнеупорных сервисных работ, позволяющие выделить все огнеупоры предприятия в отдельное направление, упростить систему учета затрат и снизить издержки



ООО «ВПО СТАЛЬ»

+7 (495) 641 31 66

www.vpostal.ru

info@vpostal.ru

**COFERMIN**

Rohstoffe GmbH & Co. KG

ВЫ ЗНАЕТЕ КОФЕРМИН КАК НАДЕЖНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО С МИРОВЫМИ ЛИДЕРАМИ ПРОИЗВОДСТВА HiTech-СЫРЬЯ.

На глобальном рынке для 30 крупных компаний-производителей Кофермин более известен именно как Заказчик. Мы реализуем сырье через свою фирменную сеть продаж. Мы также предоставляем перспективным Производителям разнообразную техническую поддержку.

Обеспечение широчайшей номенклатуры сырья с возможностью открытого прямого диалога между Производителем и конечным Потребителем особо эффективно для всех участников.

**ВЫ В ПОИСКАХ ОПЫТНОГО ПОМОЩНИКА
ДЛЯ МАРКЕТИНГА ВАШЕГО HiTech-СЫРЬЯ НА МИРОВОМ РЫНКЕ
— ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ НА КОФЕРМИН!**



Cofermin Rohstoffe GmbH & Co. KG, Essen, Germany Phone: +49 (201) 4387 80 · E-mail: info@cofermin.de

Cofermin China, Tianjin Phone: +86 (22) 2394 3229 · E-mail: tianjinoffice@263.net

Cofermin Russia, Moscow Phone: +7 (499) 157 1920 · E-mail: oganov@cofermin.ru

Cofermin in Poland / Intrafer Biuro Handlowe, Katowice Phone: +48 (32) 2063 819 · E-mail: intrafer@vip.interia.pl

Essener Erzhandelsgesellschaft mbH & Co. KG., Essen, Germany Phone: +49 (201) 1253 850 · E-mail: info@essenererz.de

Cofermin in Japan / Roxy International Co., Ltd., Tokyo Phone: +81 (3) 5473 8940 · E-mail: sec.roxy@roxyintl.co.jp

Cofermin in Italy / Mr. Benedetto Vinci, Milano Phone: +39 (02) 2940 0459 · E-mail: benedettovinci@tin.it

Cofermin Chemicals GmbH & Co. KG, Essen, Germany Phone: +49 (201) 7998 720 · E-mail: chemicals@cofermin.de

Cofermin in India / Magus Marketing Pvt Ltd. Phone: +91 (33) 2486 6209 · E-mail: magus@magusmarketing.com

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Научные редакторы **Г. Г. Гаврик, А. Н. Силицына**
Художник-дизайнер **Е. С. Благовидов**
Компьютерная верстка **Е. С. Благовидова**
Корректор **Ю. И. Королёва**

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-46130 от 10.08.2011 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.imu.ru; www.imet.ru



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



ФОЛИУМ

Отпечатано в типографии издательства «Фолиум»
127238, Москва, Дмитровское ш., 58. Тел./факс: (495) 482-55-90
Internet: <http://www.folium.ru>. E-mail: info@folium.ru

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России
для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук,
в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН, а также в каталог российских электронных периодических изданий

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

Подписано в печать 10.03.13. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная
Офсетная печать. Усл. печ. л. 23,75
Уч.-изд. л. 23,29

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

Памяти С. В. Колпакова	10
ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ	11
Аксельрод Л. М. Развитие огнеупорной отрасли — отклик на запросы потребителей	107

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Волков К. В., Кузнецов Е. П., Анашкин Н. С., Долгих О. В., Смирнов С. Н. Использование флюсов в 130-т сталеразливочных ковшах.	123
Вислогузова Э. А., Кашеев И. Д., Земляной К. Г. Анализ влияния качества периклазоуглеродистых огнеупоров на стойкость футеровки конвертеров	129

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Нечаев А. С. Как эффективно снизить затраты в производстве огнеупоров	135
Васин К. А., Мурзакова А. Р., Шаяхметов У. Ш. Безобжиговая технология изготовления шамотнографитовых стопорных пробок для непрерывной разливки стали	136
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Симисин Д. И., Кожушко Г. Г., Панов Д. А. Проблемы использования пневмовинтовых насосов для перемещения насыпных грузов.	139

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Пивинский Ю. Е., Дякин П. В., Горбачёв Д. В., Стрельцов С. А. Получение и некоторые свойства спеченной алюмосиликатной керамики на основе ВКВС. Часть II	145
Сизов В. И. Огнеупорные изделия для индукционных печей нагрева металлических заготовок	155
Турдиев Д. Ш. Изучение термостойкости керамических изделий для использования в стекловарении.	157
Соколов В. А., Гаспарян М. Д., Киров С. С. Получение плавлено-литых хромшпинелидных огнеупоров с использованием бакового лома.	160

ЭКОЛОГИЯ

Пыриков А. Н., Вильданов С. К., Лиходиевский А. В., Черноусов П. И. Экология, состояние и перспективы применения огнеупорных материалов и их отходов.	165
---	-----

ИЗОБРЕТЕНИЯ

Очагова И. Г. Обзор разработок по огнеупорам	169
---	-----

ЭКОНОМИКА И РЫНОК

Рябов И. В поисках тендера	177
---	-----

ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

Семченко Г. Д. Желание — это еще не возможность быстро решить проблемы в подготовке квалифицированных кадров для отрасли.	180
Травицкова А. Н., Кононова Л. В. III Научно-практическая конференция «Актуальные проблемы производства огнеупоров».	183
Гурин В. Н. Памяти выдающегося ученого (Григорий Валентинович Самсонов).	186
Abstracts	187

INTERNATIONAL CONFERENCE OF
REFRACTORISTS AND METALLURGISTS

In memory of S. V. Kolpakov	10
THESES OF REPORTS	11
Aksel'rod L. M. The development of the refractory industry as the response to the consumer needs	107

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Volkov K. V., Kuznetsov E. P., Anashkin N. S., Dolgikh O. V., Smirnov S. N. The flux using in 130-t steel-teeming ladles	123
Visloguzova E. A., Kashcheev I. D., Zemlyanoi K. G. The influence of the periclase-carbon refractories' quality on the converter's linings resistivity	129

MANUFACTURING AND EQUIPMENTS

Nechaev A. S. How to reduce efficiently the refractory production costs.	135
Vasin K. A., Murzakova A. R., Shayakhmetov U. Sh. Unburned technique of shamotte-graphite stopper plugs manufacturing for continuous steel casting.	136
Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Simisinov D. I., Kozhushko G. G., Panov D. A. Application problems of the air-screw type pumps for the loose cargos transportation	139

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Pivinskii Yu. E., Dyakin P. V., Gorbachev D. V., Strel'tsov S. A. The process for making sintered aluminum-silicate ceramics on base of highly concentrated ceramic bonding suspensions and some of its features. Part II	145
Sizov V. I. Refractory wares for metal billet heating induction furnace	155
Turdiyev D. Sh. The investigation of heat stability of the ceramic wares for glass melting	157
Sokolov V. A., Gasparyan M. D., Kirov S. S. Production of fused-cast chrome-spinel refractories with the using of bacor scrap	160

ECOLOGY

Pyrikov A. N., Vil'danov S. E., Likhodievskii A. V., Chernousov P. I. The analysis of ecology, state and perspectives of the refractory materials and their wastes application	165
---	-----

INVENTIONS

Ochagova I. G. Review of Advances in Refractories.	169
--	-----

ECONOMICS AND MARKET

Ryabov I. In search of a tender.	177
--	-----

INFORMATION

Semchenko G. D. The wish itself doesn't mean the possibility to solve quickly the problems in the professional training for the industry.	180
Travitskova A. N., Kononova L. V. III Workshop conference «The current problems in refractory production».	183
Gurin V. N. In memory of the outstanding scientist (Grigoriy Valentinovich Samsonov)	186
Abstracts	187



ALMATIS

PREMIUM ALUMINA



We are ALUMINA



Вниманию всех огнеупорщиков!
Компания Кофермин предлагает глиноземы
экстра-класса от компании Алматис —
мирового производителя номер один

100 YEARS
OF SPECIALTY
ALUMINA

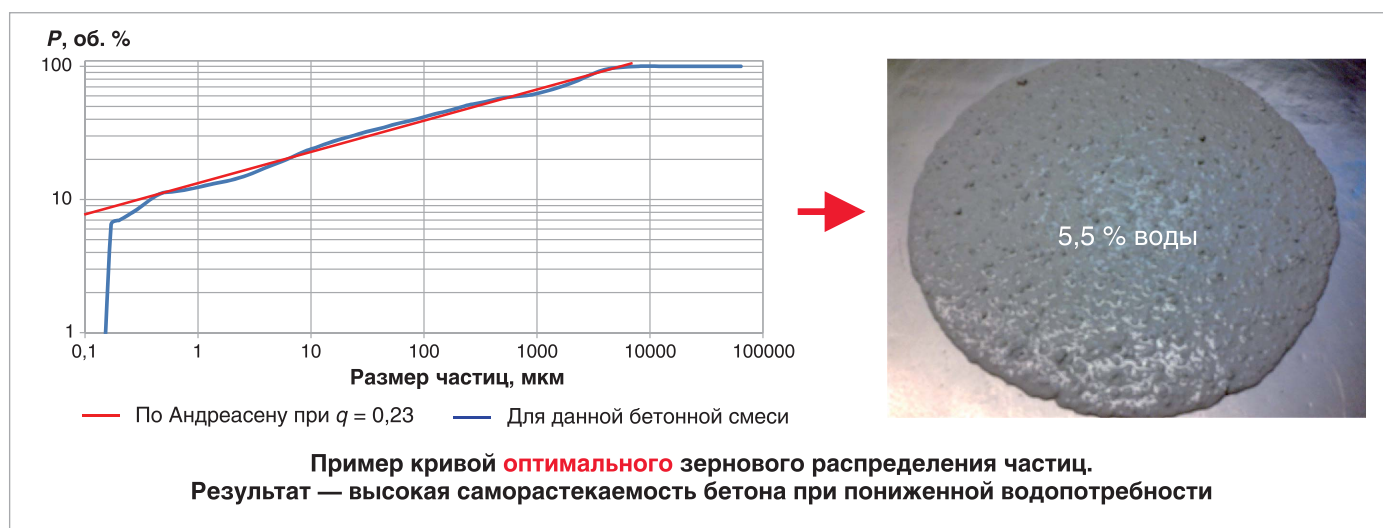
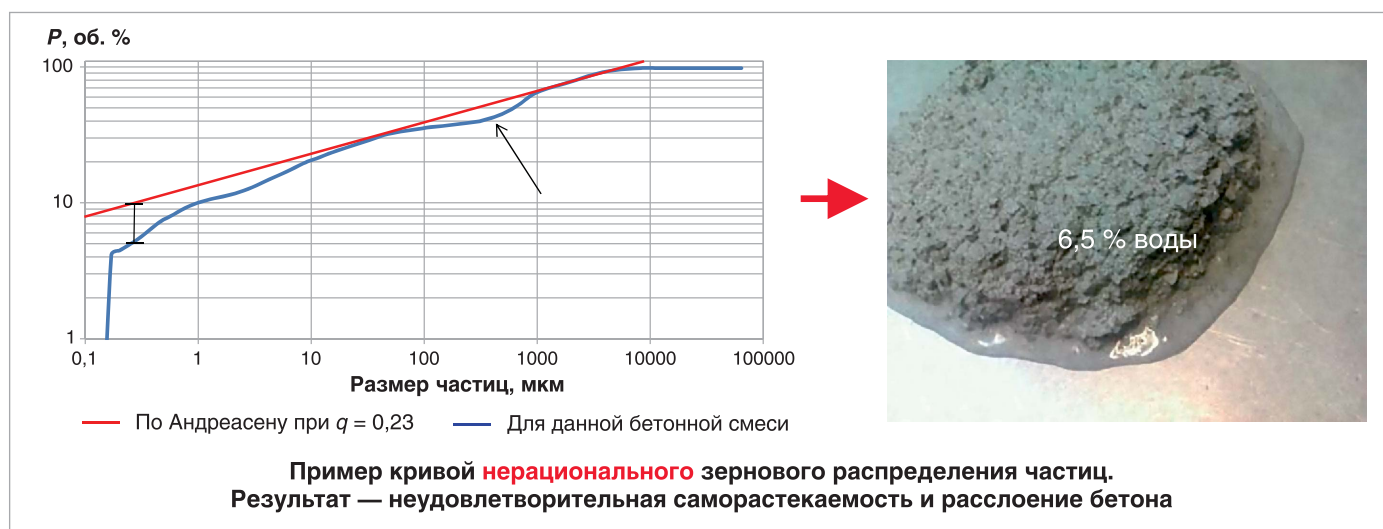
РЕКЛАМА

EMMA

(Elkem Materials Mixture Analyzer)

для улучшения саморастекаемости бетона
путем подбора гранулометрического состава
с помощью программы, разработанной «Элкем»

EMMA позволяет оценить и оптимизировать плотность упаковки частиц бетонной смеси



РЕКЛАМА

Загрузите EMMA бесплатно с www.refractories.elkem.com



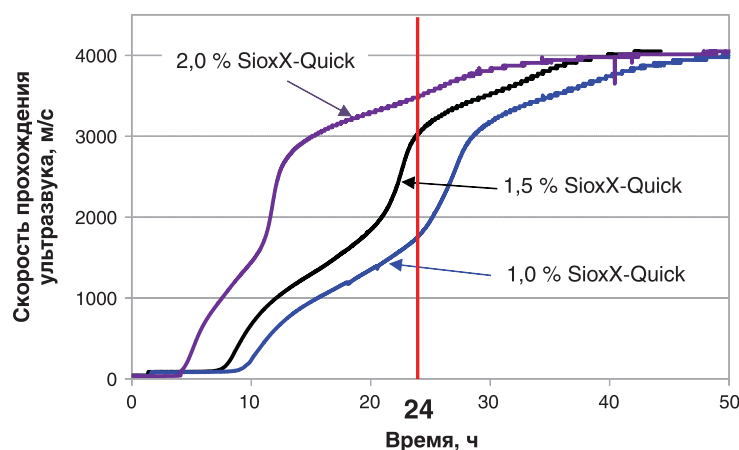
Наш представитель в СНГ:

Кофермин Роштоффе ГмбХ и Ко. КГ, офис в Москве
Тел./факс: +7 499 1571920; тел.: +7 985 7639833
ogonov@cofermin.ru; kiselev@cofermin.ru
www.cofermin.de

SioxX-Quick®

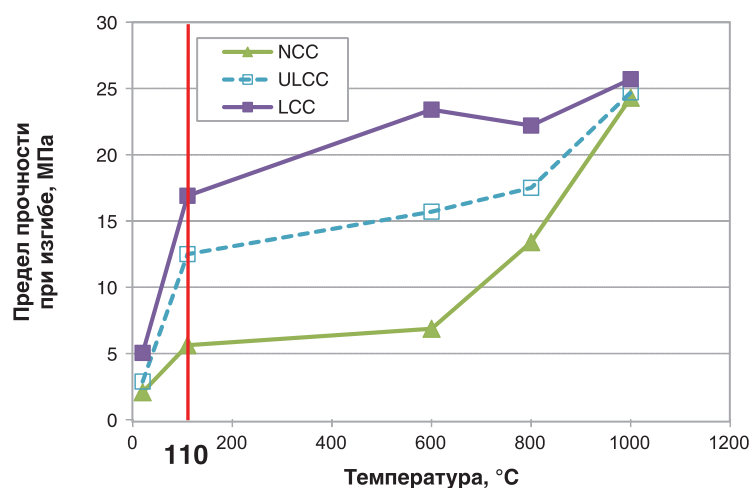
для регулирования и ускорения
процесса твердения

SioxX-Quick® корректирует скорость твердения бесцементных бетонов

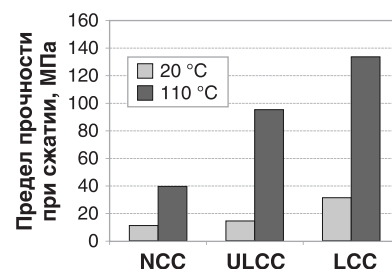


Состав бетона, мас. %	NCC-III	NCC-IV	NCC-V
Боксит (<6 мм)	78	78	78
Кальцинированный глинозем	12,5	12	12,2
Микрокремнезем 971 U	6	6	5,3
Цемент (70 % Al_2O_3)	0,5	0,5	0,5
SioxX	2	2	2
SioxX-Quick	1	1,5	2
Вода	5,5	5,5	5,5

SioxX-Quick® влияет на прочность



Состав бетона, мас. %	LCC	ULCC	NCC
Боксит (<6 мм)	78	78	78
Кальцинированный глинозем	8,3	10,5	12,5
Микрокремнезем 971 U	6,7	6	6
Цемент (70 % Al_2O_3)	5	2,5	0,5
SioxX	2	2	2
SioxX-Quick		1	1
Вода	5,5	5,5	5,5



LCC — низкоцементные бетоны; ULCC — ультранизкоцементные бетоны; NCC — бесцементные бетоны

Менеджер по продажам
направления «Огнеупорная керамика»

ingo.stinnessen@elkem.no



ПАМЯТИ С. В. КОЛПАКОВА (к 80-летию со дня рождения, 1933–2011 гг.)

10 января 2013 г. исполнилось 80 лет со дня рождения выдающегося металлурга, крупного организатора советской промышленности, государственного и общественного деятеля, министра металлургии СССР, президента Международного союза металлургов доктора технических наук **Серафима Васильевича Колпакова**.

Всю свою жизнь, все силы и энергию он посвятил металлургии. Серафим Васильевич начал свой трудовой путь в 1951 г. на Ашинском металлургическом заводе бригадиром литейного цеха, затем мастером, технологом, заместителем начальника литейного цеха. После службы в армии в 1957 г. Серафим Васильевич приехал в Липецк, где до 1963 г. работал на Липецком тракторном заводе, а с 1963 г. — на Новолипецком металлургическом комбинате сначала мастером, начальником смены, начальником ККЦ-1, а затем стал директором комбината (1970–1978 гг.). Более 13 лет своей жизни он отдал работе в Министерстве металлургии СССР. В 1978 г. Серафим Васильевич занимал пост заместителя министра, затем на протяжении шести лет (с 1985 по 1989 г.) пост министра черной металлургии, а с 1989 по 1991 г. — министра металлургии СССР. В 1991–1992 гг. он был вице-президентом Ассоциации перспективных материалов, а с 1992 г. — президентом Международного союза металлургов.

На всех этапах трудового жизненного пути С. В. Колпаков оставил яркий след в развитии металлургического производства. Однако самыми масштабными работами с его непосредственным участием были следующие: разработка теории и внедрение в практику современной технологии выплавки стали и ее непрерывной разливки; разработка методов расчета конструкции агрегатов



и машин для выплавки и разливки стали; теоретическое обоснование и внедрение системы очистки и охлаждения конвертерных газов без дожигания, позволившей довести скорость варки стали до 10–12 мин; разработка и внедрение системы беспотопной разливки стали. Все эти разработки сегодня успешно применяются в мировой металлургии.

Жизнь и деятельность С. В. Колпакова — яркий пример людей той когорты, которая в свое время создала мощное индустриальное государство, плодами деятельности которой во многом пользуются современники. Будучи президентом Международного союза металлургов Серафим Васильевич много сделал для сохранения информационного поля отрасли: он был главным редактором журналов «Сталь» и «Новые огнеупоры», содействовал организации международных форумов, конференций и выставок в области металлургии. Идея проведения международных конференций огнеупорщиков и металлургов тоже принадлежит С. В. Колпакову. Сегодня, 14 марта 2013 г., Международная конференция огнеупорщиков и металлургов начнет свою работу в 11-й раз.

Будем помнить Серафима Васильевича не только как специалиста высочайшего уровня, но и как замечательного, светлого человека, который навсегда оставил добрый след в сердцах всех, кто его знал.





МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

14–15 МАРТА 2013 ГОДА
МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

АССОЦИАЦИЯ ФИНАНСОВО-
ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРУПП РОССИИ

ООО «ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»

ГРУППА МАГНЕЗИТ

 АССОЦИАЦИЯ
ФИНАНСОВО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРУПП
РОССИИ

 **INTERMET**
INTERMET ENGINEERING

 ГРУППА
МАГНЕЗИТ

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

- Беляков А. В., Церман С. И.** Унификация сегментов для резания огнеупоров и разработка универсальных отрезных кругов 15
- Буравов А. Д., Зима М., Коварская Е. З., Москобенко И. Б.** Разработка рекомендаций по контролю акустическим методом качества огнеупорных изделий на основе периклаза, в том числе периклазоуглеродистых 16
- Вакалова Т. В., Митина Н. А., Погребенков В. М.** Перспективы использования российского огнеупорного сырья для создания наукоемких технологий инновационных силикатных и оксидных материалов 16
- Гартен В.** Комплектация и оснащение технологического участка заделки монолитной футеровки сталеразливочных ковшей металлургического предприятия 19
- Герасимов В. Ф., Журавлёв В. В.** Новые возможности в обработке огнеупоров алмазным инструментом 19
- Домолазов И. В., Ерошин М. А.** Система менеджмента качества ООО «Группа «Магнезит» 20
- Козелкова И. И.** ТК 009 «Огнеупоры». Стандартизация в Российской Федерации 21
- Небген П., Небген Г., Клаас Т., Хенгесбах Д., Серебрякова Р. Vhi** — надежный партнер в огнеупорном строительстве .. 21
- Очагова И. Г.** Огнеупорная промышленность мира: китайский фактор 22
- Перепелицын В. А.** Классификация материалов по составу, генезису и организации вещества 22
- Тимошенко Д. А.** Сушка футеровки тепловых агрегатов .. 24
- Турчин М. Ю.** Футеровка конвертера и комплекс мер ухода за ней в процессе работы. 24
- Турчин М. Ю., Долгих С. В.** Группа «Магнезит» проектирует и выполняет футеровку методических и термических печей прокатного производства 25

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Баранов А. П., Назмиев М. И., Котровский В. Н., Урванцев А. И., Урванцев И. А.** Новая технология обогащения магнетитового забалансового сырья 26
- Бейлина Н. Ю., Липкина Н. В., Петров А. В.** Особенности применения пеков из каменноугольных смол в производстве графитовых изделий 26
- Вакалова Т. В., Крашенинникова Н. С., Карионова Н. П., Абилябаева Н. К.** Влияние природы кремнеземистого сырья на твердофазный синтез волластонита 27
- Вакалова Т. В., Крашенинникова Н. С., Решетова А. А., Говорова Л. П., Токарева А. Ю.** Повышение плотности алюмосиликатной керамики на основе огнеупорного глинодержающего сырья 28
- Завёрткин А. С.** Перспективы производства футеровочных масс на основе карельского минерального сырья 28
- Завёрткин А. С.** Применение кварцевых и кварц-полевошпатовых песков для песчано-цементных смесей при изготовлении отливок сушильных цилиндров 29
- Кийк А. А., Маркова С. В., Кормина И. В., Маркова Ж. С.** Применение полимеров в производстве металлургических брикетов 29

Михеенков М. А. Переработка металлургических шлаков с высоким содержанием оксидов железа 30

Перепелицын В. А., Дунаева М. Н., Максунев К. А., Царёв В. Ю. Микрокремнезем — полифункциональное технологическое минеральное сырье 32

Перепелицын В. А., Рытвин В. М., Хватов А. В., Абызов В. А., Абызов А. Н. Техногенный материал алюминотермического производства ферромолибдена 32

Пономаренко А. А., Кормина И. В., Маркова С. В. Применение инновационных связующих добавок серии Термопласт СВ в технологии агломерации 33

Соколов В. А., Махов С. В. Перспективы развития сырьевой базы для производства цирконистых огнеупоров в России 34

Шарапова В. В. Актуальные вопросы использования шлама нормального электрокорунда при производстве алюмосиликатных огнеупоров 35

Шаяхметов У. Ш., Мурзакова А. Р., Шаяхметов Р. У., Гончаренко Е. А., Мустафин А. Г. Изменение структуры пиррофиллитового сырья при термообработке 36

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

Абызов В. А., Абызов А. Н., Абрамов А. К., Рытвин В. М., Перепелицын В. А., Хватов А. В. Сухие смеси для жаростойких бетонов на основе плавящихся высокоглиноземистых цементов и заполнителей алюминотермического производства 37

Аксельрод Л. М., Дониц Р. А., Лаишевцев Е. Б., Михайлов Е. В. Виброформованные огнеупорные изделия для различных областей применения 37

Аксельрод Л. М., Назмиев М. И., Коротеев С. А. Флюсы магнетизальные брикетированные универсального применения 38

Аксельрод Л. М., Назмиев М. И., Марченко Д. А. Торкрет-массы периклазового состава для горячего ремонта конвертеров и электропечей 38

Аксельрод Л. М., Пицик О. Н., Устинов В. А., Кузнецова Н. Е. Совершенствование периклазошпинельных огнеупоров для вращающихся печей обжига цементного клинкера 39

Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Овсянников В. Г. Опыт использования периклазошпинелидных огнеупоров ООО «Группа «Магнезит» в циркуляционных вакууматорах № 1 и 2 ККЦ ОАО ММК 39

Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Смертин В. В. Основные направления совершенствования технологий производства углеродсодержащих огнеупоров в ОАО «Комбинат «Магнезит» 40

Андреев В. П. Опыт работы прессованной безуглеродистой футеровки на предприятиях КНР 43

Вериковский В. Ю., Турчин М. Ю., Ильянкин А. В. Сухие массы и шаблон для изготовления рабочего слоя футеровки промежуточного ковша производства ООО «Группа «Магнезит» 43

Воронина О. Б., Мелихов А. А., Полубесов С. Г., Агишева М. В., Власов А. В., Помазков Т. В. Производство изделий методом виброформования и их эксплуатация 43

Ганькин Д. В., Турчин М. Ю. Опыт применения огнеупорных масс для набивки тиглей индукционных печей. 44

Дикарёва Р. И., Коротеев С. А., Фалько Г. А., Макаренко А. Г. Огнеупорные материалы для ухода за футеровкой кислородных конвертеров	44
Дониц Р. А., Данилова Ю. В., Язовских Д. Ю. Бетоны для футеровки тепловых агрегатов цементной промышленности. 47	
Можжерин А. В., Маргшвили А. П., Филин Г. В., Мусевич В. А., Дука А. П. Огнеупоры ОАО БКО для футеровки сталеразливочных ковшей и конвертеров ОАО НЛМК	47
Пицик О. Н., Найман Д. А., Турчин М. Ю., Беспалова И. Г. Теплоизоляционные огнеупоры для футеровки печей периодического действия.	48
Пишек Ш. Новые оксикарбидные огнеупорные бетоны производства RHI и их применение	48
Смертин В. В., Назмиев М. И., Пospelова Е. И., Ильякин А. В., Баранов П. А. Увеличение производственных мощностей ООО «Магнезит-торкрет-массы».	51
Смертин В. В., Пицик О. Н., Беспалова И. Г. Периклазофорстеритовые огнеупоры для регенераторов стекловаренных печей	51
Турчин М. Ю., Назмиев М. И., Ганькин Д. В., Алтынбаева Е. С. Опыт применения огнеупорных масс для набивки тиглей индукционных печей.	52
Чашкин М. А., Иванцов М. В. Поиск путей совершенствования футеровки сталеразливочных ковшей.	52
Ярушина Т. В., Дикарёва Р. И., Калашник И. В., Акбашев В. А., Макаренко А. Г. Периклазоуглеродистые изделия производства ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод».	53

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

Головко А. Г., Гордеев Е. И., Золотухин В. И., Провоторов Д. А. Сталеразливочные системы для металлургических и литейных производств	53
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Симисинов Д. И., Курочкин В. А. Разгрузка контейнеров контейнерного пневмотранспорта сегодня, пневмотранспорт завтрашнего дня 54	
Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Симисинов Д. И., Панов Д. А. Проблемы использования пневмовинтовых насосов.	55
Московчук В. Футеровочный телескоп ТБР для безопасной и быстрой футеровки конвертера.	56
Потапов В. Я., Давыдов С. Я., Потапов В. В. Использование фрикционных сепараторов для выделения твердых включений из глинозёмов	57
Прибора В. Н. Современный рентгеновский анализ в огнеупорной промышленности.	57
Рукавицын А. В., Мирошников В. Е., Туров М. Г. Кирпичные заводы полусухого прессования нового поколения . . 60	
Спицин А. С. Современное футеровочное оборудование компании «Bricking Solutions» для черной и цветной металлургии.	60

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Марясев И. Г. Оптимизация поровой структуры хромитопериклазовых изделий ответственного назначения	61
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Термостойкие огнеупоры из кианитовой руды Кейвского месторождения	61

Буцык О. В., Хабас Т. А., Качаев А. А., Хасанов А. О. Исследование влияния качества порошкового карбида кремния на спекание керамического материала	62
Вакалова Т. В., Говорова Л. П., Токарева А. Ю. Новая минерализующая добавка для твердофазного синтеза муллита и спекания муллитовой керамики из оксидов.	63
Вакалова Т. В., Крашенинникова Н. С., Карионова Н. П., Абилябаева Н. К. Высокопористые диатомитсодержащие керамические материалы на волластонитовой связке 63	
Гайдайчук Е. В., Хабас Т. А., Рубцова М. В. Влияние добавок соединений переходных элементов на свойства плотноспеченного керамического материала на основе смеси оксидов	64
Гуламова Д. Д., Ускенбаев Д. Е., Турдиев Д. Ш., Бобокулов С. Х., Шевченко В. П., Токунов С. Г., Ким Р. Б. Синтез керамических материалов с использованием солнечной энергии.	67
Данилова О. Ю., Довгаль А. Н., Лукин А. В., Юрков А. Л., Дороганов В. А., Зарубина О. В., Евтушенко Е. И., Перетоккина Н. А. Получение и исследование искусственных керамических вяжущих на основе карбида кремния, их модифицирование и изучение закономерностей изменения свойств	67
Демидова-Буйзинене И., Пундене И., Пранцкевичене Я., Жвиронайте Я. Исследования механизма развития прочности в процессе сушки в среднецементных бетонах с дефлокулянтами различного типа.	68
Демидова-Буйзинене И., Пундене И., Стонис Р., Клигис М., Кичайте А. Влияние композиционного дефлокулянта в среднецементных бетонах на изменение физико-механических характеристик в процессе термообработки	70
Задорожная О. Ю., Тиунова О. В., Хабас Т. А. Получение плотной композитной керамики на основе оксидов алюминия и циркония методом осевого прессования.	70
Земляной К. Г., Кашеев И. Д., Михеенков М. А. Особенности синтеза клинкеров цемента в присутствии метастабильных фаз.	71
Жажикенова С. Ш. Новые технологии получения огнеупорных материалов.	71
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Маркова С. В., Кормина И. В. Комплексные добавки для цементных огнеупорных бетонов. . 72	
Кашеев И. Д., Полухин М. С. Повышение качества магнезиальнокварцевой керамики	73
Кашеев И. Д., Поморцев С. А., Мурашко Е. В., Борисова Ю. А. Формирование структуры и свойств периклазоуглеродистых изделий для сталеразливочных ковшей ОАО ММК . . 73	
Конаков В. Г., Голубев С. Н., Новик Н. Н., Пивоваров М. М., Ушаков В. М. Применение мембран из наноразмерной керамики на основе диоксида циркония в высокотемпературных топливных элементах	74
Конаков В. Г., Курапова О. Ю., Голубев С. Н., Ушаков В. М. Взаимосвязь методики синтеза, фазообразования и дисперсности порошков прекурсоров керамики на основе стабилизированного диоксида циркония	75
Красный Б. Л., Тарасовский В. П., Красный А. Б. Исследование поровой структуры корундовой керамики, спеченной при различных температурах, методом рентгеновской микротомографии.	76
Кутузов С. В., Буряк В. В., Деркач В. В., Панов Е. Н., Карвацкий А. Я., Васильченко Г. Н., Лелека С. В., Чирка Т. В., Лазарев Т. В. Повышение эффективности теплоизоляционной шихты печей графитации Ачесона.	76

Лукин Е. С., Милявский В. В., Савиных А. С., Акопов Ф. А., Бородин Т. И., Боровкова Л. Б., Вальяно Г. Е., Попова Н. А., Ананьев С. Ю., Валуев А. В. Фазовые превращения в керамике из частично стабилизированного диоксида циркония при механическом, ударно-волновом и термическом воздействии.	79
Лукин Е. С., Попова Н. А., Павлюкова Л. Т., Акопов Ф. А., Боровкова Л. Б., Морозов Б. И., Преображенский В. С., Безлепкин В. А., Голубев Д. В. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы для экстремально высоких температур службы.	80
Лысова Г. А., Боровик С. И., Чуклай А. М. Кинетика термической деструкции модифицированных технических лигносульфонатов.	80
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Федоровцева А. В. Влияние термообработки на термостойкость плавяного корунда и шпинели.	81
Примаченко В. В., Казначеева Н. М., Крахмаль Ю. А., Криворучко П. П. Влияние добавки глинозема на термостойкость волластонитовых легковесных изделий.	82
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Савина Л. К. Корундовые огнеупоры с добавкой ферросилиция на силансодержащей связке для футеровки элементов тепловых агрегатов.	82
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Солошенко Л. Н., Щербак Л. М. Исследование влияния вида алюмомгнезиевой шпинели на свойства сухой корундошпинельной смеси для футеровки индукционных тигельных печей.	83
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Чаплинко С. В., Грицюк Л. В., Ткаченко Л. П. Муллитовые, муллитокорундовые, муллитокорундоцирконовые огнеупоры производства ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного» для стекловаренных печей.	83
Прошкин А. В., Михалёв Ю. Г., Пингин В. В., Исаева Л. А. К вопросу о механизме повреждения бортовой SiC футеровки современных электролизеров.	84
Семченко Г. Д., Шутеева И. Ю., Питак Я. Н. Повышение защитного действия корундового покрытия за счет создания самоармированного наночастицами β -SiC и иглами муллита барьерного подслоя.	84
Соков В. Н., Соков В. В. О гидродинамическом процессе фильтрационного влагопереноса в самоуплотняющихся массах.	87
Суворов С. А., Арбузова Н. В. Инновационный шпинельный материал и огнеупоры из него.	88
Суворов С. А., Застрожнов М. Н. Оптимизация бетона на основе композиций корунда и карбида кремния.	88
Суворов С. А., Козлов В. В. Шлаковая коррозия периклазоуглеродистого огнеупора в футеровке кислородного конвертера.	89
Суворов С. А., Козлов В. В., Вихров Е. А. Устойчивость оксидных и карбонированных огнеупоров к воздействию расплавов ШОС.	89
Суворов С. А., Фищев В. Н., Игнатьева А. Н. Устойчивая к термонагружениям структура и свойства высокоглиноземистых материалов.	90
Тиунова О. В., Задорожная О. Ю., Хабас Т. А. Керамические материалы из диоксида циркония, полученные методом пленочного литья.	90

Тогобицкая Д. Н., Хамхотью А. Ф., Циватая Н. А., Степаненко Д. А. Влияние щелочесодержащих шлаков на разрушение футеровки доменной печи.	91
Турдиев Д. Ш., Гуламова Д. Д., Шевченко В. П. Текстура и свойства анизотропных керамических материалов, синтезированных в солнечной печи.	92
Хабас Т. А., Гайдайчук Е. В., Рубцова М. В., Колесова Т. В. Изучение влияния компонентного состава и способа подготовки исходных материалов на свойства муллитокорундовой керамики.	92
Шмурадко В. Т., Роман О. В., Судник Л. В., Киршина Н. В. Керамическая воронка для дозирования алюминиевых расплавов в кристаллизатор.	93

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Абызов В. А., Абызов А. Н., Рытвин В. М., Перепелицын В. А., Хватов А. В. Легкие жаростойкие бетоны на вяжущих алюминотермического производства и пористых заполнителях.	94
Абызов В. А., Ряховский Е. Н. Огнеупорные фосфатные клеи на основе дисперсных высокоглиноземистых промышленных отходов.	95
Бажин В. Ю., Патрин Р. К., Фещенко Р. Ю. Повышение стойкости угольной подины высокоамперного электролизера.	96
Бажин В. Ю., Фещенко Р. Ю., Патрин Р. К., Саитов А. В. Разрушение бортовой футеровки высокоамперного электролизера в пусковой период.	96
Бурмистрова Е. В., Абдрахманов Р. И., Игонин А. Ю. Огнеупорные материалы для вакууматоров ОАО ММК и основные направления повышения их эксплуатационной надежности.	97
Вебстер Э. Развитие и преимущества аргоновых продувочных пробок типа BlueLine производства компании RA-NA-GE.	97
Гудовских П., Парр К., Вохмаер К. Применение глиноземистых цементов Secar в плотных и теплоизоляционных огнеупорных бетонах.	97
Гумаров Р. Х., Астанина Г. И., Кузнецова Т. В., Кривобородов Ю. Р. Опыт применения бетонных смесей ООО «Консолит».	99
Зотов Д. В., Гареев Р. Р., Белоусов А. М., Зырянов А. Г., Касьяненко Д. В. Повышение серийности разлива промежуточных ковшей сортовой МНЛЗ ККЦ до 100 плавов.	99
Калугин К. А., Мишутин М. П. Опыт применения инновационных теплоизоляционных материалов компании «Promat» в металлургии.	100
Кондрукевич А. Комплексный подход к разработке футеровки сталеразливочных ковшей.	101
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Острыков Л. В. Испытание магнезиальношпинелидных огнеупоров в медеплавильной печи.	101
Прошкин А. В., Левенсон С. Я., Пингин В. В., Морозов А. В., Ярош И. А. Новая технология монтажа неформованных материалов в катодных устройствах электролизеров компании РУСАЛ.	102
Соколов В. В., Аксельрод Л. М., Сигута Ю. Н., Рогачёв М. С., Коверзин А. М., Дудин В. В., Щипанов С. С., Календа А. В., Оржих М. Б., Чекалов В. В., Рехтин И. В., Ильянкин А. В. Опыт увеличения стойкости футеровки конвертеров ККЦ-1 ОАО ЕВРАЗ ЗСМК.	103
Фехнер Р. Концепция огнеупорных материалов промежуточного ковша для производства чистого металла.	103

**УНИФИКАЦИЯ СЕГМЕНТОВ ДЛЯ РЕЗАНИЯ ОГНЕУПОРОВ
И РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ОТРЕЗНЫХ КРУГОВ**© Д. х. н. А. В. Беляков¹, С. И. Церман²¹ ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»,
Москва, Россия² Группа компаний «Адель», Москва, Россия

Из-за разнообразия условий применения огнеупоров они должны обладать широкой гаммой физико-механических свойств, а также структурных особенностей. Специалистов по механической обработке огнеупоров прежде всего интересует зависимость степени сложности резания от их механических параметров и структуры. Самыми проблемными при резании являются такие материалы, как корунд, бакор, динас.

Конструирование отрезных кругов проводят с учетом оценки обрабатываемости материала, в соответствии с которой выбирают прочностную марку алмазов, их содержание в инструменте и твердость связки. Разработка инструмента для мягких огнеупоров не составляет больших проблем, поскольку из-за невысоких значений прочности они легко разрушаются алмазом, даже в случаях затупления режущей кромки зерна. Для резания твердых огнеупоров требуется высокая концентрация алмазных зерен в инструменте. Однако при повышении концентрации нагрузка на единичном зерне падает, режущая кромка «недогруженного» алмаза скругляется и уже не может проникать в твердые материалы. Несколько стабилизировать резание можно, например, обеспечив упорядоченное расположение зерен в слое; при этом влияние на равновесие процесса неоднородностей локальных концентраций снижается.

В конструкцию разрабатываемых нами сегментов для стабильного резания твердых материалов положен противоположный принцип: максимально возможная неоднородность сегментов. Алмазные зерна в сегментах размещены в виде сгустков, агрегатов («алмазных кластеров»), между которыми располагается «межалмазное пространство». Позиции отдельных режущих зерен в сегментах занимают алмазные кластеры. При резании таким кластером нагрузки на зерна одинаковы в силу геометрического фактора: расстояния между отдельными алмазами незначительны и общая нагрузка на кластер равномерно распределяется по составляющим его зернам.

При испытаниях таких отрезных кругов для резания изделий из бакора наблюдалось одновременное повышение и скорости резания, и стойкости инструмента по сравнению с этими показателями, полученными при резании с применением традиционной конструкции сегментов из тех же алмазов и связки. Путем оптимизации состава кластеров удалось добиться повышения прочности удержания алмазов, что позволило увеличить ресурс инструмента. Снижением абразивной стойкости («твердости») окружающей кластер связки достигли увеличения режущей способности отрезных кругов. Дополнительное структурирование сег-

мента позволило повысить эффективность разрушения инструментом разрезаемого огнеупора. Испытания инструмента последней модификации в производственных условиях при монтаже оборудования из бакора подтвердило увеличение его стойкости. Для кругов диаметром 600 мм наблюдали повышение ресурса с 22 до 26 м² при дополнительном повышении скорости резания. При уменьшении количества зубьев на корпусе круга, как было показано ранее, оказалось возможным применение тех же сегментов кластерной конструкции для резания мягких материалов, таких как шмот. Усовершенствование сегмента как минимум не снизило режущую способность такого инструмента по мягким огнеупорам. Применение же инструмента с уменьшенным количеством новых сегментов для резания бакора аналогично неусовершенствованной конструкции сегментов показало только лишь снижение ресурса пропорционально уменьшению количества сегментов на корпусе.

Кроме того, была опробована еще одна конструкция отрезных кругов с максимально возможным заполнением их режущего контура разработанными сегментами. По рабочим характеристикам эта конструкция не уступает кругам со сплошным режущим слоем. Испытания такого инструмента показали, что при резании твердого огнеупора он не только повышает ресурс, но и увеличивает режущую способность при высоком качестве резания. Мы это объясняем возрастанием выступления зерен над связкой за счет оптимизации скорости разрушения алмазов. И еще одно полезное качество новой конструкции — высокая концентрация режущих зерен в кластерах препятствует быстрому боковому износу сегментов при резании высокоабразивных мягких огнеупоров. Это позволяет повысить эффективность резания за счет уменьшения ширины реза и дает дополнительный параметр при унификации сегмента для резания различных групп огнеупорных материалов.

Таким образом, во-первых, оптимизируя конструкцию кругов определенным количеством универсальных сегментов, получаем инструмент, которым можно резать широкую гамму огнеупоров, и, во-вторых, варьируя степень заполнения режущего слоя предложенными сегментами, можно подстраивать эксплуатационные характеристики отрезного круга под конкретный огнеупорный материал.

Отрезной инструмент на базе разработанного сегмента успешно опробован на некоторых других проблемных для резания материалах, в частности на яшме, лейкосапфире, на прочных бетонах.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО КОНТРОЛЮ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ КАЧЕСТВА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПЕРИКЛАЗА, В ТОМ ЧИСЛЕ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ

© К. т. н. А. Д. Буравов¹, М. Зима², Е. З. Коварская³, д. т. н. И. Б. Московенко³¹ ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия² Компания ABRASIV, a.s., г. Млада-Болеслав, Чехия³ ООО «Звук», Санкт-Петербург, Россия

Задача оперативного контроля качества периклазоуглеродистых изделий различных типов в настоящее время является достаточно актуальной.

На основе опыта использования акустического метода с применением приборов типа «Звук» разработаны рекомендации по организации и проведению контроля качества конкретных типов периклазохромитовых изделий на предприятии «Slovmag a.s.», г. Любеник, Словакия, входящем в Группу «Магнезит». Для определения возможности использования акустического метода контроля качества подобных изделий была разработана методика проведения измерений с использованием прибора «Звук-203М» применительно к контролю конкретного типоразмера периклазохромитовых обожженных изделий К34/228/76 прямо-

угольной формы размерами $a = 342,9$ мм, $b = 228,6$ мм и $h = 76,2$ мм. Выбраны рабочие виды колебаний и соответствующие диапазоны частот.

Разработанная методика была опробована в условиях предприятия «Slovmag». В настоящее время прибор «Звук-203М» передан во временное пользование предприятию «Slovmag» для накопления статистических данных, необходимых для корректировки методики и решения вопроса о целесообразности использования такого метода контроля, в том числе для организации сплошного экспресс-контроля качества изделий, мониторинга технологии производства и, возможно, оценки неоднородности свойств (дефектоскопии) таких изделий.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОССИЙСКОГО ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ИННОВАЦИОННЫХ СИЛИКАТНЫХ И ОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Д. т. н. Т. В. Вакалова, к. т. н. Н. А. Митина, д. т. н. В. М. Погребенков

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

Основным направлением современного развития отечественной силикатной промышленности является переход на ресурсо- и энергосберегающее производство материалов нового поколения, отличающихся высоким уровнем собственных эксплуатационных свойств и обеспечивающих повышение качества продукции потребляющих отраслей.

На кафедре технологии силикатов и наноматериалов Томского политехнического университета активно ведутся научные исследования в области создания новых инновационных технологий современных огнеупорных, керамических и других силикатных материалов, включая:

А. Алумосиликатные керамические пропанты для добычи нефти и газа методом гидравлического разрыва пласта (ГРП) на основе огнеупорного глиносодержащего сырья — глинистых бокситов и каолинов. Использование минерализующих природных и техногенных добавок в композициях с огнеупорным глинистым и бокситовым сырьем обеспечивает получение при температуре обжига гранул 1400–1450 °С алумосиликатных пропантов средней прочности (выдерживающих разрушающие давления до 52 МПа) и низкой насыпной плотности (до 1,58 г/см³). Применение комплексной добавки минерализующе-упрочняющего действия при тех же температурных условиях обеспечивает получение пропантов средней прочности, выдерживающих разрушающие давления до 70 МПа, с насыпной плотностью до 1,62–1,75 г/см³.

Б. Теплоизоляционные керамические материалы на основе природного наноструктурированного (диатомитовой породы) и вспученного алумосиликатного сырья. Улучшение прочностных характеристик высокопористых керамических теплоизоляционных материалов на основе природного алумосиликатного (глинистых пород) и кремнеземистого (диатомитовых пород) сырья и их композиций со вспученными вермикулитовыми и перлитовыми породами возможно за счет совмещения процессов синтеза волластонита в смесях диатомитовой породы с природным известковым сырьем и спекания изделий в однократном обжиге. В совокупности это обеспечивает получение керамических материалов плотностью до 1,0 г/см³ с пределом прочности при сжатии до 12 МПа для промышленной теплоизоляции.

В. Теплоизоляционные керамические материалы с нанопористой структурой на основе золосодержащих отходов ТЭЦ. Использование в качестве порообразующего компонента зольных микросфер в комбинациях с глинистым сырьем обеспечивает создание высокоразвитой пористой структуры в керамической матрице с суммарным объемом пор в 2 раза большим, чем при использовании золы при одинаковом их содержании. Причем характер распределения пор по размерам в образцах из массы с золой свидетельствует об однородности пористой структуры образцов, в которых преобладают поры размерами 0,5–1,0 мкм. Образцы с зольными микросферами характеризуются нанопористой структурой с размерами пор 0,007, 0,04, 0,27 и 2,20 мкм,



ANDALUSITE RESOURCES

АНДАЛУЗИТ

ПО ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ЗАКАЗАМ



Компания «Андалузит Рисосез» разрабатывает собственное месторождение в ЮАР, которое находится в регионе Тхабазимби и входит в основное рудное залегание андалузитов ЮАР. Торговая марка нашего андалузита — «Марлузит». Завод по обогащению Марлузита достиг мощности 7 тыс. т в месяц.

Поставки Марлузита морским путем в контейнерах напрямую с завода гарантируют стабильное качество Марлузита на всем пути следования до потребителя.

Падение числа выплавок гетита



Несколько лет изысканий под требования и совместно с нашими ключевыми потребителями по всему миру, а также модернизация линии обогащения позволили кардинально уменьшить количество выплавок в изделиях, связанное с гетитом.

Минимизация влияния примесей калькретов и сланца



До обжига

После обжига

Удвоение уровня обогащения привело к снижению доли примесей вдвое за последние три года.

Переход к более богатым картам выработки позволил увеличить почти в три раза долю фракции свыше 2 мм. Одновременно модернизирована линия отсева, что позволяет выпускать более 7 видов фракций:

Марлузит M57

- микронные фракции
- 0,5-0 / 1-0 / 1,6-0,5 / 3-1 / 4-0 мм

Марлузит M56

- Premium 3-0 мм
- Standard 3-0 мм

Поставщик на Россию / СНГ:



Cofermin Rohstoffe
GmbH & Co. KG,
Alfredstrasse 61,
D-45130, Essen

Phone: +49 (201) 4387870
Fax: +49 (201) 4387888
E-mail: Golak@cofermin.de
Mobile: +49 (172) 2154154
www.cofermin.de

Представители в Москве:

Тел./факс: (499) 1571920
Мобильн.: (495) 7639833
E-mail: Oganov@cofermin.ru
E-mail: Kiselev@cofermin.ru

VGH AG

Надежность - принцип нашей работы

Компания VGH AG – Ваш добросовестный и заслуживающий доверия партнёр в сталеплавильной промышленности, на которого можно положиться на все 100%. Наши огнеупорные решения гарантируют наивысшее качество выплавляемой Вами стали.

Наша логистическая стратегия поставок «точно в срок» в сочетании с высококачественными огнеупорными материалами обеспечит успешное выполнение Ваших производственных планов.

VGH AG – Ваш надежный партнер в огнеупорном мире.



**XI Международная конференция
Огнеупорщиков и Металлургов
14 – 15 марта 2013 г. Москва**

Приглашаем Вас посетить наш доклад на тему
«Комплектация и оснащение технологического участка
монолитной заделки сталеразливочных ковшей
металлургического предприятия».

РЕКЛАМА

VGH Viktoria Garten Hüttenindustriebedarf AG
Barmer Straße 17 58332 Schwelm Germany
Tel: +49(0)2336 4711-0 Fax: +49(0)2336 4711-11
E-Mail: info@vgh-ag.com www.vgh-ag.com

VGH 

что свидетельствует о разнообразии их пористой структуры и об эффективности их как теплоизоляционного материала с температурой службы до 1000 °С.

Г. Легковесные высокоглиноземистые керамические материалы на основе продуктов термофторирования огнеупорного глинистого и кварцпирофиллитового сырья. Термообработка смесей каолина и кварцпирофиллитовых пород с гидродифторидом аммония в

интервале 1350–1400 °С обеспечивает получение пористых высокоглиноземистых (муллитовых, муллитокорундовых и корундомуллитовых) керамических материалов плотностью 0,5–0,8 г/см³ с пределом прочности при сжатии 4,5–6,0 МПа, что определяет перспективы их использования в качестве теплоизоляционного огнеупорного керамического материала

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

КОМПЛЕКТАЦИЯ И ОСНАЩЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЧАСТКА ЗАДЕЛКИ МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

© В. Гартен

Компания VGH AG, г. Швелм, Германия

На сегодняшний день многие металлургические предприятия заинтересованы в переходе на технологию монолитной футеровки сталеразливочных ковшей. Как показывает опыт работы компании VGH AG, Германия, преимущества этой современной технологии неоспоримы. К ним относятся такие показатели, как повышение продолжительности кампании, возможность проведения промежуточного ремонта футеровки, экономия материала и рабочей силы, что, в свою очередь, ведет к снижению удельного расхода материалов.

Металлургические предприятия, заинтересованные в работе по современным технологиям, понимают необходимость в модернизации технологических участков. Компания VGH AG, являющаяся европейским производителем огнеупорных материалов и сопутствующего оборудования для металлургической промышленности, предлагает инновационные комплексные решения по внедрению технологии монолитной футеровки сталеразливочных ковшей, а также разработку и проведение модернизации технологических участков, включая поставку необходимого сопутствующего оборудования. При этом внедрение новой технологии сопровождается квалифицированной технической поддержкой специалистами компании VGH AG.

Тема предлагаемого доклада — процесс модернизации технологического участка заделки монолитной футеровки сталеразливочных ковшей при переходе на новую технологию на примере одного из металлургических предприятий. При этом особое внимание уделя-

ется объему работ, связанных с внедрением новой технологии (полная либо частичная модернизация цеха). Первая часть доклада — представление компании VGH AG и ее основных направлений деятельности. В частности, особое внимание уделяется вопросу монолитной футеровки сталеразливочных ковшей, преимуществу ее внедрения, а также опыту работы компании VGH AG в данной области. Вторая часть доклада рассматривает напрямую связанные с внедрением новой технологии комплектацию и необходимое оснащение оборудованием технологического участка заделки монолитной футеровки сталеразливочных ковшей на примере металлургического предприятия. Предлагается поэтапный анализ оснащения участков оборудованием: участок подготовки и заливки оборудования, участок установки и замены шибберных затворов, а также участок зачистки и ломки футеровки. При этом уделяется внимание новейшим разработкам оборудования производства фирмы «Petronix GmbH» в области металлургии. К ним относятся как горизонтальные и вертикальные стенды разогрева и сушки футеровки сталеразливочных ковшей, так и такая новинка, как установка «Фреза» марки Petronix для полной или частичной замены футеровки. В третьей части доклада предлагается краткий обзор технических характеристик огнеупорных бетонов марки Theramer для изготовления монолитной футеровки дна и стен сталеразливочных ковшей.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ОБРАБОТКЕ ОГНЕУПОРОВ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

© В. Ф. Герасимов¹, В. В. Журавлёв²¹ ВНИИАлмаз, Москва, Россия² ООО Научно-инженерный центр «Вятич», г. Троицк Московской обл., Россия

Сообщается о появлении новых алмазно-твердосплавных композиционных материалов, на основе которых можно изготавливать резцы, фрезы и сверла различной формы для обработки изделий из труднообрабатываемых огнеупорных материалов. Этот композиционный материал по износостойкости и режущим свойствам в десятки раз превосходит аналогичные материалы, существовавшие ранее. Успешно заменяет лучший твердосплавный инструмент. Применяется для обра-

ботки корундографитовых, периклазовых и других аналогичных огнеупоров, а также различных марок графита, в том числе силицированного. Кроме того, сообщается о разработке новых типов эффективного алмазного шлифовального инструмента, изготовленного на основе последних достижений синтеза алмазных шлифпорошков. Этим шлифовальным инструментом с высокой производительностью шлифуют крупногабаритные огнеупорные блоки.

© И. В. Домолазов, М. А. Ерошин

ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группа «Магнезит» — современный, вертикально интегрированный производитель огнеупорной продукции с полным циклом производства от добычи магнетитовых руд до получения конечного продукта — формованной, неформованной огнеупорной продукции (огнеупорных изделий, набивных и торкрет-масс, периклазовых порошков, высокомагнезиальных флюсов) и предоставления комплексных сервисных услуг для ее эффективного использования. Потребителями этой продукции являются более 700 отечественных и зарубежных предприятий черной и цветной металлургии, цементной, химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности — машиностроения, энергетики, сельского хозяйства. Основная цель предприятия — производство востребованной рынком продукции, соответствующей требованиям потребителя, путем постоянного улучшения ее качества и применения комплексного инжинирингового подхода к ее использованию.

Качество выпускаемой продукции как основная стратегическая цель деятельности было признано высшим руководством компании, и для этого с 01.04.08 в подразделениях Саткинской производственной площадки Группы «Магнезит» внедрена и функционирует система менеджмента качества в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001–2008 и МС ISO 9001–2008. Соответствие системы регулярно подтверждается по результатам аудита специалистами уполномоченных организаций. Система качества содержит несколько встроенных механизмов самосовершенствования (внутренние аудиты, анализ со стороны руководства, обратная связь от потребителей и др.), которые в совокупности обеспечивают, во-первых, своевременное изменение системы в ответ на изменения внешней и внутренней среды, а во-вторых, постоянное улучшение деятельности предприятия. Сертифицированная система качества дает клиентам дополнительную уверенность в надежности предприятия производить востребованную рынком продукцию, превосходящую ожидания потребителя.

Для оценки надежности и дальнейшего развития партнерских отношений на предприятии проводятся аудиты третьей стороной — потребителями. Специалисты предприятий-потребителей посещают производственные площадки Группы, рассматривают основные технологические процессы производства продукции и их соответствие существующей на предприятии нормативной и технической документации и процедурам, описанным в стандартах организации. Документальное описание производственных процессов обеспечивает их прослеживаемость, четкое понимание, управление и направлено на постоянное улучшение.

Одним из показателей деятельности организации является измерение результативности действующей

системы менеджмента качества и ее процессов. Руководителями процессов по картам процессов проводится анализ критериев оценки выполненных работ по достижению поставленных целей и оценивается результативность процесса по утвержденной методике оценки результативности. Определение результативности системы менеджмента качества, действующей на предприятии, проводится в соответствии с методикой количественной оценки результативности и набором критериев, совокупность которых позволяет оценить деятельность в области качества в целом. Одна из главных целей системы качества — предупреждать возникновение возможных дефектов и отклонений от установленных требований и обеспечивать выполнение этих требований. Повышение качества способствует повышению эффективности производства, приводя к снижению производственных издержек и себестоимости продукции, что позволяет увеличить рентабельность продукции. На предприятии регулярно проводится валидация процессов производства, при валидации специалистами подразделений осуществляется мониторинг всех переделов производства огнеупорной продукции, сбор и анализ свидетельств о соответствии процесса производства продукции установленным требованиям. Выполнение решений по результатам валидации находится на постоянном контроле у руководства предприятия.

С 2003 г. предприятие регулярно является лауреатом и дипломантом премии «20 лучших товаров Челябинской области», «100 лучших товаров России» за производство огнеупорной продукции, является дипломантом программы «Российское качество». По результатам третьего международного промышленного форума «Реконструкция промышленных предприятий — прорывные технологии в металлургии и машиностроении» Группа «Магнезит» награждена «За широкий ассортимент, высокое качество продукции и активное ее продвижение на рынке Уральского региона». Продукция Группы «Магнезит» неоднократно протестирована в лабораториях потребителей либо в независимых аккредитованных исследовательских центрах по поручению потребителей, в том числе за пределами СНГ. Результат испытаний положителен.

Опыт Группы «Магнезит» показал, что работающая система менеджмента качества — реальный инструмент непрерывного совершенствования деятельности предприятия. За счет документированности, контроля, анализа и периодического пересмотра ключевых производственных и управленческих процессов в соответствии с требованиями международного стандарта обеспечиваются прозрачность, лучшая управляемость и непрерывное совершенствование деятельности предприятия.

ТК 009 «ОГНЕУПОРЫ». СТАНДАРТИЗАЦИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© И. И. Козелкова

Ассоциация «СПб НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

Технический комитет по стандартизации огнеупоров ТК 009 «Огнеупоры» был создан по приказу Госстандарта в июле 1990 г. На ТК возложены функции межгосударственного технического комитета МТК 009 «Огнеупоры». Он является членом ТК 12 Росстандарта «Методология стандартизации» и входит в состав международного технического комитета в области стандартизации огнеупоров — ТК ИСО 33 «Огнеупоры». В своей работе ТК руководствуется действующим законодательством.

Десять лет назад был принят федеральный закон «О техническом регулировании», который отменил действующий закон «О стандартизации». Отдельные положения ФЗ привели к значительному снижению роли стандартизации. В соответствии с федеральным законом «О техническом регулировании» к документам в области стандартизации относятся национальные стандарты, правила, нормы и рекомендации в области стандартизации, классификаторы, стандарты организаций и предстандарты. Первоначально были распространены в основном межгосударственные стандарты — ГОСТы. После принятия закона «О техническом регулировании» приоритетным направлением стала разработка национальных стандартов ГОСТ Р. В настоящее время в связи с созданием единого экономического пространства Таможенного союза определяющая роль отводится не национальным, а межгосударственным стандартам и стандартам, идентичным или модифицированным с международными стандартами.

До принятия ФЗ продукция поставлялась в соответствии с ГОСТами и ТУ, а стандарты организаций (СТО) / предприятий (СТП) действовали внутри предприятий. Исходя из того, что в перечне документов по стандартизации ТУ отсутствуют, многие предприятия начали разрабатывать для поставок продукции СТО. В этой связи на протяжении 10 лет ведется дискуссия на предмет установления статуса ТУ и области применения СТО и ТУ. В интересах потребителей и государства ввести обязательную экспертизу ТУ на всю выпускаемую продукцию, а также учетную регистрацию ТУ. Ранее все документы, разрабатываемые предприятиями, согласовывались с Всесоюзным институтом огнеупоров. После ликвидации института это практика утрачена. ТК рекомендует предприятиям — разработчикам СТО или ТУ направлять в ТК документы для проведения эксперти-

зы, а потребителям продукции обращать внимание на уровень согласования документа. Это позволит во многих случаях избежать разногласий между изготовителем продукции и потребителем.

Новым видом документа является предварительный национальный стандарт. Основные цели разработки предварительного стандарта — ускоренное внедрения результатов научно-исследовательских работ, предварительная апробация установленных в предстандарте требований и накопление в процессе его применения необходимого опыта, на котором должен базироваться национальный стандарт. В настоящее время ТК представляет проекты стандартов в Росстандарт, готовит предложения об утверждении или отклонении проектов стандартов, предложения к программе национальной стандартизации, проводит экспертизу стандартов организаций, участвует в подготовке предложений к проектам международных стандартов. Кроме того, ТК отвечает за подготовку аутентичных переводов на русский язык международных и региональных стандартов и их представление на регистрацию, осуществляет научно-методическую и практическую помощь предприятиям по применению стандартов и других нормативных документов по стандартизации, оказывает помощь в разрешении споров между потребителем и изготовителем продукции. Восстановлена практика проверок стандартов, срок действия которых превышает 5 лет.

В настоящее время разработка новых и пересмотр действующих стандартов целиком финансируются огнеупорными предприятиями — членами ассоциации «СПб НТЦ». Несмотря на трудности работа по актуализации фонда стандартов проводится, и только благодаря членам ассоциации сохранена стандартизация в области огнеупоров. Однако неучастие в финансировании работ по стандартизации широкого круга предприятий, в том числе потребителей, ограничивает возможности ТК и препятствует созданию конкурентоспособной нормативной базы огнеупоров. Необходимо помнить, что изначальное качество продукции закладывается в стандартах, которые являются гарантом производства качественной продукции.

Vhi — НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР В ОГНЕУПОРНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

© П. Небген, Г. Небген, Т. Клаас, Д. Хенгесбах, к. т. н. Р. Серебрякова

Компания «Vhi GmbH», г. Андернах, Германия

Фирма «Vhi GmbH», Германия, более 25 лет производит и поставляет свою продукцию на мировой рынок огнеупорного строительства — анкерные системы крепления, огнеупорные материалы, сварочные аппараты,

фибру, а также оказывает услуги по проектированию теплотехнического оборудования. В докладе освещаются некоторые аспекты более чем 10-летнего опыта работы с ведущими предприятиями России и Украины.

© И. Г. Очагова

ОАО «Черметинформация», Москва, Россия

Рост мирового производства огнеупоров с 20 млн т в 2000 г. до 40 млн т в 2010 г. был почти полностью обусловлен фантастическим ростом китайской огнеупорной промышленности. Китай — ведущий потребитель и одновременно производитель огнеупоров; в 2009 г. объем производства огнеупоров равнялся 24,54 млн т, а в 2010 г. превысил 28 млн т (28,0806 млн) и увеличился в годовом исчислении на 14,5 %. В 2011 г. произошло замедление темпа роста производства огнеупоров в Китае — общий выпуск огнеупоров увеличился на 5,04 % по сравнению с 2010 г. до 29,5 млн т (точнее, 29,497 млн т). При этом выпуск формованных плотных изделий составил 17,652 млн т (рост на 3,90 %), теплоизоляционных огнеупорных изделий 673,4 тыс. т (рост на 4,57 %) и неформованных огнеупоров 11,171 млн т (рост на 6,93 %).

Развитие мировой огнеупорной отрасли зависит от поставок таких жизненно важных видов минерального сырья, как магнезит и боксит, которые в значительной степени импортируются из Китая. На Всемирном огнеупорном конгрессе UNITECR 2011 (30 октября — 2 ноября 2011 г. в г. Киото, Япония) значительное внимание было уделено Китаю, как основному игроку на рынке огнеупорного сырья. Сообщают о том, что 90 % периклаза в Европе было импортировано из Китая. Отмечено, что 78 % всего добываемого в этой стране огнеупорного сырья идет на экспорт, что приводит к дефициту качественного сырья на внутренних рынках самого Китая и тормозит программы развития этой отрасли внутри страны. В связи с этим следует ожидать еще более строгого контроля над эксплуатацией минеральных ресурсов Китая. В первую очередь это касается боксита: квоты на экспорт снижены с 830 тыс. т в 2011 г. до 700 тыс. т в 2012 г.

В последние 30 лет на фоне быстрого роста экономики Китая огнеупорная промышленность этой страны также вступила в период ускоренного развития и достигла значительных количественных и качественных показателей. Однако китайские огнеупоры в большинстве представляют собой трудоемкие и ресурсоемкие продукты. В нынешней огнеупорной отрасли Китая существует целый ряд проблем, которые препятствуют развитию и сужают перспективы отрасли: малая мощность предприятий и низкая степень концентрации производства (в 2009 г. количество огнеупорных предприятий превышало 2000), избыточные мощности, загрязнение окружающей среды, неупорядоченная

добыча огнеупорного сырья, беспорядочная конкуренция, ведущая к ценовым войнам и низкой рентабельности.

Китай располагает большими запасами огнеупорного сырья и дешевой рабочей силой, что привлекло многие страны и побудило создать в Китае более 100 огнеупорных предприятий в форме совместных или целиком иностранных фирм, на которых организовано производство в соответствии с требованиями зарубежных потребителей. Это помогло Китаю повысить качество продукции и расширить экспорт. Однако некоторые предприятия получили многомиллионную прибыль, пользуясь дешевыми китайскими ресурсами и рабочей силой, но при наступлении кризиса и сокращении рынка объявили о банкротстве. В 2010 г. экспорт огнеупорного сырья и продукции составил 5,6976 млн т и увеличился за год на 68,25 %, в том числе объем экспорта сырья равнялся 3,9048 млн т (рост в годовом исчислении на 101,37 %), а объем экспорта готовой продукции 1,7928 млн т (рост на 23,87 %). В 2011 г. произошло снижение объемов экспорта большинства огнеупорных сырьевых материалов по сравнению с предыдущим 2010 г.

Для поддержания конкурентоспособности на мировом рынке после финансового кризиса Китай должен перестроить свою экономику с учетом ограничения ресурсов, энергии и фактора окружающей среды. С этой целью поставлены следующие задачи:

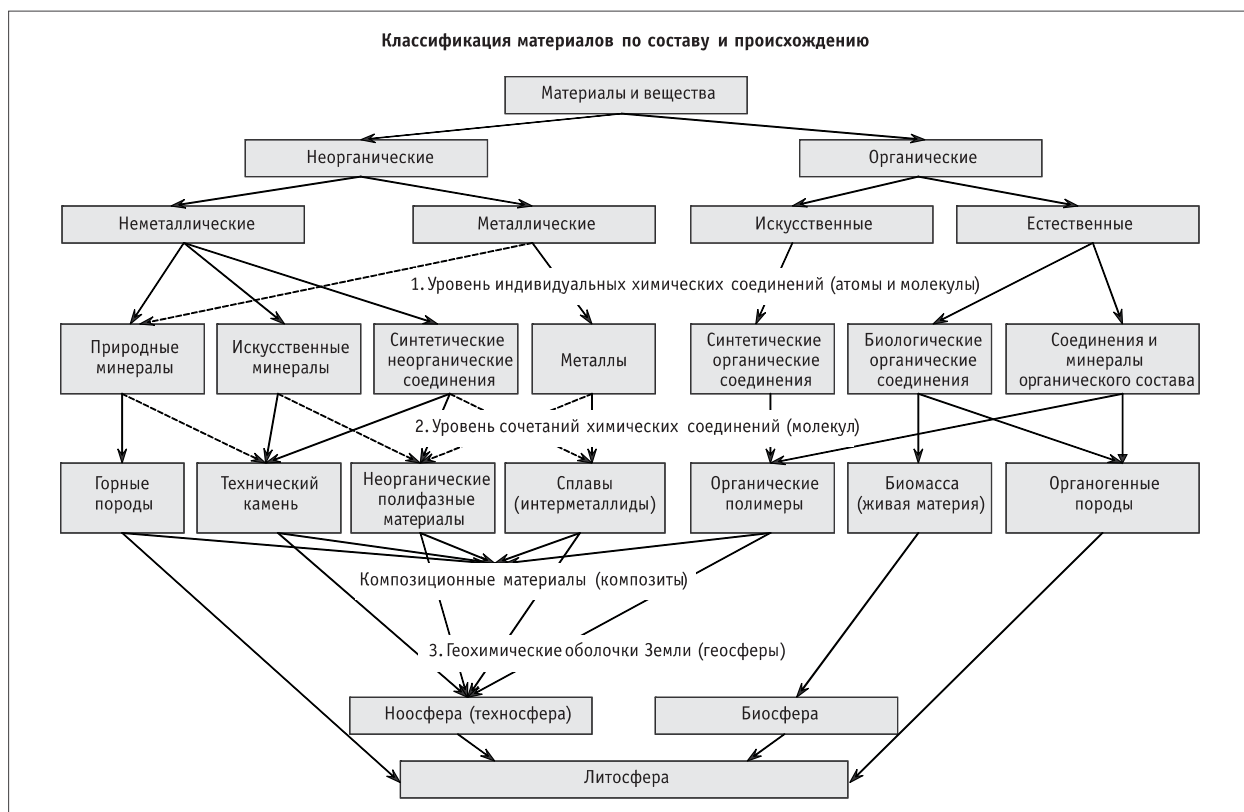
- в полном объеме разрабатывать месторождения и всесторонне использовать огнеупорные сырьевые материалы вследствие нехватки запасов некоторых видов огнеупорного сырья;
- оптимизировать структуру огнеупорной продукции в соответствии с потребностью экономить энергию в энергосодержащих отраслях промышленности и разрабатывать новые энергосберегающие огнеупорные материалы с целью снижения потребления энергии в процессах производства огнеупоров;
- осваивать высокоэффективные бесхромистые огнеупоры и исследовать технологии, позволяющие избежать образования шестивалентного хрома Cr^{6+} для минимизации отрицательного влияния на окружающую среду;
- повторно использовать отслужившие огнеупоры (рециклинг) и снизить потребление минеральных ресурсов, расход энергии и твердые выбросы.

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын

ОАО «ВОСТИО», г. Екатеринбург, Россия

На основании многолетней исследовательской, производственной практики и теоретических обобщений разработан вариант общей классификации всего многообразия твердых материалов по четырем критериям:

вещественному (химическому и фазовому) составу, физико-химическим свойствам, происхождению (естественному или искусственному) и уровню организации вещества в зависимости от масштаба (порядка) атом-



но-молекулярной консолидации. Среди известных в настоящее время нескольких миллионов химических соединений абсолютное большинство (>90 %) относится к органическим веществам, содержащим углерод, химически связанный с другими элементами. В порядке исключения соединения углерода CO и CO₂, карбиды и соли угольной кислоты (карбонаты) принято считать неорганическими соединениями. Однако в количественном соотношении сравнительно малое число химических соединений соответствует понятию материал как исходное вещество (сырьевой компонент) для производства продукции.

Вариант классификации материалов по составу и происхождению на различных уровнях организации вещества показан на схеме (см. рисунок). По химическому составу и определяющим физико-химическим свойствам все материалы подразделяются на две большие группы: неорганические и органические. Первая группа включает неметаллические (минеральные) и металлические материалы, а вторая — искусственные и природные вещества.

Первый, или низший, уровень организации вещества — химические соединения, состав которых может быть выражен простыми химическими формулами в виде атомов и молекул (монофазные материалы). На этом атомно-молекулярном уровне среди неорганических веществ, являющихся основой всех высокотемпературных материалов (огнеупоры, керамика и др.), выделяются три серии: природные минералы, искусственные минералы и синтетические соединения, включающие все неметаллические (минеральные) вещества, металлы и сплавы. Молекулярный уровень органических веществ представляет собой совокупность

синтетических органических соединений, биологического органического вещества и природных минералов органического состава.

Второй, более сложный (средний) уровень организации вещества представлен полифазными сочетаниями веществ (материалов) первого уровня. В неорганической группе к ним относятся все горные породы, руды и технический камень (в частности, большинство огнеупоров и вся керамика), сочетания металлов образуют сплавы. Полифазные комплексы минералов, металлов, сплавов и органических соединений являются композиционными материалами (например, все безобжиговые углеродсодержащие огнеупоры, огнеупорные бетоны, керметы и др.). Искусственное органическое вещество на втором уровне представляет собой многочисленные полимеры и другие органические вещества сложного состава. Биологическое вещество составляет биомассу, а минералы и природные органические вещества составляют органогенные горные породы.

В глобальном масштабе (третий, высший уровень организации вещества) горные породы любого состава составляют земную кору — литосферу, а живая материя образует верхнюю геохимическую оболочку — биосферу. Из синтезированных неорганических соединений, техногенных образований и искусственных органических материалов состоит самостоятельная геохимическая оболочка, называемая техносферой или ноосферой (по В. И. Вернадскому).

Предлагаемая классификация в детализированном виде с учетом специфики более 20 главных свойств веществ и масштабного фактора их консолидации является основой эффективного поиска сырья для синтеза новых композиционных материалов, в том числе огнеупоров и керамики.

СУШКА ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

© Д. А. Тимошенко

ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол Белгородской обл., Россия

Сушка футеровки в последние годы становится неотъемлемой частью процедуры вывода тепловых агрегатов на требуемый температурный режим после капитального строительства или ремонта. От правильного и технически грамотного выполнения сушки значительно зависит стойкость футеровки. К сожалению, многие эксплуатационники недооценивают этот важный этап подготовительной работы. Как известно, сушка — это удаление свободной (физической) и химически связанной влаги из огнеупорного материала. Этот процесс должен быть достаточно медленным, чтобы обеспечить постепенное удаление воды без риска появления трещин и разрушения футеровки. Установление оптимальной программы сушки и нагрева — важная задача, которая должна решаться в сотрудничестве с производителем футеровочных материалов. Длительность сушки и первого прогрева футеровки, как и способ повышения температуры, зависит от ряда факторов: материала (тип футеровочных материалов и их свойства, содержание воды), конструкций (форма и состав футеровки, ее объем и толщина, плотность металлической конструкции печи), теплотехнических особенностей (системы отопления, подачи газа и т. д.). Для достижения положительных результатов все эти факторы должны быть учтены при составлении программы сушки.

Скорость повышения температуры в начальной фазе процесса сушки ограничена низкой пористостью огнеупорных материалов, что препятствует отводу водяного пара. Поэтому процесс прогрева должен предусматривать достаточно длительный период выпаривания и удаления свободной воды, когда прогреваемая сторона футеровки удерживается при температуре 120–150 °С. Ускоренный начальный прогрев футеровки, например у бетонов с плотной структурой, приведет к чрезмерному нарастанию внутреннего давления возникающего пара, что при превышении его значения выше прочности материала вызывает взрывное разрушение и отлущивание бетона. Даже если не дойдет до взрывных разрушений, внутренние трещины значительно снизят прочность и стабильность футеровки и могут стать причиной сокращения срока ее службы.

Поэтому только после окончания фазы сушки можно приступить к дальнейшему повышению температуры; скорость прогрева, однако, должна зависеть от поведения футеровки (разложение гидратов, температурные расширения и т. п.).

Небольшие тепловые агрегаты, сложенные в летний период, сушат и разогревают со скоростью 50, 35 и 25 °С/ч при объеме футеровки соответственно 20, 20–50 и 50–100 м³. Крупногабаритные печи после строительства сушат и разогревают со скоростью 5–10 °С/ч, а после замены футеровки при холодном ремонте — со скоростью 15–25 °С/ч. Продолжительность сушки следует увеличивать до 30 %, если укладка огнеупоров выполнена зимой или при сырой погоде или если очень большая толщина кладки, и, наоборот, несколько уменьшить, если укладка выполнена летом при благоприятных для строительства условиях или если стены печи очень тонкие. Разумеется, каждый случай введения в эксплуатацию новой футеровки может иметь свои особенности и требовать особого подхода. Нельзя установить универсальный график сушки и прогрева.

Компания «НК-Теплохиммонтаж» имеет опыт проведения сушки футеровки тепловых агрегатов в разных отраслях промышленности. Среди наиболее крупных можно выделить следующие работы:

- в металлургии — сушка риформера, шахтной печи и дымоходов завода ГБЖ-2 ОАО «ЛебГОК» (г. Губкин Белгородской обл.);
- в химической промышленности — сушка установок первичного, вторичного риформинга и пароперегревателя комплекса по производству метанола ОАО «Щекиноазот» (г. Щекино Тульской обл.);
- в цементной промышленности — сушка футеровки холодильника клинкера в ЗАО «Липецкцемент»; сушка футеровки холодильника клинкера, циклонов теплообменника, декарбонизатора, газохода третичного воздуха и головки печи обжига цемента в ООО «Цемент» (г. Сланцы Ленинградской обл.), ОАО «Верхнебаканский цементный завод» (г. Новороссийск), ЗАО «Подгоренский цементный завод» (Воронежская обл.).

ФУТЕРОВКА КОНВЕРТЕРА И КОМПЛЕКС МЕР УХОДА ЗА НЕЙ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ

© М. Ю. Турчин

ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Одной из важнейших стратегий развития конвертерного производства было и остается достижение высокой стойкости футеровки агрегата, что ведет к снижению удельных затрат и повышает производительность цеха в целом. Последнее десятилетие развитие конвертерного производства характеризуется значительным повышением стойкости футеровки конвертеров. Как показывает опыт, проблема повышения стойкости футеровки конвертера может быть решена лишь при комплексном подходе, учитывающем основные факторы:

- качество используемых изделий для футеровки конвертера;
- оптимальную схему кладки;
- технологические параметры ведения плавки;
- способы ухода за футеровкой в течение кампании.

Качество используемых изделий для футеровки конвертера

Группа «Магнезит» на протяжении многих лет является одним из основных поставщиков комплекса огнеупорных материалов для футеровки конвертеров — это пе-

риклазовые изделия для арматурного слоя футеровки, периклазоуглеродистые изделия для рабочего слоя и комплекс масс и порошков.

Оптимальная схема кладки

В начале работы по повышению стойкости футеровки конвертеров (2001 г.) основной упор делался на обеспечение равномерности всех зон футеровки за счет использования дифференцированной схемы кладки. Такая футеровка включала усиления за счет применения более качественных периклазоуглеродистых изделий в зонах, подверженных интенсивному износу. За счет этого удалось повысить стойкость футеровки конвертеров до 2–3 тыс. плавов.

Технологические параметры ведения плавки

Достиженные показатели стойкости зависят также от эффективности применяемого технологического процесса. Чрезмерная окисленность шлака, додувки плавов, повышенная температура слива металла и т. д. оказывают непосредственное влияние на стойкость футеровки. Определенную роль в повышении стойкости играет уменьшение числа додувок плавов; вторичные продувки ведут к увеличению содержания FeO в шлаке, длительности плавки и соответственно к снижению производительности агрегата.

Способы ухода за футеровкой в течение кампании

Стойкость футеровки определяется стойкостью участков повышенного износа, поэтому для ее поддержания в течение всей кампании конвертера осуществляют операции подваривания и торкретирования; наводят шлаковый гарнизаж.

Флюсы на плавку и раздув конечного шлака. Данная технология является наиболее эффективным методом поддержания конвертера в рабочем состоянии и активно используется по настоящее время на всех конвертерных предприятиях России. Группой «Магнезит» разработаны и внедрены в производство порядка 10 разновидностей магнезиальных материалов — это

флюсы, брикеты, гранулы, используемые для модификации шлака, для замедления массопереноса MgO из периклазоуглеродистой футеровки в шлак по ходу плавки и для подготовки шлака перед нанесением на футеровку конвертера.

Подварка брикетом. Для подварки футеровки наиболее изнашиваемых зон Группой «Магнезит» разработаны брикеты периклазового и периклазоуглеродистого составов с введением в состав брикетов компонентов, ускоряющих процесс спекания, сокращая тем самым время, затраченное на проведение ремонтных операций.

Подварка саморастекающимися смесями. Саморастекающиеся огнеупорные смеси, обладающие оптимальным временем отвердевания, дают возможность локального ремонта зоны загрузки, слива и дна.

Торкретирование. Если ремонт путем подваривания невозможен (в частности, зоны цапф горловины), то производится торкретирование. Для ремонта локальных участков футеровки разработан ряд высокотехнологичных торкрет-масс периклазового и периклазоуглеродистого составов на основе периклазовых спеченных и плавленых порошков с добавлением минеральных и органических компонентов.

Леточный узел. Стойкость леточного узла также влияет на стойкость всей футеровки конвертера и его производительность. На предприятиях Группы «Магнезит» существует возможность изготовления любых конструкций леточных узлов, отвечающих запросам потребителя.

Комплексная работа огнеупорщиков и металлургов за последнее десятилетие позволила в значительной степени повысить эффективность работы конвертеров с помощью внедрения вышеперечисленных мер. Между тем существует резерв в достижении оптимальной стойкости футеровки — это прогнозирование и систематизация ремонта рабочего слоя футеровки непосредственно в ходе эксплуатации в совокупности с повышением качества применяемых огнеупоров.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРУППА «МАГНЕЗИТ» ПРОЕКТИРУЕТ И ВЫПОЛНЯЕТ ФУТЕРОВКУ МЕТОДИЧЕСКИХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

© М. Ю. Турчин¹, С. В. Долгих²

¹ ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

² ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

Растущие требования к качеству готового проката диктуют жесткие условия к технологии прокатного производства, что, в свою очередь, ужесточает требования к равномерности нагрева металла как перед прокаткой, так и в процессе последующей термообработки готового продукта. Все большее значение приобретают вопросы оптимизации энергетических затрат. Группа «Магнезит» приняла решение активно участвовать в этой деятельности на территории России и СНГ; для этого сегодня имеются отличные перспективы с учетом технических, сервисных и производственных возможностей предприятия. Изначально работа была построена на изучении уникального опыта ведущих мировых компаний по данному направлению, поэтому в качестве стратегического партнера в проектах модернизации

печей прокатного производства и машиностроения была выбрана западноевропейская огнеупорная компания RATH. Эта компания, являясь лидером в производстве качественных высокотемпературных теплоизоляционных материалов, имеет большой опыт в реконструкции шамотной футеровки прокатных печей, построенных еще по советским проектам в Восточной Европе, а также в разработке новых агрегатов прокатного производства.

В 2012 г. между Группой «Магнезит» и фирмой RATH AG, Германия, было заключено стратегическое соглашение. В рамках этого соглашения Группа «Магнезит» берет на себя ответственность за выполнение проектной документации специалистами инжиниринга при участии специалистов фирмы RATH и осуществле-

ние комплексной поставки материалов и услуг в выполнении футеровочных работ и несет по ним гарантийные обязательства. С 2012 г. Группа «Магнезит» является членом НП «СПО СПО Южного Урала». Членство в этой организации дает ей право осуществлять лицензированную проектную деятельность при подготовке конструктивных решений в области работ, которые влияют на безопасность объектов капитального строительства, к которым, безусловно, относятся все тепловые агрегаты прокатного производства. Компания RATH AG, имея передовой опыт в подобных проектах, а также уникальные решения в части огнеупорных материалов, берет на себя авторский надзор на стадии реализации проектов. При этом для удешевления проектов осуществляется частичная замена огнеупорной продукции RATH на огнеупорную продукцию Группы

«Магнезит»; не исключено также применение высококачественных огнеупорных материалов иных предприятий любых государств. Некоторые виды огнеупорных изделий (сводовые или подовые блоки, блоки для изоляции глиссажных труб и т. п.) будут изготавливаться из огнеупорных материалов фирмы RATH на производственных мощностях Группы «Магнезит» под контролем специалистов RATH.

Именно такая форма организации сотрудничества, где, с одной стороны, самые передовые технические решения мирового уровня, а с другой — оптимизация стоимости проектов за счет широкого использования ресурсов российских предприятий, позволит наиболее полно и эффективно участвовать как в реконструкции действующих тепловых агрегатов прокатного производства, так и в строительстве новых.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНЕЗИТОВОГО ЗАБАЛАНСОВОГО СЫРЬЯ

© А. П. Баранов¹, к. т. н. М. И. Назмиев¹, В. Н. Котровский¹, А. И. Урванцев², И. А. Урванцев²

¹ ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

² ООО «Русская Корона», г. Екатеринбург, Россия

Современное производство может быть максимально эффективным только при использовании энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий. В условиях деятельности Группы «Магнезит» при проведении горных работ ресурсосберегающие технологии выходят на первый план. В процессе подготовки карьерной магнетитовой массы к обогащению в тяжелых суспензиях из нее высевают мелкую фракцию (<8 мм). Зерновой и химический составы высевок нестабильны: среднее содержание SiO₂ и CaO составляет соответственно 1,84 и 3,14 %, а текущие значения каждого из этих показателей изменяются от 0,3–0,5 до 13,4–13,8 %. Горная масса такого качества остается невостребованной, поэтому ее складывают на отдельных внешних складах.

В 2012 г. Группой «Магнезит» совместно с ООО «Русская Корона» разработана технология обогащения сырого магнетита фракции мельче 8 мм. В основу разработанной технологии положен метод сухого обогащения полезных ископаемых с использованием пневмоэлектрической сепарации. В качестве основного оборудования предложены пневмоэлектрические сепараторы компании «Русская Корона». Исходным материалом являлись отсевики фракции мельче 8 мм, измельченные до крупности 0,040–0,315 мм с содержанием SiO₂ 2–4 % и CaO 4–5 %. Новая технология позволяет получить концентрат с выходом около 55 %

и содержанием SiO₂ 0,41 % и CaO 1,82 %. Проектная производительность технологического потока — 100 тыс. т обогащенного концентрата. Удельный расход исходного сырья (отсевок) на 1 т концентрата не превышает примерно 2,15. Комбинируя число ступеней электросепарации, можно достичь примерно 23 % выхода концентрата с содержанием SiO₂ 0,30 % и CaO 1,27 %. При этом удельный расход исходного материала будет более 4.

Достоинством новой технологии является низкая энергоемкость, в первую очередь за счет отсутствия использования воды или водных растворов. Концентрат пневмоэлектрической сепарации состоит из зерен фракции мельче 0,315 мм с развитой поверхностью. Это позволяет использовать в технологии обжига многоподовые печи, печи со взвешенным слоем, а также вихревой кальцинатор, процесс кальцинации в котором по сравнению с вращающейся печью ускоряется на 2–3 порядка, а тепло отходящих газов используется для подогрева материала, поступающего на кальцинацию. Новая разработка повышает перспективы реализации принципов безотходной технологии, поскольку остальные продукты пневмоэлектрической сепарации (полупродукт и хвосты) после проведения дополнительных работ можно будет использовать в производстве различной продукции.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕКОВ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ СМОЛ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГРАФИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

© Д. т. н. Н. Ю. Бейлина, Н. В. Липкина, А. В. Петров

ОАО «НИИГрафит», Москва, Россия

Технологические аспекты получения конструкционных графитов и углерод-углеродных композиционных материалов во многом определяются технологией и каче-

ством исходных сырьевых материалов. В качестве сырья для производства большинства марок конструкционных графитов используют каменноугольные пеки с

температурой размягчения в интервалах 65–85 и 135–150 °С. Высокотемпературный каменноугольный пек с температурой размягчения 135–150 °С и выше используют также для получения пекового кокса. Пековый кокс, который ранее применяли при производстве анодных и металлургических масс, сегодня все чаще используется при производстве конструкционных графитов в связи с прекращением выпуска нефтяного специального пиролизного кокса КНПС. Показано, что на основе этого наполнителя можно получать материалы с повышенной эксплуатационной стойкостью на уровне лучших отечественных и мировых образцов. Он отличается от выпускаемых отечественной промышленностью нефтяных коксов низкой зольностью и пониженным содержанием серы (в 3–6 раз), имеет высокую структурную прочность и изотропную структуру.

При технологических испытаниях промышленных пековых коксов различных производителей — ОАО

«Северсталь», ОАО «Мечел-кокс», а также опытных образцов коксов из пеков производства ОАО ММК, ОАО НТМК установлено, что режимы и способы получения пеков влияют на качество (структуру и свойства) получаемых из них коксов. На качество (структуру, плотность, прочность, теплофизические свойства) графита из этих коксов влияет также и степень прокаливания пековых коксов, которая определяет структурные изменения (усадки) коксопековой композиции как в процессе обжига до 1300 °С, так и при графитизации до 2800 °С коксопековых композиций при получении искусственных графитов. Показано, что в условиях прекращения производства пекового кокса в ОАО «Северсталь» наиболее предпочтительным сырьем для конструкционных графитов становятся пековый кокс и высокотемпературный пек производства челябинского ООО «Мечел-Кокс».

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ КРЕМНЕЗЕМИСТОГО СЫРЬЯ НА ТВЕРДОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ ВОЛЛАСТОНИТА

© Д. т. н. **Т. В. Вакалова**, д. т. н. **Н. С. Крашенинникова**, **Н. П. Карионова**, **Н. К. Абилябаева**
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
г. Томск, Россия

В связи с возрастающими требованиями к эксплуатационным свойствам современных керамических материалов особое внимание привлекает к себе волластонитовая керамика благодаря ее высокой прочности, низкой теплопроводности и несмачиваемости в алюминиевых расплавах. Эти показатели имеют большое значение при производстве теплоизоляционной керамики для футеровки литейной оснастки и тепловых насадок в металлургии, в автомобильной промышленности и др.

Накопленный практический опыт твердофазного синтеза волластонита свидетельствует о лимитирующем действии природы кремнеземистого сырья на синтез волластонита из оксидов, в частности его природы, минерального состава и степени дефектности структуры. Выявлено, что наибольшую активность в процессе волластонитообразования проявляет аморфный кремнезем независимо от природы кальцийсодержащего компонента. В данной работе в качестве кремнеземсодержащего компонента шихты для синтеза волластонита по керамической технологии опробовали аморфный тонкодисперсный кремнезем в виде технического продукта — микрокремнезема (отхода производства кристаллического кремния и ферросилиция Новокузнецкого завода ферросплавов). Этот материал был выбран ввиду его повышенной реакционной способности за счет особенностей структурно-фазового состава (рентгеноаморфного состояния и высокой дисперсности частиц размерами 0,3–0,5 мкм, агрегированных в скопления до 10–30 мкм). В качестве природного кальцийсодержащего сырья использовали известняк Каменского месторождения (Томская обл.) и мел Белгородского месторождения. Разработку составов шихт для синтеза волластонита на основе исследуемого природного и техногенного сырья проводили с учетом стехиометрического состава волластонита — 48,3 мас. % CaO и 51,7 мас. % SiO₂. Кальцийсодержащий сырьевой компонент (мел, известняк) измельчали сухим способом в шаровой мельнице до полного прохода через сетку № 0063, а микрокремнезем использовали с исход-

ным зерновым составом. Измельчение карбонатной добавки (мела и известняка) до размера частиц менее 0,063 мм необходимо для создания однородного тонкодисперсного компонента, обладающего повышенной дефектностью структуры и развитой поверхностью контакта с частицами микрокремнезема, что в совокупности обеспечивает максимальную полноту протекания процессов синтеза волластонита за счет увеличения скорости и интенсивности реакций в твердой фазе.

Гомогенизацию сырьевой смеси осуществляли путем добавления микрокремнезема к тонкоизмельченному кальцийсодержащему компоненту в шаровую мельницу при дополнительном перемешивании смеси в течение не менее 0,5 ч. Пластификацию проводили путем введения в смесь органического связующего (1,5 %-ного раствора метилцеллюлозы или 10 %-ного раствора лигносульфоната кальция) в количестве, обеспечивающем влажность шихты 6–8 %. Пластифицированную шихту уплотняли полусухим прессованием под давлением 20–25 МПа, обеспечивающим максимальную степень уплотнения шихты, которую оценивали по кажущейся плотности сырца.

Поскольку известно, что разложение кальцита в известняке и меле начинается при температуре не ниже 950 °С, брикетированную шихту обжигали при 1000–1050 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Снижение температуры обжига ниже 1000 °С не обеспечивает полноты протекания процесса синтеза волластонита. Обжиг при температурах выше 1050 °С нецелесообразен ввиду незначительного увеличения выхода целевого продукта.

Установлено, что использование аморфного тонкодисперсного кремнезема в виде микрокремнезема, обладающего повышенной реакционной способностью, в совокупности с оптимальными технологическими режимами процесса способствует активации твердофазного синтеза волластонита и обеспечивает его выход до 90–92 мас. %.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ
НА ОСНОВЕ ОГНЕУПОРНОГО ГЛИНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

© Д. Т. Н. Т. В. Вакалова, д. т. н. Н. С. Крашенинникова, к. т. н. А. А. Решетова,
Л. П. Говорова, А. Ю. Токарева
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
г. Томск, Россия

В Урало-Сибирском регионе сосредоточены крупные месторождения достаточно качественного огнеупорного глинистого сырья, которое может быть использовано в производстве плотноспеченных алюмосиликатных керамических материалов (керамических пропантов, кислотостойкой керамики, сухих барьерных смесей для алюминиевых электролизеров и т. д.), формирование эксплуатационных свойств которых предопределяет правильный подбор сырьевых компонентов, рецептуры масс и технологических особенностей процесса получения готового продукта. Одной из проблем, возникающих при получении плотноспеченной алюмосиликатной керамики, является необходимость интенсификации процессов синтеза и спекания муллита.

С этой целью в данной работе опробовали в качестве основного глиносодержащего сырья продукты обогащения отечественных каолинов месторождения Журавлиный Лог (Челябинская обл.), Кампановского месторождения (Красноярский край), а также каолина-сырца и глинистого боксита Гавриловского участка Барзасского месторождения (Кемеровская обл.). В качестве добавок, регулирующих свойства алюмосиликатных масс и изделий, были опробованы природные алюмосиликатные компоненты (гавриловский глинистый боксит, диабазовый порфирит Васильевского месторождения Кемеровской обл.) и техногенные высокоглиноземистые (технический глинозем), а также оксидные минерализующие добавки.

Установлено, что использование высокожелезистого (Fe_2O_3 16–17 %) глинистого боксита в количестве 20–30 мас. % интенсифицирует процесс спекания каолина в 2 раза, обеспечивая при 1400 °С улучшение прочностных характеристик в 1,5 раза. Добавка диабазового порфирита в огнеупорное глинистое сырье в количестве 10–30 мас. % оказывает спекающе-упрочняющее действие за счет образования силикатного расплава, обеспечивая повышение прочности материала в 1,5–2,0 раза при температуре обжига 1350 °С. Использование комплексной добавки в виде смеси диабазовой породы (10–20 %) с пиритными огарками (5 % сверх 100 %) резко активизирует процесс спекания као-

лина в интервале 1350–1450 °С за счет изменения реологических свойств и повышения реакционной способности железисто-силикатного расплава, приводя к расплавлению каолино-диабазовых композиций при температуре обжига 1450 °С.

При использовании оксидных добавок выявлено, что эффективность действия добавок оксидов 3d-переходных элементов, образующих дефектные твердые растворы с муллитом (Fe_2O_3 и MnO_2), и добавок оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов, регулирующих реологические свойства силикатных расплавов (Na_2O и CaO), на процесс уплотнения и упрочнения каолина определяется температурой обжига композиций из глинистого сырья. По эффективности влияния на спекание алюмосиликатной керамики в интервале 1400–1450 °С выбранные добавки можно расположить в следующий ряд: $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{MnO}_2 > \text{Na}_2\text{O} > \text{CaO}$. Активирующее действие добавок оксидов железа количестве 2–11 мас. % на спекание огнеупорного глинистого сырья заключается в образовании как дефектных твердых растворов с муллитом, так и легкоплавких эвтектик, обеспечивающих снижение температуры спекания каолина на 100–150 °С.

Для количественной оценки активности действия минерализаторов на процесс упрочнения каолина при различной температуре его предварительной термообработки и спекающего обжига предложен коэффициент термической активности минерализатора. По характеру действия добавок на процесс спекания и активность действия минерализатора предложен ряд термической активности для каждой группы минерализаторов в зависимости от температурных условий ведения процесса.

Полученные данные позволили определиться с оптимальными условиями проведения процесса активации спекания каолина для каждого вида минерализующей добавки.

* * *

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФЗ «Наука» 3.3055.2011и.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ФУТЕРОВОЧНЫХ МАСС
НА ОСНОВЕ КАРЕЛЬСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

© К. т. н. А. С. Завёрткин
ФГБУН «Институт геологии КарНЦ РАН», г. Петрозаводск, Россия

На основе системного анализа выделены некоторые перспективные месторождения карельского сырья для футеровочных масс. К ним относятся кварциты, жильный кварц, шунгитосодержащие и талькохлоритовые сланцы. Пригодность сырья отдельных месторождений опреде-

лялась при проведении лабораторных исследований, промышленных испытаниях с последующим внедрением в производство разработанных технологий. По некоторым видам сырья сделаны эмпирические предложения с использованием сравнительных характеристик.

Для изготовления футеровки, огнеупорного бетона, кирпича, плит, теплоизоляционных засыпок могут быть использованы такие магнезиальные породы Карелии, как талькохлорит, талькомагнезит и талькокарбонат после обогащения с введением в их состав тугоплавких дисперсных минеральных компонентов: шамота, технического глинозема, периклаза. Глиноземистая футеровка применяется в виде пластичных футеровочных масс и требует длительной сушки. Она широко применяется в канальных индукционных печах, где требуется высокая продолжительность службы футеровки за кампанию печи. Для высокоглиноземистой футеровки индукционных тигельных печей и получения огнеупорных бетонов может быть использован кианитовый концентрат, получаемый при обогащении кианитового сырья Хизоваарского месторождения Республики Карелия и Кейвского месторождения, расположенного на Кольском полуострове. Кислая футеровка обычно выполняется из кварцевого песка или кварцита, она дешевле магнезитовой и глиноземистой, а усадка кислой футеровки компенсируется ростом при аллотропическом превращении кварца. Футеровка из кварцитов месторождения Метчангъярви с содержанием кремнезема выше 97,5 % имеет высокую износостойчивость. Для футеровки индукционных печей могут использо-

ваться также кварциты Шокшинского месторождения, чупинский жильный кварц и кварцевые пески.

При разработке технологических процессов получения заданных свойств футеровочных материалов необходимо:

1. Проводить обогащение сырья, его измельчение, подбирать оптимальные вещественный и зерновой составы.

2. В процессе смешивания вводить в состав футеровочной массы минерализующие и тугоплавкие компоненты, а также отходы производства с целью их утилизации.

3. Вышеуказанные мероприятия повышают эффективность применения местного и техногенного сырья, увеличивают продолжительность службы футеровки тепловых агрегатов и способствуют внедрению ресурсосберегающих технологий.

4. Для экономии сырья и утилизации отходов производства необходимо шире (в Российской Федерации) использовать в производстве огнеупорных материалов отходы металлургической и горнодобывающей промышленности. Следует отметить, что при выборе связующих добавок снижение инфильтрации металла и шлака в стенку тигля наблюдалось при наличии в составе футеровочной массы CaF_2 и фосфатного связующего.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРИМЕНЕНИЕ КВАРЦЕВЫХ И КВАРЦ-ПОЛЕВОШПАТОВЫХ ПЕСКОВ ДЛЯ ПЕСЧАНО-ЦЕМЕНТНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТЛИВОК СУШИЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

© К. Т. Н. А. С. Завёрткин

ФГБУН «Институт геологии КарНЦ РАН», г. Петрозаводск, Россия

В связи с повышением требований к качеству литейной проблемы обеспечения литейного производства высококачественными песками остается актуальной. Литейный завод АО «Петрозаводскмаш» испытывает недостаток в песках зернистостью 0,6–0,8 мм для получения сушильных цилиндров. Для решения этой проблемы завод использовал формовочный песок из Финляндии (фирмы «Валмет»), а также с Гусаровского месторождения, затрачивая средства на его транспортировку. Из песков готовили стержневые песчано-цементные смеси. Цель настоящей работы — выявление возможности замены импортного и привозного песка карельским.

На Литейном заводе АО «Петрозаводскмаш» были изготовлены формы и стержни из исследуемых песков и портландцемента. Были подобраны составы, определены физико-керамические свойства смеси. Формы и стержни сушили, покрывали противопожарными покрытиями на основе пасты ГБ с добавками, улучшающими свойства покрытий, заливали чугуном, выплавленным в лабораторной индукционной печи ИСТ-0,06

при 1330–1360 °С. Затем стержни и отливки осматривали, оценивали их качество, чистоту поверхности (наличие пригара). Из девяти проб карельского песка были получены отливки с чистой поверхностью без пригара. При производственных испытаниях песка были изготовлены стержни для получения отливок массой 1,5 т, заливка которых металлом дала положительные результаты.

В производственных условиях металл плавил в 8- и 25-т индукционных печах шведской фирмы ASEA, заливку металла производили при 1345–1350 °С, длительность заливки-отливки сушильных цилиндров 45–55 с, время от начала модифицирования до заливки металла в форму не более 17 мин.

Результаты исследования показали возможность применения карельского песка в качестве формовочного материала, в том числе сушильных цилиндров, при проведении предварительной регенерации-удаления излишнего количества глинистой составляющей до 0,5–0,6 мас. %.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ БРИКЕТОВ

© А. А. Кийк¹, С. В. Маркова², И. В. Кормина², Ж. С. Маркова²¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия² ООО «Полипласт Новомосковский», г. Новомосковск Тульской области, Россия

В связи с истощением природных ресурсов в металлургии все чаще используют тонкоизмельченные концентраты и продукты предстоящих переделов. Однако та-

кая тенденция удешевления производства отрицательно сказывается на технологических и экологических аспектах металлургического производства. Это прояв-

ляется в ухудшении хода шахтных агрегатов в силу слабой фильтрации газов в слое и повышенного выноса материала с пылевым потоком. В результате этого переработка тонкодисперсных материалов приводит к снижению производительности печей и ухудшению качества спекаемого продукта.

Для достижения высоких технико-экономических показателей в слоевом процессе необходимо применять сырье с однородным гранулометрическим составом и соответствующей механической прочностью. Технология брикетирования как способ упрочнения мелкодисперсных твердых материалов с применением связующих компонентов известна с первой половины XIX века и по настоящее время остается, наряду с агломерацией и окатыванием, основным методом окучкования. Традиционно используемые связующие для брикетирования (природные алюмосиликатные материалы, техногенные отходы целлюлозно-бумажного, пищевого, нефтехимического и других производств) характеризуются повышенным расходом — более 12 %. Брикеты, как правило, требуют термообработки после формования, имеют длительный период упрочнения, содержат значительное количество оборотного продукта (>30 %) из-за низкой механической прочности, что усложняет их транспортировку и дальнейшее применение. Поэтому сейчас представляют интерес связующие добавки с высокой формовочной способностью, которая обеспечивает улучшение однородности микроструктуры брикета за счет эффективности распределения мелких частиц и заполнителей, соответственно, выравнивание давления формования, повышение прочности и улучшение характеристик продукта.

Высокотехнологичные органические водорастворимые полимеры нового поколения серии Термопласт СВ производства компании «Полипласт Новомосковск» позволяют реализовать вышеуказанные требования к брикетированию. Данные полимеры-связующие представляют собой комплексы поверхностно-активных ве-

ществ направленного синтеза на основе модифицированных полиметиленафталинсульфонатов. Поверхностная активность, а соответственно, и смачиваемость обеспечиваются за счет образования длинноцепочечных анионов в процессе диссоциирования полярных групп в водном растворе. Связующее Термопласт СВ применяется при брикетировании различного минерального сырья для огнеупорной и металлургической промышленности: отсевов каменного угля и кокса, металлизированной окалины и ферросплавов, хромового и медного концентратов, шлаков цветной металлургии, периклаза и др. Подбор наиболее подходящего связующего для соответствующей технологии формования производится с учетом индивидуальных особенностей брикетировочного материала на базе научно-технического центра в лабораториях компании «Полипласт Новомосковск».

На основании рекомендаций лабораторных исследований проводятся промышленные испытания для установления рациональных параметров брикетирования. Связующие Термопласт СВ прошли опытно-промышленные испытания на технологических линиях ОА «ТНК «Казхром» (г. Хромтау, Республика Казахстан) при брикетировании хромовой руды, ОАО «Комбинат «Южуралникель» (г. Орск) при формовании коксового отсева. В ООО «Гипроникель» (Санкт-Петербург) прошли пилотные испытания связующего для брикетирования медно-никелевого концентрата. Связующее Термопласт 1СВ эффективно применяется в ОАО «Комбинат «Магнезит» при производстве периклазового брикета.

По результатам промышленных испытаний связующие серии Термопласт СВ получили положительные рекомендации к внедрению в производство для брикетирования, что подтверждает эффективность применения полимерного связующего в производстве металлургических брикетов за счет расширения сырьевой базы, повышения качества и стабильности выпускаемой продукции.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПЕРЕРАБОТКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА

© М. А. Михеенков

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Переработка металлургических шлаков с высоким содержанием оксидов железа в минеральные вяжущие вещества, особенно в портландцемент, затруднена вследствие низкой гидравлической активности ферритов кальция. Результаты ряда исследований свидетельствуют о возможности повышения гидравлической активности ферритов кальция за счет сульфатирования, формирования в вяжущей системе ферритов бария или значительного количества браунмиллерита C_4AF (цемент Феррари). Однако все эти цементы имеют узкоспециализированную сферу применения. Наиболее широко шлаки с высоким содержанием оксидов железа используются в качестве железосодержащей добавки в количестве от 2,0 до 5,0 % при производстве общестроительного портландцемента. Шлаки медеплавильного производства содержат значительное количество

оксидов железа (до 70 %), однако обогащение этих шлаков по оксиду железа затруднено вследствие того, что большая их часть связана в фаялит и до 80 % находится в стеклофазе. Переработка шлаков также затруднена из-за присутствия в них мышьяка, сульфидов меди и цинка.

Предложена комплексная переработка медного шлака, включающая гидрометаллургическое извлечение цветных металлов и мышьяка, восстановительный обжиг хвостов обогащения, разделение продуктов обжига на силикатный и железный концентрат с прокаливанием силикатного концентрата до получения минерального вяжущего вещества. Особенность восстановительного обжига заключается в введении в сырьевую смесь вместе с восстановителем карбоната кальция в количестве, необходимом для формирова-



ПОЛИПЛАСТ®

ИДЕЯ. КАЧЕСТВО. МАТЕРИЯ

Технологические добавки для огнеупорных изделий



РЕКЛАМА

серии **ТЕРМОПЛАСТ**

- обеспечивают высокую плотность огнеупора
- улучшают однородность микроструктуры, реологические и механические свойства
- улучшают формовочную способность
- обеспечивают возможность использования дополнительных цементирующих материалов
- позволяют использовать отечественное сырьё

ООО "Полипласт Новомосковск"

301661, Тульская область, г. Новомосковск,
ул. Комсомольское шоссе, д. 72
Тел./факс: (48762) 2-09-90
e-mail: sekretar@polyplast-nm.ru
www.polyplast-un.ru



ния при обжиге минералов портландцементного клинкера. При обжиге создаются благоприятные термодинамические условия для разрушения фаялита и стеклофазы, формирования кристаллических фаз клинкера и восстановления оксидов железа. В процессе восстановления изменяются плотность и ферромагнитные свойства оксидов железа и создаются благоприятные условия для разделения силикатного и железосодер-

жащего концентрата. На основе силикатного концентрата получен портландцементный и белитовый клинкер для приготовления общестроительного и тампонажного цемента. С помощью подобной безотходной переработки концентрируется для захоронения мышьяк и получают ценные продукты — цветные металлы, железосодержащий концентрат и минеральные вяжущие вещества.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

МИКРОКРЕМНЕЗЕМ — ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ТЕХНОГЕННОЕ МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын¹, М. Н. Дунаева¹, К. А. Максун¹, В. Ю. Царёв²

¹ ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

² ООО «Кефрон», г. Екатеринбург, Россия

Приведены результаты комплексного материаловедения техногенного микрокремнезема, образующегося в качестве побочного продукта при электротермическом производстве кристаллического кремния. Исходный продукт представляет собой гранулированный порошок с размером округлых частиц менее 1,5 мм; преобладает фракция 0,09–1,00 мм (>75 %). Фазовый состав представлен в основном высококремнеземистым стеклом (90–92 %). Примесями являются аморфный углерод, кремний Si_{крст} и карбид кремния — α- и β-SiC (8–10 %).

Для изучения поведения при нагревании, определения вещественного состава, микроструктуры, физико-химических свойств и областей применения исследован материал до и после обжига в окислительной среде при 1400 °С с выдержкой 5 и 15 ч. Установлено, что в обожженном продукте произошли почти полное превращение высококремнеземистого стекла в кристобалит (60–65 %) и тридимит (25–27 %), выгорание аморфного углерода и незначительное окисление Si_{крст} и SiC. При этом открытая пористость крупной фракции (0,5–1,5 мм) увеличилась от 18,4 до 38,0 %. Огнеупорность обожженного материала 1630–1650 °С. Исходный продукт имеет низкую механическую прочность, частицы всех размеров легко измельчаются в дисперсный порошок фракции мельче 0,063 мм. После термообработки механическая прочность частиц возрастает в 15–20 раз. Особенностью микроструктуры всех фракций гранул является сфероидальная и в меньшей мере эллипсоидальная, т.е. исходная форма гранул сохраняется и после обжига во всем интервале

температур от 20 до 1400 °С. Обожженные гранулы имеют различную макро- и микроструктуру. В зависимости от внутреннего строения выделяются следующие разновидности: относительно монолитные с внутренними микровключениями в центре, относительно монолитные без микровключений и пустотелые с центральной полостью (циноферы). Насыпная и истинная плотность гранул 0,39–0,63 и 2,13–2,18 г/см³ соответственно; имеется тенденция к увеличению плотности наиболее мелких фракций.

В отличие от чистого синтетического микрокремнезема техногенный продукт после обжига представлен немоминеральным кристобалитом, а его фазовый состав полиминеральный, во многом аналогичен динасу (тридимит, кристобалит, остаточная стеклофаза). Специфическое высокотемпературное поведение, вещественный состав и свойства позволяют считать техногенный микрокремнезем перспективным вторичным минеральным сырьем для различных видов огнеупорной и керамической продукции: в виде добавки в огнеупорные бетоны различного состава и в теплоизоляционные изделия с температурой службы до 1400–1500 °С; керамических пропантов; фильтрующей керамики; наполнителей эластомеров; теплоизоляционных засыпок; компонентов глазурей, эмалей, флюсов, шлакообразующих смесей и других композитных материалов. Техногенный микрокремнезем является сравнительно дешевым и доступным минеральным сырьем полифункционального применения. Исследования по рациональному использованию этого сырья продолжаются.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ТЕХНОГЕННЫЙ МАТЕРИАЛ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОМОЛИБДЕНА

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын, д. э. н. В. М. Рывин, А. В. Хватов, к. т. н. В. А. Абызов, к. т. н. А. Н. Абызов

ООО «Ключевская обогатительная фабрика», пос. Двуреченск Свердловской обл., Россия

В 2012 г. впервые в практике ОАО «Ключевский завод ферросплавов» (ОАО КЗФ) осуществлена промышленная выплавка ферромолибдена алюминотермическим способом. Вещественный состав и микроструктура нового техногенного минерального продукта — шлака от выплавки ферромолибдена алюминотермическим способом в ОАО КЗФ существенно отличается от других шлаков этого предприятия высоким содержанием CaO и очень низким значением глиноземистого модуля

$Al_2O_3/(CaO+MgO) \leq 1,0$. Химический состав продукта приведен в таблице, мас. %.

Проба	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	MoO ₃	FeO
Партия Т 24	41,0	48,00	7,6	0,90	0,10	1,40
Средняя	44,3	48,16	4,9	0,74	0,14	1,10

По данным рентгенофазового анализа, выполненного к. ф.-м. н. В. М. Устьянцевым (ФГАУ ВПО УрФУ),

шлаковый материал имеет необычный фазовый состав, мас. %: майенит $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 47$, фаза (без названия) $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 50$, другие примесные фазы ~ 3 . По данным петрографического анализа полный минеральный состав материала следующий, мас. %: майенит $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 40–45, $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ 50–55, $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 2–3, ферромолибден 1,0–1,5.

Плавный материал имеет характерную порфировую микроструктуру, в которой вкрапления представлены более тугоплавкой фазой $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, а основная масса состоит из майенита. В массе майенита имеются мелкие включения $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и металла (FeMo). Майенит является самым легкоплавким соединением в системе $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$, его $T_{\text{пл}}$ 1413 °С. Тройное соединение $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ имеет $T_{\text{пл}}$ около 1460 °С, что и предопределяет его первую кристаллизацию при охлаждении шлакового расплава. В связи с присутствием относительно легкоплавких соединений расчетная температура плавления этого шлака составляет около 1500 °С. Специфический вещественный состав

обуславливает комплекс физико-химических свойств этого техногенного материала. Продукт обладает повышенной гидратационной активностью, так как его минеральной основой является быстротвердеющий высокоосновный алюминат кальция — майенит $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, и может быть использован в качестве активизирующей добавки к высокоглиноземистым цементам.

Вторым перспективным направлением рециклинга этого продукта является применение в качестве практически готового рафинировочного шлака для выплавки специальных сталей с низким содержанием серы. Наконец, данный техногенный материал представляет интерес как заполнитель жаростойких бетонов, особенно для футеровки агрегатов цветной металлургии, а также как отвердитель огнеупорных бетонов на жидко-стеклоном вяжущем.

В настоящее время комплексное материаловедение продукта продолжается в Инженерно-техническом центре ОАО «УК «РосСпецСплав — Группа МидЮрал».

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СВЯЗУЮЩИХ ДОБАВОК СЕРИИ ТЕРМОПЛАСТ СВ В ТЕХНОЛОГИИ АГЛОМЕРАЦИИ

© А. А. Пономаренко^{1,2}, И. В. Кормина², С. В. Маркова²

¹ ФГАУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

² Научно-технический центр НБН ООО «Полипласт Новомосковск», г. Новомосковск, Россия

В настоящее время агломерация остается основным способом окускования мелкодисперсного железорудного сырья для подготовки его к доменной плавке. Известно, что использование в составе агломерационной шихты большой доли мелкодисперсного сырья (железорудного концентрата и отходов металлургического производства, колошниковой пыли, шлаков и шламов) вызывает ухудшение ее газопроницаемости. Это приводит к снижению интенсивности процессов спекания и удельной производительности агломашин, ухудшению качества агломерата и увеличению выбросов экологически вредной пыли с аглогАЗами. В этой связи особое значение в технологии агломерации имеет предварительная подготовка шихты — увлажнение и окомкование. Поэтому эффективное управление процессом окомкования аглошихты, обеспечивающее получение оптимального фракционного состава, позволяет достигнуть высоких технико-экономических показателей агломерационной технологии. Для этого необходимо либо обеспечить крупный фракционный состав шихты за счет добавления возврата мелкого агломерата (25–30 мас. %), направляемого на повторное спекание, частицы которого играют роль центров грануляции, либо варьировать влажность шихты, а также длительность окомкования путем изменения угла наклона гранулятора. Однако наиболее эффективным способом управления процессом окомкования полидисперсной агломерационной шихты является применение связующих добавок при равномерном увлажнении.

Большинство отечественных аглофабрик используют в качестве связующих добавок в основном натриевое жидкое стекло и обожженную известь. Увеличение количества извести в агломерационной шихте до сих пор считается основным методом повышения про-

изводительности агломашин при ее расходе 70–75 кг/т агломерата. С учетом больших энергетических и материальных затрат на производство обожженной извести и жидкого стекла необходимы разработка и внедрение инновационных связующих добавок, обеспечивающих высокую эффективность агломерационного производства при низких затратах.

Для агломерации шихты выпускаются несколько зарубежных добавок, таких как Peridur и Floroform. Российским производителем добавок аналогичного назначения является компания «Полипласт Новомосковск», выпускающая специализированную для ГОК серию добавок Термопласт СВ. Эти добавки представляют собой водорастворимые поверхностно-активные вещества (ПАВ), содержащие смесь натриевых и полиалкиленоксидных производных полиметиленафталинсульфокислот с различными функциональными группами, молекулярной массой и степенью полимеризации. ПАВ способны образовывать интерполимерные комплексы полиэлектролитов с пониженной вязкостью, улучшенной смачивающей и адгезионной способностями по отношению к частицам аглошихты. Образование интерполимерных комплексов происходит в водных растворах посредством связывания противоионов при увлажнении шихты в процессе окомкования. В начальный момент образовавшийся первичный комплекс неустойчив. С повышением влажности шихты происходит перестройка первичного комплекса в более упорядоченное состояние. При этом образуются новые зоны контакта, что облегчает накатывание мелких частиц на крупные частицы. Наличие полиалкиленоксидных групп в макромолекулах ПАВ улучшает их адгезию по отношению к поверхностям, обладающим высокой свободной энергией, каковыми являются частицы железорудного концентрата. Смачивающая способность ПАВ по отношению к гидрофобной поверхно-

сти твердого топлива (кокса) в аглошихте увеличивается с повышением количества карбоксильных групп в макромолекулах ПАВ. Одновременное присутствие в макромолекулах ПАВ несвязанных разнородных функциональных групп обеспечивает их высокую адгезию как к полярной поверхности рудных частиц, так и к неполярной поверхности частиц твердого топлива. В связи с этим появляется возможность расположения частиц кокса не в объеме гранулы окомкованной шихты, а на ее поверхности, придавая гранулам высокую прочность.

Таким образом, специфическая способность водорастворимых ПАВ образовывать комплексы, содержащие одновременно разнородные как связанные, так и не связанные между собой функциональные группы, позволяет достичь высокой степени окомкования и получить гранулы, устойчивые к разрушению, создавая предпосылки для увеличения высоты слоя шихты и улучшения ее газопроницаемости. Подбор добавок осуществляется индивидуально под конкретную шихту.

Проведены лабораторные и полупромышленные испытания, в результате которых установлена принципиальная возможность применения добавок Термо-

пласт СВ в технологии агломерации. Например, в результате применения связующих добавок марки Термопласт СВ в количестве от 500 г до 2 кг на 1 т железорудного агломерата зафиксировано увеличение степени окомкования шихты на 23,6–31,3 %, удельной производительности агломашин до 26,5 %, производительности по спеку на 21,3 %; при этом количество FeO возросло с 1,5 до 8,1 %. В ряде случаев установлено повышение высоты агломерационного слоя. В совокупности улучшение технологических параметров агломерации способствует снижению удельного расхода природного газа, электроэнергии и кокса. Для расширения применения связующих добавок Термопласт СВ будут продолжаться научно-исследовательские работы на базе лаборатории НТЦ НБН ООО «Полипласт Новомосковск» с апробацией связующих на действующих ГОКах.

Таким образом, применение связующих добавок Термопласт СВ компании «Полипласт Новомосковск» является инновационным решением в повышении эффективности подготовки агломерационной шихты к спеканию, позволяющим увеличить производительность по агломерату и повысить его качество.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦИРКОНИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ В РОССИИ

© Д. т. н. В. А. Соколов, к. т. н. С. В. Махов
НИТУ МИСиС, Москва, Россия

Цирконистые огнеупоры — цирконовые, бадделеитовые и плавлено-литые бадделеитокорундовые благодаря высоким огнеупорности и коррозионной стойкости к металлическим и минеральным расплавам относятся к высококачественным материалам в металлургии и стекловарении. Применение цирконовых огнеупоров для непрерывной разливки стали является одним из примеров их эффективного использования в металлургии. Поскольку современная технология стекловарения не может обойтись без бадделеитокорундовых огнеупоров, в последнее десятилетие новые производства этих материалов были организованы в Бельгии, Австралии, Индии, Китае. Широкий ассортимент цирконистых огнеупоров для металлургии и стекловарения производят фирмы «SEPR Group», Франция, RHI, Германия, и др. В России небольшой объем цирконовых огнеупоров для металлургии производят ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» и ОАО «Динур», а общее количество выпускаемых плавлено-литых бадделеитокорундовых огнеупоров для стекловарения не превышает 10 тыс. т в год. Из-за отсутствия отечественного цирконийсодержащего сырья (циркона и диоксида циркония) основную массу бадделеитокорундовых огнеупоров для стекольной промышленности поставляют зарубежные фирмы.

В России ежегодно используется около 15 тыс. т циркона, хотя потребность в нем, по разным оценкам, составляет от 40 до 100 тыс. т. За счет собственного производства потребности России в цирконийсодержащем сырье удовлетворяются не более чем на 2–3 %. Единственное в России предприятие по производству циркониевого сырья (бадделеитового порошка) — Ковдорский ГОК выпускает в год 5–6 тыс. т; большая

часть этого количества экспортируется в Норвегию, Японию и в другие страны. Один из самых дефицитных видов минерального сырья — цирконовый концентрат в России не производится, а импортируется из Украины и Австралии. Россия, занимая 3-е место в мире по запасам циркония, не имеет ни одного промышленно разработанного месторождения с выпуском цирконовой продукции. Как правило, титано-циркониевые месторождения могут разрабатываться только комплексно с обязательным выпуском в первую очередь ильменитовых (рутиловых) и цирконовых концентратов, потребность в которых подтверждена промышленностью. А поскольку титан и цирконий относятся к стратегическим видам полезных ископаемых, то развитие их сырьевой базы для самообеспечения России остро необходимо.

В России имеются титано-цирконовые россыпные месторождения с разведанными запасами, которые в случае освоения могли бы обеспечить внутреннюю потребность в цирконовом сырье на десятки лет. К ним относятся Туганское месторождение (Томская обл.), Лукояновское (Нижегородская обл.), Тарское (Омская обл.), Центральное (Тамбовская обл.), Бешпагирское (Ставропольский край).

• **Туганское месторождение.** На его базе в 2002 г. создан Туганский ГОК «Ильменит», ставший первым предприятием в России в части реализации программы по производству цирконового концентрата. Цирконовый концентрат опытно-промышленного производства ЗАО «Туганский ГОК» «Ильменит» по ТУ 1762-002-581914756–2005 содержит, %: $ZrO_2 \geq 60,0$, $TiO_2 \leq 4,0$, $Fe_2O_3 \leq 1,0$, $Al_2O_3 \leq 1$. Хотя по содержанию оксидов же-

леза и титана концентрат пока не удовлетворяет требованиям производства плавлено-литых бадделеитокорундовых огнеупоров, он может достаточно широко применен при получении цирконовой продукции.

- *Лукояновское* месторождение (Итмановская россыпь). Готово к промышленному освоению, качество сырья высокое (содержание циркона $24,32 \text{ кг/м}^3$).

- *Тарское* месторождение (содержание циркона $4,7 \text{ кг/м}^3$). При подтверждении значительных запасов редкоземельных элементов лантановых и цериевых групп ценность месторождения возрастет в разы. Опытные партии цирконового концентрата, поставляемые в небольших количествах Тарским ГОК по ТУ 1762-003-79932362-2007, содержат, %: $\text{ZrO}_2 \geq 60,0$, $\text{P}_2\text{O}_5 \leq 0,2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2,5$, $\text{SiO}_2 \leq 37,0$, $\text{TiO}_2 \leq 0,8$, $\text{Fe}_{\text{общ}} \leq 0,15$. Широкое применение концентрата такого качества возможно для производства огнеупоров, ферросплавов, абразивов и др.

- *Центральное* месторождение. Наиболее разведанным и изученным является Восточный участок (длина 7 км, ширина 5 км), имеющий достаточные для проектирования крупного ГОКа высокие концентрации полезных компонентов (содержание циркона $7,28 \text{ кг/м}^3$).

- *Бешпагирское* месторождение (Ставропольский край). Находится в экономически благоприятном районе с развитой инфраструктурой и в 2006 г. поставлено на баланс в ГКЗ. Прогнозные ресурсы месторождения оценены в 4,0 млн т оксида циркония. Запасы первоочередного для освоения составляют $22,535 \text{ млн м}^3$ с содержанием циркона $11,29 \text{ кг/м}^3$.

Все указанные месторождения из-за постоянной смены собственников, отсутствия финансовых средств и невыполнения государством целевых комплексных программ в течение десятилетий являются промышленно не освоенными. Учитывая большие затраты, в первую очередь на основании сравнения экономических показателей разработки этих месторождений, требуется определить наиболее перспективное с целью организации промышленного производства цирконового концентрата и диоксида циркония. Проблема создания в России титано-цирконовой сырьевой базы является общегосударственной, так как от решения этой проблемы зависит экономическая безопасность страны в части обеспеченности цирконийсодержащим сырьем различных отраслей, в том числе атомной промышленности, металлургии, а также огнеупорной отрасли.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМА НОРМАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОКОРУНДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ОГНЕУПОРОВ

© К. т. н. В. В. Шарапова

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина

В связи с дефицитом некоторых видов сырья, используемого при производстве алюмосиликатных огнеупоров, для его экономии и снижения себестоимости готовых изделий, а также комплексного подхода к решению проблемы использования промышленных отходов и охраны окружающей среды представляет интерес изучение возможности применения техногенных минеральных ресурсов.

Разработка принципиально новых и совершенствование существующих схем производства алюмосиликатных огнеупоров на основе синтеза муллита с применением шлама нормального электрокорунда требует углубленного исследования особенностей химико-минерального состава как исходных материалов, так и продуктов их превращения при обжиге. По своим физико-химическим свойствам шлам нормального электрокорунда, образующийся в ОАО «Запорожжиабразив» в количестве 250–300 т/мес, находится в открытом складировании и представляет собой ценное «техногенное месторождение». Состав шлама нормального электрокорунда (по ТУ У 268-0022222-056:2006), мас. %: Al_2O_3 не менее 86, TiO_2 3,82, Fe_2O_3 2,51, SiO_2 2,11.

Отличительной особенностью этого вида сырья является наличие примесей-минерализаторов — соединений железа и титана в количестве, превышающем их содержание в природном сырье и техническом глиноземе. Как показывают микроскопические исследования, примеси-модификаторы находятся как в виде от-

дельных составляющих шлама, так и в виде включений, грубых дисперсий и твердого раствора с корундом. Шлам нормального электрокорунда имеет серую окраску с фиолетовым оттенком и состоит в основном из мелких частиц. Однако размер некоторых обломков корунда и стекла достигает 1,0–1,2 см. По данным микроскопического анализа, шлам состоит главным образом из зерен электрокорунда (80 об. %), соединений титана (рутила, анасовита, титалита) и гидроксидных соединений железа (15 об. %). В незначительном количестве встречаются гексаалюминат кальция, пластинки графита, дисперсные корольки ферросилиция. Корунд находится в виде неправильной обломочной формы и содержит низший оксид титана (Ti_2O_3) в виде твердого раствора.

Для экспериментального подтверждения перспективности использования шлама нормального электрокорунда в огнеупорной промышленности и оценки его потенциальных возможностей при синтезе муллита исследовали фазовые превращения шлама в интервале 400–1500 °С при обжиге на воздухе. Нагрев до 400 °С приводит в основном к удалению гигроскопической влаги и дегидратации лимонита. В интервале 600–700 °С анасовит окисляется до анатаза — низкотемпературной модификации TiO_2 , при 800 °С анатаз переходит в рутил — высокотемпературную модификацию TiO_2 . Распад твердого раствора Ti_2O_3 в корунде происходит при 1000–1200 °С, а Ti_2O_3 окисляется до

рутила. При 1500 °С шлам спекается. Связующей фазой является стекло различного состава. Окраска шлама при нагреве изменяется от темной до желтой.

Для рекомендации технологического процесса производства алюмосиликатных огнеупоров с применением шлама нормального электрокорунда исследовали образцы шамота, полученного из шлама и каолина ПЛКО в пересыпающемся слое во вращающейся печи. Шамот отличается значительной степенью муллитизации. Количество муллита в шамоте 74 %. Длиннопризматический муллит с $N_g = 1,656$ и $N_p = 1,662$ составляет основу шамота и сцементирован прослойками стекла. Муллит нестехиометрического состава содержит в виде твердого раствора оксиды железа, титана, корунд. На основании результатов химического анализа и оптических свойств можно утверждать, что в муллите в виде твердого раствора имеются также низшие оксиды

SiO , Al_2O , TiO в количестве до 0,83 %. Следует отметить, что часть кристаллов муллита покрыта микропленкой стекла. Микротвердость сростков муллита, сцементированного стеклофазой, составляет 1260 HV. На свойства менее ответственных муллитокремнеземистых огнеупоров алюмосиликатная пленка существенно влиять не будет.

Муллит в шамоте, полученном из шлама нормального электрокорунда и каолина, дистен-силлиманита и электрокорунда, а также из дистен-силлиманита во вращающейся печи, имеет нестехиометрический состав. Огнеупорность муллита составляет соответственно 1785, 1790 и 1780 °С. Примеси-минерализаторы существенно не влияют на огнеупорность муллита. Количество муллита в муллитокремнеземистом огнеупоре МКРА-50 74,9 %, в муллитовом МЛС-62 75,11 %.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПИРОФИЛЛИТОВОГО СЫРЬЯ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ

© Д. Т. Н. У. Ш. Шаяхметов, к. т. н. А. Р. Мурзакова, Р. У. Шаяхметов, Е. А. Гончаренко, д. т. н. А. Г. Мустафин
ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа, Россия

Производство огнеупоров в современной промышленности требует освоения новых источников минерального сырья. Поэтому поисково-оценочные работы и исследование физико-химических свойств природных минералов очень актуальны. На территории Республики Башкортостан интерес для промышленной разработки представляет пирофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Тау с целью использования его в огнеупорной и керамической промышленности. Ранее на месторождении среди рудовещающих пород исследователями выявлено широкое распространение пирофиллитсодержащих метасоматитов и определена возможность их использования для керамической и огнеупорной промышленности. Огнеупорные свойства данного сырья обусловлены термическими превращениями пирофиллита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$): конституционная вода удаляется полностью в интервале 700–900 °С; продуктом полной дегидратации является метапирофиллит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$; при 1150 °С метапирофиллит разлагается с образованием муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и кристобалита (SiO_2).

Авторами работы проведены физико-химические исследования пород минерала пирофиллита в южной части отвала месторождения Куль-Юрт-Тау для оценки возможности его использования в огнеупорной и керамической промышленности. Усредненный минеральный состав образцов пирофиллитового сырья, мас. %: пирофиллит 30, кварц 63, серицит 2, пирит 2, прочие включения 2. Образцы нагревали до 1200 и 1400 °С в течение 3 и 12 ч, а затем проводили на них термографические, ИК-спектральные и рентгенофазовые исследования. Результаты ИК-спектроскопии и рентгено-

скопии показали в образцах присутствие муллита, тридимита, кристобалита (при 1200 °С) и муллита, кристобалита (при 1400 °С). При этом структура обожженного при 1200 °С в течение 3 ч пирофиллитового сырья практически остается неизменной при увеличении длительности обжига до 12 ч и повышении температуры до 1400 °С. В процессе термообработки происходит изменение структуры пирофиллитового сырья. Если до термообработки структура материала рыхлая, то после нагревания при 1200 °С образец уплотняется вследствие уменьшения размера пор в результате спекания агрегатов исходного сырья (усадка образца). На основе пирофиллитового сырья изготовлены керамические композиционные материалы огнеупорного и технического назначения, исследованы их физико-технические характеристики. Уникальными особенностями пирофиллита являются небольшие изменения объема при нагревании, высокая химическая инертность.

Таким образом, результаты исследований термообработки пирофиллитового сырья месторождения Куль-Юрт-Тау подтверждают образование фаз муллита и кристобалита, которые определяют огнеупорные свойства сырья. Промышленное освоение месторождения позволит получать керамическое сырье двух видов: 1 — полученное путем технологического передела исходного минерального сырья; 2 — полученное путем высокотемпературной переработки (синтеза муллита) минерального сырья. Такой вид сырья может быть использован для изготовления кислотоупоров, огнеупоров, керамического стенового кирпича, декоративных и огнеупорных покрытий, безобжиговых жаростойких материалов.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

СУХИЕ СМЕСИ ДЛЯ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ПЛАВЛЕННЫХ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ И ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

© К. т. н. В. А. Абызов¹, к. т. н. А. Н. Абызов², А. К. Абрамов³, д. э. н. В. М. Рывтин⁴,
д. г.-м. н. В. А. Перепелицын⁵, А. В. Хватов²

¹ ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

² ООО «Ключевская обогатительная фабрика», пос. Дзуреченск Свердловской обл., Россия

³ ООО НПП «Крона-СМ», г. Новосибирск, Россия

⁴ ОАО «УК «РосСпецСплав», г. Екатеринбург, Россия

⁵ ОАО «ВОСТИО», г. Екатеринбург, Россия

Одним из перспективных направлений в отечественной и зарубежной практике применения жаростойких и огнеупорных бетонов является изготовление изделий и футеровки из заранее приготовленных сухих смесей, преимущественно на основе глиноземистого и высокоглиноземистого цемента и огнеупорных заполнителей. В настоящей работе для разработки сухих смесей были применены плавленые материалы алюминотермического производства Ключевского завода ферросплавов. В качестве вяжущего использовали высокоглиноземистый цемент из клинкера КВЦ-75 по ТУ 14-00186482-048-03 «Клинкер высокоглиноземистый алюминотермического производства» и заполнители — плавленые материалы, получаемые при производстве металлического хрома, феррохрома и ферротитана по ТУ 0798-069-00186482-2011 «Продукт плавленый глиноземистый». Химический состав плавленных материалов приведен в таблице, %.

Марка	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	MgO	FeO
ППГ-75	70–82	5–15	5–12	—	1	3	1
ППГ-50	46–58	10–24	3–12	—	5	20	2
ППГ-65	56–70	10–24	<0,2	20	2	5	3
ППГ-65К	60–70	20–25	—	11	1	5	1,5

Для получения высокоглиноземистого цемента клинкер домалывали до удельной поверхности 3500–4500 см²/г. Заполнители готовили путем дробления ППГ-75 и ППГ-65 и последующего их отсева на фракции мельче 5 и 5–10 мм; их зерновой состав удовлетворял требованиям ГОСТ 20910. В качестве актив-

ных тонкомолотых добавок применяли ППГ-50 и ППГ-65К, которые домалывали до удельной поверхности 3500 см²/г, и глиноземистый цемент ГЦ-50 по ГОСТ 969 (10–20 % от массы вяжущего). Необходимость применения активной тонкомолотой добавки обусловлена тем, что цемент из клинкера КВЦ-75 содержит значительное количество медленно твердеющего СА₂, а введение добавок обеспечивает требуемую прочность в 3-сут возрасте. Следует также отметить, что за счет введения активных тонкомолотых добавок сухие смеси не теряют своих свойств в течение 6 мес хранения в герметичной упаковке.

В результате проведенных исследований был установлен оптимальный состав сухих смесей: 15–20 % — вяжущее и тонкомолотые добавки, 75–80 % — смесь мелкого и крупного заполнителя. На основе сухих смесей получены жаростойкие бетоны с пределом прочности при сжатии в 3-сут возрасте 35–45 МПа; остаточная прочность после нагрева до 800 °С составляла 50–60 %. По основным показателям (термостойкости, усадке после нагрева, температуре деформации под нагрузкой) бетоны рекомендованы для применения при 1400–1500 °С. Введение поверхностно-активных добавок в процессе приготовления бетонных смесей позволяет получать бетоны с пределом прочности при сжатии в 3-сут возрасте не менее 50 МПа. Из разработанных смесей были изготовлены опытные партии изделий, которые проходят испытания в различных тепловых агрегатах, работающих при 1300–1500 °С.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ВИБРОФОРМОВАННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, Р. А. Донич², Е. Б. Лаишевцев², Е. В. Михайлов³

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

³ ООО «НПК «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Самое молодое предприятие на Саткинской производственной площадке Группы «Магнезит — НПК «Магнезит» осваивает производство новых видов продукции. Перемешивающие пороги муллитового состава марки MAGSTONE A60A производства НПК «Магнезит» успешно эксплуатируются во вращающихся печах ОАО «Русал-Красноярск» для производства анодной массы. Вмонтированные в футеровку вращающейся печи пе-

ремешивающие пороги работают в условиях частых термоударов при температуре прокаливаемой массы 1200–1300 °С. Перемешивающие пороги MAGSTONE A60A показали стойкость в футеровке вращающейся печи более 6 мес, что в 2 раза превысило стойкость ранее применяемых изделий. Изделия MAGSTONE A60A изготовлены на основе качественных андалузитов методом виброформования с последующей термообра-

боткой при температуре 300 °С. Этот состав бетонной смеси универсален, может применяться в различных тепловых агрегатах при температурах от 1200 до 1600 °С, обладает высокими термостойкостью, прочностью и абразивоустойчивостью. После термообработки изделий их предел прочности при сжатии составляет 70 МПа, открытая пористость 15 %, кажущаяся плотность 2,6 г/см³.

В 2012 г. освоено производство монолитных сводов алюмомagneзиального и высокоглиноземистых хромсодержащих составов для электродуговых печей. Сводовые изделия изготавливают виброформованием из низкоцементных тиксотропных бетонов, разработанных специалистами Группы «Магнезит», с последующей сушкой при 300 °С.

Алюмомagneзиальный состав марки *MAGSTONE AM90/7* изготовлен на основе табулярного глинозема и алюмомagneзиальной шпинели, после термообработки обладает следующими свойствами: предел прочности

при сжатии 60 МПа, открытая пористость 10 %, кажущаяся плотность 3,11 г/см³. Высокоглиноземистый хромсодержащий огнеупор марки *MAGSTONE ACR85/1,5* изготавливают с использованием электроплавленного белого корунда и различных добавок. Показатели изделий после термообработки при 300 °С: предел прочности при сжатии 100 МПа, открытая пористость 10 %, кажущаяся плотность 3,16 г/см³. Для улучшения эксплуатационных свойств крупногабаритных изделий в состав шихты вводится металлическая фибра.

Изделия на основе новых составов бетонных смесей отличаются высокими огнеупорностью и механической прочностью, а применение качественных наполнителей, металлической фибры, различных модифицирующих добавок минимизирует последствия термоударов и обеспечивает требуемую для сводов термостойкость. Опытные изделия изготовлены для ряда предприятий Уральского региона.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ФЛЮСЫ МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ БРИКЕТИРОВАННЫЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, к. т. н. М. И. Назмиев², С. А. Коротеев²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

В 2012 г. Группой «Магнезит» разработана технология производства брикетированных модификаторов шлака марок ФОМИБ и ФОМБ — аналогов обожженных флюсов марок ФОМИ и ФОМ. По химическому составу новые флюсы полностью соответствуют своим аналогам; данные представлены в таблице. Преимуществом брикетированных флюсов является скорость растворения брикета в шлаке, которая в 2 раза выше, чем у обожженных. В производстве брикета используется новое связующее, которое обеспечивает улучшенные физико-химические свойства готового брикета при низком содержании серы. Технология позволяет корректировать флюс по химическому и фракционному составу в широких пределах в соответствии с требованием потребителя. Типичен флюс марок ФОМИБ-1, ФОМИБ-2 и ФОМИБ-3 фракции 15–60 мм.

Особенностью брикетированных магнезиальных модификаторов, в зависимости от марки является их универсальность: их можно использовать как в «завал-

ку» для корректировки содержания MgO в шлаке, так и для формирования шлакового гарнисажа при раздуве шлака, обогащенного оксидом магния. Можно «спроектировать» и изготовить модификатор с учетом особенностей различных технологических процессов получения стали (вязкость и состав шлака, стойкость футеровки металлургических агрегатов, сортамент выпускаемой продукции) за счет введения дополнительных добавок «углерода», «алюминия» и пр.

Массовая доля, %	ФОМИБ-1	ФОМИБ-2	ФОМБ-1
MgO (на прокаленное вещество), не менее	68	66	70
CaO	12–22	12–22	—
CaO, не более	—	—	12
Fe ₂ O ₃	3,0–6,0	3,0–7,0	3,0–7,0
S, не более	0,07	0,07	0,07

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ТОРКРЕТ-МАССЫ ПЕРИКЛАЗОВОГО СОСТАВА ДЛЯ ГОРЯЧЕГО РЕМОНТА КОНВЕРТЕРОВ И ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, к. т. н. М. И. Назмиев², Д. А. Марченко²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Специалистами Группы «Магнезит» продолжены работы по усовершенствованию состава периклазовых торкрет-масс для горячего ремонта конвертеров и электропечей, производство которых организовано в ООО «Магнезит-торкрет-массы». В составе связки использованы отечественные компоненты, что позволяет быть полностью независимыми от зарубежных поставок и производителей. Проведены испытания торкрет-масс в условиях ККЦ-1 и ККЦ-2 ОАО ЗСМК, показана эффективность применения плотноспеченных периклазовых

порошков, получаемых обжигом брикетированного каустического магнезита в высокотемпературной шахтной печи. Отмечено повышение стойкости торкрет-слоя, выполненного опытной массой; его фактическая стойкость до 8 плавок. Испытания торкрет-массы, изготовленной из отечественного сырья, проведены в условиях ЭСПЦ комбината; стойкость торкрет-слоя увеличилась от 3 до 4–5 плавок. При повышенной стойкости опытная масса обладает адгезией на уровне серийных масс и имеет тот же уровень цены.

Полученные положительные результаты — итог успешного взаимодействия разработчиков технологии

изготовления торкрет-масс, производителей торкрет-масс и потребителей.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, О. Н. Пицик², В. А. Устинов¹, Н. Е. Кузнецова²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Управлением технологических разработок Группы «Магнезит» разрабатываются новые технологии изготовления огнеупорных материалов, устойчивых к агрессивному воздействию газовой среды, компонентов цементного клинкера и высоких тепловых и механических нагрузок.

С появлением плотноспеченного периклазового клинкера собственного производства, получаемого в процессе высокотемпературного обжига сырья в шахтной печи фирмы «Maerz Ofenbau AG», Швейцария, появилась возможность оптимизации структуры изделий марки ПШПЦ-81, успешно изготавливаемых на протяжении последних 20 лет. Усовершенствованным периклазошпинельным изделиям присвоена марка ПШПЦ-81а. Огнеупоры характеризуются высоким пределом прочности при сжатии (>60 МПа) и открытой пористостью около 15 %. Отличительной особенностью этих огнеупоров является также повышенная термостойкость, превышающая в 1,5 раза аналогичные показатели серийных изделий марки ПШПЦ-81. Качественные характеристики огнеупоров в сопоставлении с традиционно применяемыми изделиями марки ПШПЦ-81 приведены в таблице.

За последние 4 мес 2012 г. отгружено более 1,2 тыс. т изделий предприятиям цементной промышленности России и стран ближнего зарубежья, в том числе таким предприятиям, как АО «Бухтарминская цементная компания», ОАО «Холсим (Рус) СМ», ОАО

Показатели	ПШПЦ-81а*	ПШПЦ-81*
Массовая доля, %:		
MgO	85,0	83,5
Al ₂ O ₃	10,0	9,2
SiO ₂	1,70	2,10
CaO	1,50	2,20
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,98	2,90
Открытая пористость, %	15	19
Предел прочности при сжатии, МПа	65	55
Температура деформации под нагрузкой, °C (по ИСО 1893–89 при T ₀₅)	1640	1640
Термостойкость, теплосмены:		
1300 °C – вода	18–20	10
950 °C – воздух	>100	>30
Дополнительная усадка (1600 °C, 2 ч), %	0,1	0,1
Теплопроводность при 1300 °C, Вт/(м·К)	3,26	2,81
ТКЛР в интервале 20–1400 °C, 10 ⁻⁶ 1/К	13,0	13,1
Предел прочности при изгибе при 1400 °C, МПа	3,4	2,8

* Приведены среднестатистические показатели.

«Вольскцемент», ОАО «КрасносельскСтройматериалы» и филиал ОАО «Лафарж Цемент».

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛИДНЫХ ОГНЕУПОРОВ ООО «ГРУППА «МАГНЕЗИТ» В ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ВАКУУМАТОРАХ № 1 И 2 ККЦ ОАО ММК

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, к. т. н. Т. В. Ярушина², к. т. н. В. Г. Овсянников³

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

³ ООО «Группа «Магнезит», г. Магнитогорск, Россия

В условиях возрастающего спроса на продукцию для внепечной обработки стали в Группе «Магнезит» реализуется программа поэтапного совершенствования всех параметров технологического процесса. Внедрена стендовая сборка сифонов патрубков вакууматоров согласно согласованным чертежам для различных потребителей. Для качественной сборки с учетом жестких требований к качеству швов в 2010 г. на комбинате «Магнезит» организован участок по шлифованию огнеупоров (используется шлифовальный станок австрийской фирмы «Wassmer»), пропитке их солями с последующей сборкой из сифонов (труб) длиной от 250 до 1000 мм. Сборка сифонов ведется на стенде по шаблону с применением огнеупорных клеевых композиций

изделиями укрупненного формата — длиной до 500 мм вперевязку. Сифоны в собранном виде поставляются заказчику. Каждая сборка сифона выполняется по индивидуальному заказу. Следующим этапом будет изготовление патрубков на комбинате целиком, включая бетонную футеровку патрубка снаружи с термообработкой изделия в специализированной печи.

В дополнение к используемому с 1996 г. в ККЦ ОАО ММК однопозиционному вакууматору типа RH в 2010 г. введен в эксплуатацию двухпозиционный циркуляционный вакууматор № 2 плановой годовой производительностью не менее 1680 тыс. т металла. Оба вакууматора были оборудованы четырехступенчатым парожеткаторным насосом (ПЭН). Производительность

насоса (по сухому пару) вакууматора № 2 достигала 1200 кг/ч, средняя скорость циркуляции составляла более 200 т/мин. Производительность насоса (по сухому пару) вакууматора № 1 не превышала 800 кг/ч. Двухпозиционный вакууматор в составе агрегатов МНЛЗ-6 предназначен для повышения качества трубного металла, а также для производства стали глубокой вытяжки.

Известно, что эффективность использования хром-содержащих огнеупоров в футеровке вакууматоров возрастает по мере снижения их открытой пористости и с использованием в шихте плавленного периклазохромитового зернистого компонента. Создана оригинальная технология изделий марки ХПП. Массовая доля Cr_2O_3 в изделиях ХПП-1 составляла 18–20 мас. %, открытая пористость 12,0–13,5 %, кажущаяся плотность около 3,37 г/см³. Для снижения открытой пористости и уменьшения эффективного диаметра пор изделия пропитывают раствором эпсомита. Изделия ХПП-1 с пропиткой раствором эпсомита показали удовлетворительный результат при эксплуатации в футеровке патрубков двухпозиционного вакууматора в условиях ОАО ММК. В состав модифицированных огнеупоров ХПП-1 введена функциональная добавка в на-

нодисперсном состоянии, которая обеспечила получение термостабильной микроструктуры с высокими физико-техническими показателями при температуре эксплуатации. В службе были испытаны два комплекта новых огнеупоров. Эксплуатационная стойкость изделий с функциональной добавкой составила 120 и 113 плавов при высокой интенсивности процесса вакуумирования. Суммарная длительность обработки стали на кампаниях была максимальной по цеху и составляла 2392 и 2420 мин соответственно. Изделия нового поколения марки ХПП-1 позволили существенно повысить интенсивность процесса обработки стали под вакуумом (8,5 плавки в сутки).

Задачи Группы «Магнезит» не ограничиваются обеспечением потребителя необходимым комплексом огнеупоров и заключаются в оказании технической и инженеринговой поддержки, включая проектирование футеровки, шефмонтаж, поставку оборудования, необходимого для применения огнеупоров, обучение персонала, а также гарантийное и постгарантийное обслуживание. Надежность продукции Группы «Магнезит» в службе позволяет успешно конкурировать на рынке с ведущими мировыми производителями огнеупоров для вакууматоров.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОГНЕУПОРОВ В ОАО «КОМБИНАТ «МАГНЕЗИТ»

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹, к. т. н. Т. В. Ярушина², В. В. Смертин²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

В Группе «Магнезит» продолжают работы по совершенствованию технологий углеродсодержащих огнеупоров на основе плавленных материалов. Этому способствует и существенное увеличение производства плавленного периклаза на новых мощностях с использованием магнеситов Приангарской производственной площадки. С использованием плавленного периклаза из красноярского сырья с массовой долей MgO более 97,5 % и $\text{CaO/SiO}_2 > 2$ на комбинате «Магнезит» изготовлены опытно-промышленные партии периклазоуглеродистых изделий. Изделия апробированы в сталеразливочных ковшах на ряде металлургических предприятий России, Украины и Белоруссии. Для повышения устойчивости к окислению в состав огнеупоров вводили комбинированные антиокислительные добавки. Состав добавок зависел от размещения изделий в футеровке сталеразливочного ковша. Испытания в сталеразливочных ковшах ПАО АМКР, Украина, показали стойкость 66 и 57 плавов при высокой остаточной толщине футеровки (>100 мм). Отмечен равномерный износ огнеупоров независимо от зоны футеровки сталеразливочного ковша. В перспективе производство изделий по новой технологии будет осуществляться в ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод» (ПАО ПОЗ), Украина. Согласно нормативно-технической документации ПАО ПОЗ, испытанным изделиям соответствуют огнеупоры марок ППУ151Б (стены сталеразливочного ковша) и ППУ152Б4 (шлаковый пояс).

Успешно завершились испытания огнеупоров аналогичного состава и в сталеразливочных ковшах РУП БМЗ. Остаточная толщина изделий в дне ковша находи-

лась в пределах 200–220 мм, в «бойной» зоне 130–140 мм, в стенах 70–105 мм, в шлаковом поясе 30–100 мм. При ломке футеровки сталеразливочного ковша после эксплуатации отмечено отсутствие «прокозлений» в вертикальные и горизонтальные швы, а также локального износа рабочего слоя футеровки. Износ опытных изделий по всему периметру рабочего слоя футеровки (дна, стен и шлакового пояса) был равномерным, общее состояние опытной футеровки сталеразливочного ковша при выводе из эксплуатации было признано хорошим. Общая стойкость опытных периклазоуглеродистых изделий в дне и стенах ковша составила 63 плавки.

На комбинате «Магнезит» осваивается технология производства периклазоуглеродистых изделий с применением комбинированного экологически безопасного связующего, в состав которого помимо фенолоформальдегидной смолы входит термопластическое связующее — продукт глубокой очистки каменноугольного пека. Испытания сталеразливочных ковшей в службе в течение года на одном из металлургических предприятий России показали увеличение средней стойкости футеровки ковшей на 10–15 %. Отличительными особенностями в характере износа опытных изделий отмечены отсутствие сколов и вертикальных трещин на огнеупорах, а также высокая степень устойчивости кладки к размыванию по швам. Исследование отслуживших огнеупоров под микроскопом показало отсутствие обезуглероженной зоны и проникновения шлакометаллического расплава в их структуру.



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС ЗАО «РОСМЕТАЛЛКОМПЛЕКТ»

АККРЕДИТОВАННЫЙ ЧЛЕН АССОЦИАЦИИ
ИННОВАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЦЕНТРА «НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» ПРИ ИХС РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО УМЕНЬШЕНИЮ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Исследования, разработка и производство
специальных огнеупорных материалов
для герметизации высокотемпературных соединений,
увеличения долговечности и повышения
производительности металлургических
агрегатов

Производство стартовых смесей
на основе хромитового песка AFS 45-55
производства ЮАР. Постоянный запас сырья
на складе в Санкт-Петербурге

Подбор и поставка литейного хромитового песка
производства ЮАР и США

Производство и поставка теплоизоляционной смеси
для металлургического и литейного производства

Приглашаем посетить наш стенд
на Международной конференции
огнеупорщиков и металлургов
14-15 марта 2013 г.
г. Москва

РЕКЛАМА

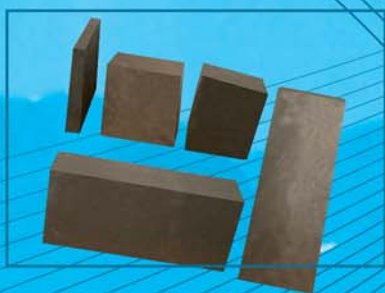
«Rosmetallkomplekt» JSC

Адрес: Россия, 191023, Санкт-Петербург, ул. Гороховая, 26/40
E-mail: mail@rosmetallkomplekt.ru
Тел. +7 (812) 310-07-62. Факс: +7 (812) 310-67-91
www.rosmetallkomplekt.ru





ОГНЕУПОРЫ «PUYANG» — КАЧЕСТВО, НАДЕЖНОСТЬ, ИННОВАЦИИ



«**PUYANG REFRACTORIES GROUP**» — огнеупорные изделия для предприятий черной и цветной металлургии, а также для машиностроения, стекольной, цементной и химической промышленности. Более 20 лет успешной работы позволило стать компании «**PUYANG**» одним из лидеров по производству и поставке огнеупорных материалов по всему миру. Продукция компании «**PUYANG**» поставляется в Россию, Украину, Америку, Канаду, Юго-Восточную Азию, Южную Корею, Индию, Египет, Турцию, ЮАР и в другие страны мира.

Перечень продукции включает:

- Формованные огнеупорные материалы
- Неформованные огнеупорные материалы
- Специальные огнеупорные изделия, в том числе особосложные
- Минеральное сырье: бокситы, корунд для огнеупорной промышленности.

Наличие собственных сырьевых баз высокоглиноземистых и магнезитовых материалов позволяет использовать при производстве огнеупоров только качественные материалы.

Специалисты научно-исследовательского института компании «**PUYANG REFRACTORIES GROUP**», используя самые передовые технологии и оборудование, проводят исследования и ведут разработки новой огнеупорной продукции, удовлетворяя запросы клиентов более чем в 11 странах мира.

Приглашаем Вас к взаимовыгодному сотрудничеству!

КИТАЙ

«**Puyang Refractories Group Co., Ltd.**»

Middle West Circle Road, Puyang, Henan, China, 457100

Тел.: +86-393-321-40-73. Факс: +86-393-321-30-31

E-mail: prco@punai.com, sale@punai.com

www.punai.com

РОССИЯ

Филиал компании

«**Пуянг Рефракториз (Груп) Ко., Лтд.**»

455026, Россия, Челябинская область,
г. Магнитогорск, ул. Гагарина, 35,
офис 303

Тел./факс: 8 (3519) 21-55-22

E-mail: prco-mgn@yandex.ru

www.puyang.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ

г. Череповец

Тел.: 8 (911) 531-47-07

E-mail: ankuznetcov@mail.ru

г. Липецк

Тел.: 8 (952) 597-89-95

E-mail: yuri_krasnikov@mail.ru

г. Воронеж

Тел.: 8 (910) 340-11-82

Тел.: 8 (920) 410-17-10

E-mail: rvv-950@mail.ru

malogn@yandex.ru

г. Ростов-на-Дону

Тел.: 8 (909) 441-87-79

Факс: 8 (8632) 83-21-65

E-mail: prco-rnd@mail.ru

г. Магнитогорск

Тел.: 8 (3519) 068-116

Тел.: 8 (919) 120-20-70

E-mail: 24081955@bk.ru,

aisenkin@yandex.ru

г. Челябинск

Тел.: 8 (951) 459-46-35

E-mail: medvedevan@hotmail.com

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОПЫТ РАБОТЫ ПРЕССОВАННОЙ БЕЗУГЛЕРОДИСТОЙ ФУТЕРОВКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КНР

© В. П. Андреев

Филиал компании «Puyang Refractories Group Co». Ltd, г. Магнитогорск, Россия

При производстве низкоуглеродистых марок стали и обработке их в сталеразливочном ковше его футеровка должна быть безуглеродистой; для футеровки дна и стен сталеразливочного ковша применяют наливные бетоны. Безуглеродистая футеровка успешно используется в производстве высококачественных сталей на таких предприятиях, как «NingboSteel» (180-т сталеразливочный ковш), «JingtangSteel» (300-т сталеразливочный ковш).

Компания PRCO разработала безуглеродистый прессованный кирпич. Сырье: плавный белый корунд, плавный магнезит, технический корунд и плавная шпинель на основе органических и неорганиче-

ских связующих. Отличительные достоинства изделий: отсутствие углерода (что важно при выплавке сверхчистых сталей), хорошие шлакоустойчивость и теплоустойчивость, длительная эксплуатация со средней скоростью износа от 0,50 до 0,67 мм/плавку. Кроме того, с применением разработанных изделий можно увеличить вместимость сталеразливочного ковша, проводить футеровочные работы бетонными изделиями без применения шаблонов, сократить объем футеровочных работ и длительность сушки сталеразливочного ковша из-за отсутствия влаги.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

СУХИЕ МАССЫ И ШАБЛОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ФУТЕРОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША ПРОИЗВОДСТВА ООО «ГРУППА «МАГНЕЗИТ»© В. Ю. Вериковский¹, М. Ю. Турчин¹, А. В. Ильянкин²¹ ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия² ООО «Магнезит-торкрет-массы», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Современное развитие и совершенствование металлургических технологий способствуют повышению требований к огнеупорным материалам. Постоянно растущие требования к качеству непрерывнолитой заготовки вынуждают металлургов проводить модернизацию оборудования, улучшать технологию разлива стали на МНЛЗ, использовать современные виды огнеупорных материалов. Качество рабочего слоя футеровки промежуточного ковша, как последнего агрегата на участке разлива стали на МНЛЗ, существенно влияет на качество металла. Традиционно на металлургических предприятиях СНГ футеровка рабочего слоя промежуточного ковша выполняется влажным торкретированием массами основного состава (периклазовыми или периклазофорстеритовыми). Альтернативным решением является выполнение футеровки промежуточного ковша с применением сухих масс. Эта практика достаточно широко используется за рубежом, в первую очередь в промежуточных ковшах слябовых МНЛЗ.

В Группе «Магнезит» разработаны технология производства сухих масс основного состава, технология их применения, организовано производство в ООО «Магнезит-торкрет-массы». Существенную роль в выполнении футеровочных работ играет нагреваемый шаблон. Специалистами Группы «Магнезит» разработана оригинальная конструкция шаблона и осуществляется его производство. Конструкция шаблона защищена патентом 109681. Особенностью конструкции шаблона является наличие автоматической установки, позволяющей обеспечить быстрый и равномерный нагрев стенок шаблона и, соответственно, рабочего слоя футеровки

промежуточного ковша. При правильной эксплуатации срок службы шаблона не ограничен; при этом он не требует специализированного обслуживания. Длительность нагрева и сушки рабочего слоя футеровки промежуточного ковша зависит от его конфигурации и качества огнеупорной массы и составляет от 30 до 90 мин с последующим охлаждением перед извлечением шаблона в течение 30 мин. Технология основана на низкотемпературном отверждении связки массы, не содержащей воды. В отличие от сухих масс первого поколения, содержащих смолы, отверждение которых сопровождается газовыделением и неприятным запахом, изготавливаемые в настоящее время массы с применением усовершенствующей системы связующего позволили устранить эти недостатки, сохранив преимущества.

Технология применения сухих масс обладает рядом преимуществ перед технологией влажного торкретирования. Отмечены значительная экономия газа, уменьшение времени оборачиваемости промежуточных ковшей, увеличение ресурса работы арматурного слоя футеровки. Метод сухого изготовления футеровки позволяет снизить содержание неметаллических включений в металле. При этом отсутствие воды в рабочем слое исключает выделение водорода в расплав при разливке, а также риск аварийных ситуаций, связанных с некачественной сухой торкрет-слоем. Кроме того, возможно частичное повторное использование отработанной сухой массы, что в совокупности с низкой плотностью материала позволяет снизить удельный расход торкрет-масс.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ВИБРОФОРМОВАНИЯ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ© К. Т. Н. О. Б. Воронина¹, А. А. Мелихов¹, К. Т. Н. С. Г. Полубесов¹, М. В. Агишева², А. В. Власов², Т. В. Помазков²¹ ООО «ТПП Феррокомплекс», Москва, Россия² ООО «Промресурс», г. Нижний Тагил, Россия

Промышленный комплекс ООО «Промресурс» производит виброформованные огнеупорные изделия для ста-

леразливочных и промежуточных ковшей. Производство осуществляется под технологическим контролем

ООО «ТПП Феррокомплекс», которое является единственным официальным поставщиком продукции, производимой ООО «Промресурс» на рынке РФ. С 2009 по 2013 г. ТПП «Феррокомплекс» совместно с ООО «Промресурс» освоено производство вибролитых огнеупорных изделий для отечественных металлургических предприятий: донных продувочных узлов, гнездовых блоков, ковшевых стаканов и стаканов-коллекторов для сталеразливочных ковшей, перегородок и порогов для промежуточных ковшей. В 2012 г. проведена работа по расширению номенклатуры выпускаемой продукции и по совершенствованию шихты для получения бетонов, не уступающих по качественным и эксплуатационным показателям импортным аналогам. В результате этой работы освоен выпуск более 10 видов новых типо-

размеров огнеупорных изделий, получены улучшенные составы высокоглиноземистых бетонов для щелевых продувочных фурм и стаканов-коллекторов, которые прошли промышленные испытания и показали стойкость на уровне импортных аналогов. Разработан бетон для производства гнездовых блоков с пределом прочности при сжатии на 30–50 МПа выше, чем у импортных аналогов. Из разработанного бетона изготовлены опытные изделия. Промышленные испытания опытных изделий пройдут в первом полугодии 2013 г. Начата работа, касающаяся улучшения свойств бетона для перегородок и порогов для промежуточных ковшей; осваивается производство струегасителей.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАСС ДЛЯ НАБИВКИ ТИГЛЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ

© Д. В. Ганькин, М. Ю. Турчин

ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Многие небольшие современные литейные заводы все чаще используют индукционные печи. В связи с этим растет потребность в огнеупорных материалах, которые могут обеспечить требуемый оптимальный уровень стойкости футеровки тигля. Группа «Магнезит» является одним из основных поставщиков огнеупорных материалов для индукционных печей.

Наряду с уже зарекомендовавшими себя массами в Группе «Магнезит» занимаются разработкой новых материалов для индукционных печей. В частности, разработана масса МПКПЛИ на основе плавленного периклаза с добавлением корунда оптимального зернового состава. Испытания новой массы показали не только увеличение стойкости тигля на 10–20 %, но и возможность

эксплуатации тигля в нестабильном режиме с глубоким охлаждением футеровки. В отличие от масс магнезиального состава футеровка, выполненная из магнезально-корундовой массы, не дает глубоких трещин после охлаждения и позволяет возобновить работу после полного охлаждения футеровки. На литейном заводе на печи вместимостью 800 кг выплавляли нержавеющую сталь. Печь работает в режиме одна плавка в 2–4 дня с полным охлаждением футеровки. Длительность одной плавки составляет от 5 до 7 ч. Общая стойкость футеровки составила 10 плавков за один месяц. В настоящий момент масса МПКПЛИ — лучший вариант для небольших литейных заводов с периодическим режимом работы.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УХОДА ЗА ФУТЕРОВКОЙ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

© Р. И. Дикарёва¹, С. А. Коротеёв², Г. А. Фалько¹, А. Г. Макаренко¹

¹ ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод», г. Горловка Донецкой обл., Украина

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

В практике эксплуатации кислородных конвертеров широко используются эффективные методы восстановления футеровки — горячий ремонт с использованием подварки и нанесения шлакового гарнисажа после корректировки состава шлака по содержанию оксида магния. Для горячего ремонта конвертера применяют брикеты на основе высококачественного магнезита (85–90 % MgO) с добавлением углерода (5–15 %) специальных органических соединений (смола или пек).

В ПАО ПОЗ усовершенствована технология производства подварочного брикета для ухода за футеровкой конвертеров со следующими физико-химическими показателями: массовая доля MgO не менее 83 %, SiO₂ не более 4 %, CaO не более 5 %, C не менее 15 %; предел прочности брикета при сжатии не менее 25 МПа. Механизм работы подварочных брикетов заключается в следующем: при высокой температуре материал быстро размягчается и превращается в жидкоподвижную субстанцию, которую легко распределять

по поверхности футеровки независимо от размеров участков. В результате этого происходит хорошее спекание материала с основной футеровкой, что повышает срок ее службы. Изделия успешно показали себя во время испытаний на одном из металлургических комбинатов Украины, где были использованы для ремонта сливной зоны и зоны завалки 300-т конвертеров. Опытные подварочные брикеты в сравнении с ранее производимыми имеют хорошие растекаемость и адгезию к поверхности футеровки конвертера. Подварочный слой обладает высокой прочностью и хорошо покрывается шлаковым гарнисажом при раздуве шлака азотом.

В начале 2013 г. на заводе планируется запуск технологической линии по производству высокомагнезиальных флюсов с использованием сырьевых материалов и опыта Группы «Магнезит»; первые партии флюсов поступят к металлургам Украины. Новый производственный участок располагается на реконструированной промышленной площадке, линия оснаще-



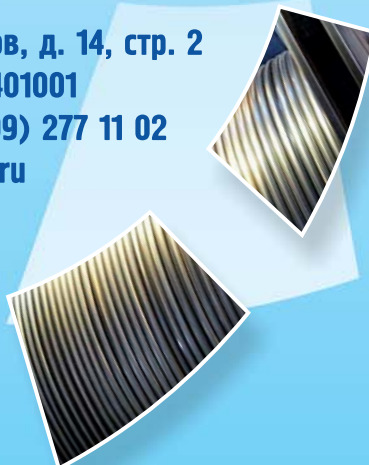
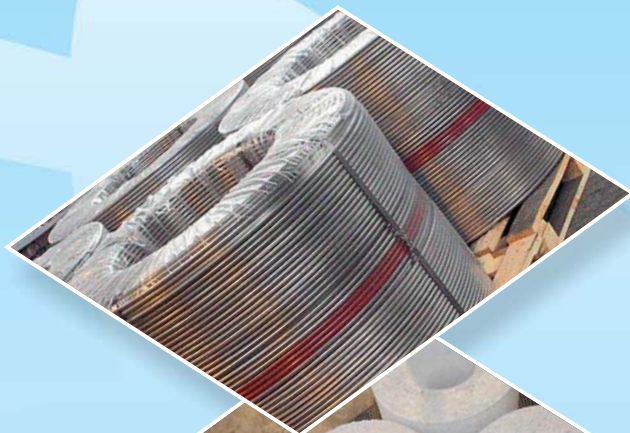
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

ТОРГОВО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

ФЕРРОКОМПЛЕКС

**Качественные технологии и материалы для металлургии
производства ООО «Промресурс», г. Нижний Тагил**

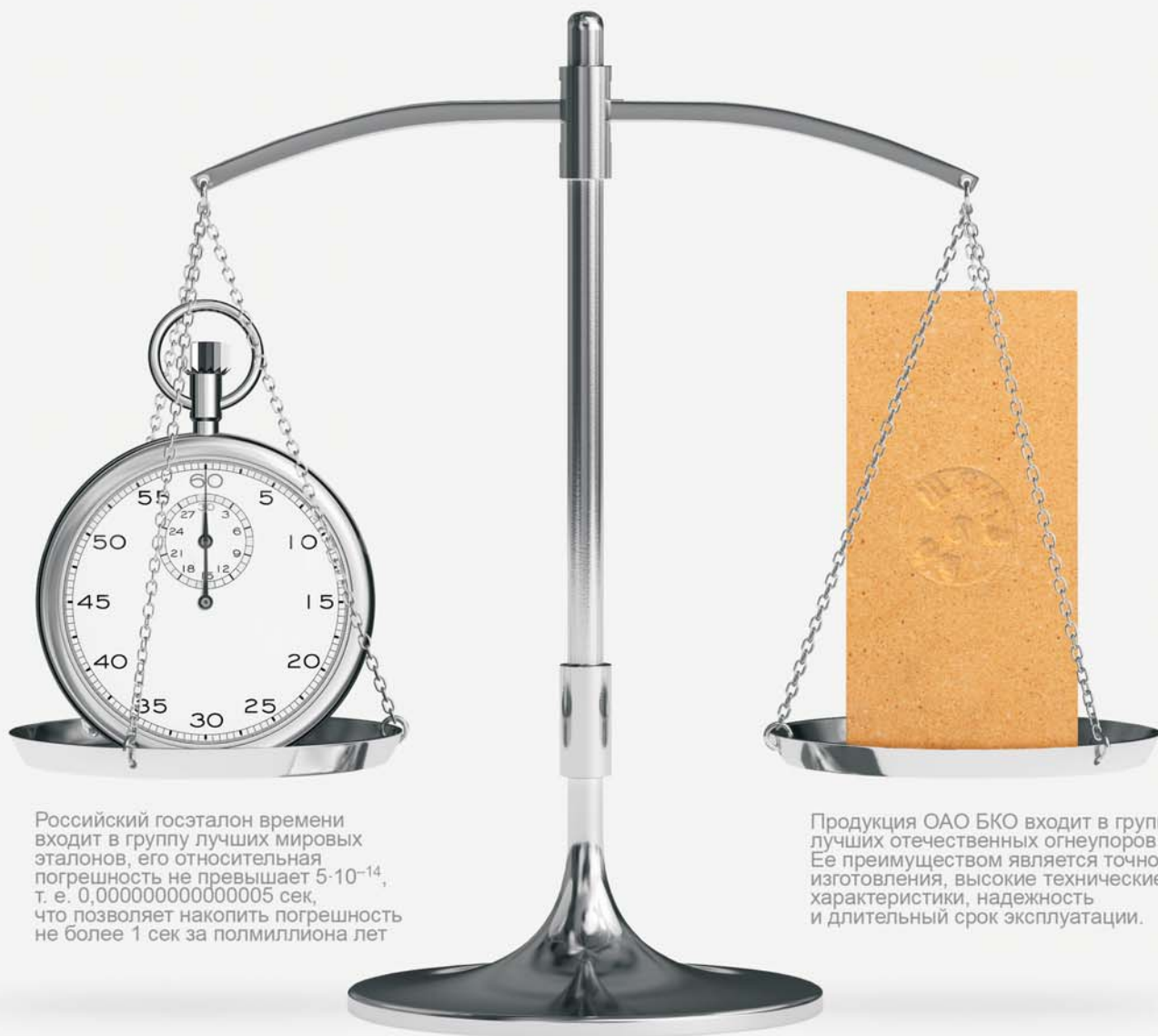
- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| ● Порошковая проволока | ● Современное оборудование |
| ● Донные продувочные узлы | ● Европейские технологии |
| ● Гнездовые блоки | ● Высококачественное сырье |
| ● Шибберная керамика | ● Квалифицированный персонал |
| ● Перегородки и пороги | ● Сопровождение при эксплуатации |
| ● Струегасители | ● Апробированные решения |
| ● Бойные плиты | ● Индивидуальный подход |
| ● Футеровка патрубков | ● Надежность и качество |
| ● вакууматора | ● Оптимизация затрат |



119121, Москва, 1-й пер. Тружеников, д. 14, стр. 2
ИНН 7743676899 • КПП 770401001
Тел. (495) 410-67-36 • Факс (499) 277 11 02
E-mail: info@fcomplex.ru



БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ



Российский госэтalon 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 сек 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 150 ТЫС. ТОНН ПРОПАНТОВ В ГОД. ПРЕДПРИЯТИЕ РАСПОЛАГАЕТ ЗАПАСАМИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ, ИМЕЕТ СОВРЕМЕННУЮ ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ И НАУЧНУЮ БАЗУ, АККРЕДИТОВАННЫЕ В СИСТЕМЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ ИСПЫТАТЕЛЬНУЮ И МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ЛАБОРАТОРИИ, КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КАДРЫ

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

WWW.BOROVICHI-NOV.RU

на современном оборудованием ведущих украинских и европейских компаний. Планируемая производитель-

ность участка по производству флюсов до 100 тыс. т в год.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

БЕТОНЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© Р. А. Дониц, Ю. В. Данилова, Д. Ю. Язовских

ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

С увеличением производства цементного клинкера сухим способом увеличивается спрос на неформованные огнеупорные материалы для футеровки тепловых агрегатов цементной промышленности. Управлением технологических разработок совместно с управлением инжиниринга Группы «Магнезит» разработаны составы бетонов различных марок для футеровки зон вращающихся печей цементного производства.

Бетон марки MAGCAST ASIC90-01 предназначен для горячего обреза печи. Производится на основе табулярного глинозема с добавкой карбида кремния. Обладает высокой стойкостью к истиранию при высоких температурах и к воздействию щелочей за счет образования пленки алюмосиликатного состава при высокой температуре; пленка препятствует инфильтрации щелочей. После термообработки при 1100/1500 °С обладает следующими свойствами: пределы прочности при сжатии 70/110 МПа, при изгибе 7/14 МПа, кажущаяся плотность 3,03/3,13 г/см³, открытая пористость 16/13 %, объемные изменения -0,4/+0,3 %. Массовая доля, %: Al₂O₃ 86,22, (Al₂O₃ + SiC) 99,6, SiO₂ 12,0, Fe₂O₃ 0,07, SiC 13,4.

Бетон марки MAGCAST A80-03 предназначен для холодного обреза печи, основания колосникового холодильника. Производится на основе электроплавленного белого корунда с бокситом. Имеет высокую стойкость к истиранию за счет образования муллита, который снижает пористость, увеличивает прочность и термостойкость бетона. После термообработки при 1100/1500 °С обладает следующими свойствами: пределы прочности при сжатии 70/190 МПа, при изгибе 6/30 МПа, кажущаяся плотность 2,97/3,14 г/см³, открытая пористость 18/13,5 %, объемные изменения +0,9/+4,3 %. Массовая доля, %: Al₂O₃ 88,53, SiO₂ 5,46, Fe₂O₃ 1,03.

Бетон марки MAGCAST A78-01 предназначен для свода колосникового холодильника, загрузочной каме-

ры печи. Производится на основе боксита. Обладает высокой стойкостью к истиранию. После термообработки при 1100 °С обладает следующими свойствами: пределы прочности при сжатии 160 МПа, при изгибе 14 МПа, кажущаяся плотность 2,8 г/см³, открытая пористость 18,5 %, объемные изменения -0,5 %. Массовая доля, %: Al₂O₃ 86,55, SiO₂ 5,78, Fe₂O₃ 2,18.

Бетон марки MAGCAST A40-01 предназначен для циклонных теплообменников. Производится на основе шамота с добавкой андалузита. Обладает хорошей стойкостью к щелочам. После термообработки при 1100 °С обладает следующими свойствами: пределы прочности при сжатии 90 МПа, при изгибе 9 МПа, кажущаяся плотность 2,19 г/см³, открытая пористость 18 %, объемные изменения -0,9 %. Массовая доля, %: Al₂O₃ 47,09, SiO₂ 45,3, Fe₂O₃ 2,85.

Бетон марки MAGCAST A40-02 предназначен для футеровки газоходов. Производится на основе шамота. После термообработки при 1100 °С обладает следующими свойствами: пределы прочности при сжатии 100 МПа, при изгибе 13 МПа, кажущаяся плотность 2,2 г/см³, открытая пористость 17 %, объемные изменения +0,2 %. Массовая доля, %: Al₂O₃ 55,7, SiO₂ 36,2, Fe₂O₃ 2,75.

Бетон марки MAGCAST ASIC40/15-01 предназначен для футеровки газоходов. Производится на основе шамота с добавкой карбида кремния и андалузита. Имеет высокую абразивную стойкость и стойкость к щелочам. После термообработки при 1100 °С обладает следующими свойствами: пределы прочности при сжатии 60 МПа, при изгибе 11 МПа, кажущаяся плотность 2,20 г/см³, открытая пористость 20 %, объемные изменения +1,7 %. Массовая доля, %: Al₂O₃ 41,85, SiO₂ 40,5, Fe₂O₃ 1,40, SiC 14,3.

В настоящее время разработанные бетоны применяются в ОАО «Сухоложскцемент», ОАО «Пикалевский цемент» и ОАО «Уралцемент».

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОГНЕУПОРЫ ОАО БКО ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ И КОНВЕРТЕРОВ ОАО НЛМК

© К. Т. н. А. В. Можжерин, к. т. н. А. П. Маргишвили, Г. В. Филин,
к. т. н. В. А. Мусевич, к. т. н. А. П. Дука

ООО «Торговый дом «БКО», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

ОАО БКО производит и серийно поставляет в ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» широкий спектр огнеупорных материалов для рабочего слоя футеровки 160-т сталеразливочных ковшей ККЦ-1, установок внепечной обработки стали типа печь-ковш вместимостью 330 т ККЦ-2, 160- и 350-т конвертеров. Традиционно реализуются изделия ШКУ-37 и КБУ для арматурного слоя футеровки сталеразливочных ковшей, обеспечивая безаварийную эксплуатацию металлурги-

ческих агрегатов. Осуществляются поставки гнездовых блоков КБТУ для сталеразливочных ковшей агрегата печь-ковш ККЦ-2 и составных блоков КБТУ/МКБТ для сталеразливочных ковшей ККЦ-1. Эти изделия полностью удовлетворяют требованиям металлургов ОАО НЛМК по своим физико-химическим характеристикам и ресурсам эксплуатации.

С 2006 г. ОАО БКО поставляет в ОАО НЛМК периклазоуглеродистые изделия для футеровки конвертеров.

Показатели эксплуатации рабочего слоя футеровки обеспечивают заявленную гарантированную стойкость. При этом достигаемые результаты постоянно улучшаются по мере совершенствования дизайна кладки, оптимизации качества огнеупорных изделий и эффективного использования ремонтно-восстановительных материалов. Наряду с огнеупорами для футеровки конвертеров предлагаются подварочные брикеты для ухода за футеровкой.

В 2011 г. после пуска в эксплуатацию в КЦ-2 ОАО НЛМК установки печь-ковш условия эксплуатации футеровки при повышенных эксплуатационных нагрузках ужесточились. Для обеспечения необходимой стойкости рабочего слоя футеровки ковшей в этих условиях специалистами ОАО БКО был изменен дизайн кладки в сочетании с выбором оптимальных свойств огнеупорных изделий и необходимых сырьевых ингредиентов для их производства. Проведена масштабная оптимизация всей технологической линии выпуска изделий на производственной площадке в КНР для получения принципиально новых огнеупорных изделий с улучшенными физико-химическими характеристиками. При эксплуатации футеровки уже подтверждены

гарантийные обязательства по стойкости 75 плавов. Дальнейшая совместная планомерная работа технических специалистов ОАО БКО и ОАО НЛМК по совершенствованию изделий и дизайна кладки обеспечит поэтапное достижение стойкости рабочего слоя футеровки до 80–85 плавов, что является главным итогом совместной деятельности. Достижение таких показателей осуществляется за счет адаптации свойств оксидоуглеродистых изделий к жестким условиям эксплуатации.

Начиная с 2011 г. ОАО БКО поставляет в КЦ-1 ОАО НЛМК оксидоуглеродистые изделия для рабочего слоя футеровки 160-т сталеразливочных ковшей. Стойкость комплектов составляет 85–88 плавов, что удовлетворяет требованиям специалистов ОАО НЛМК и соответствует гарантийным обязательствам. Кроме того, ОАО БКО осуществляет комплексные поставки огнеупорных материалов для футеровки сталеразливочных ковшей и конвертеров ОАО НЛМК, что позволяет более эффективно обслуживать ключевого потребителя. При этом продлеваются сроки и ресурсы безаварийной эксплуатации металлургических агрегатов при общем повышении стойкости футеровки.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

© О. Н. Пицик, Д. А. Найман, М. Ю. Турчин, И. Г. Беспалова
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Температура обжига изделий ответственного назначения, предназначенных для вакуумирования и разлива стали в периодической печи фирмы HED, США, достигает 1750 °С и выше. Конструкционные особенности агрегата предполагают использование в футеровке рабочего слоя стен и свода теплоизоляционных огнеупорных изделий, характеризующихся высокими показателями общей пористости и температуры начала деформации под нагрузкой.

При установке печи в комплекте поставки для футеровки использовали импортные огнеупоры. Специалистами Группы «Магнезит» разработана технология изготовления муллитокорундовых теплоизоляционных изделий, которая реализована в НПК «Магнезит». По физико-химическим показателям изделия соответствуют импортным. Показатели муллитокорундовых теплоизоляционных изделий приведены ниже:

Предел прочности при сжатии, МПа. 8,8
Кажущаяся плотность, г/см³:
по ГОСТ 34468 1,26
по ГОСТ 4071.2 1,43
Общая пористость, % (по ГОСТ 34468) 66,5

Температура деформации, °С
(по ISO 1893–89):

под нагрузкой 0,1 МПа. >1700
под нагрузкой 0,05 МПа >1700
Термостойкость (950 °С – воздух), теплосмены . . . 18
Остаточные изменения размеров
при нагревании (1550 °С, 2 ч), % –0,2
Теплопроводность, Вт/(м·К),
при температуре, °С (по ГОСТ 12170):
400 2,092
600 1,750
800 1,534
1000 1,396
1300 1,439

Массовая доля, %:

(MgO + CaO). 0,50
Al₂O₃ 86,1
SiO₂ 11,2
Fe₂O₃ 0,35
(K₂O + Na₂O) 0,21

* Среднестатистические показатели свойств.

В настоящее время разработанные огнеупоры эксплуатируются параллельно с импортными.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

НОВЫЕ ОКСИКАРБИДНЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ БЕТОНЫ ПРОИЗВОДСТВА RHI И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

© Ш. Пишек
ООО «РХИ Восток», Москва, Россия

Компанией RHI был разработан и внедрен новый тип бесцементных огнеупорных бетонов. Бесцементная технология позволяет производить быстрый и безопасный разогрев изделий из такого типа бетонов, а также обеспечивает более высокую огнеупорность изделий.

В состав бетонов входят углеродсодержащие добавки, антиоксиданты и специальное связующее. Готовые бетонные изделия устойчивы к термоудару, химической коррозии кислотными и основными шлаками, а также к эрозионным воздействиям металла и шлака.

ANKRAL Q2 – новая высококачественная марка от RHI



РЕКЛАМА

ANKRAL Q2 – основанный на инновационной Q-концепции, разработан для применения в переходных зонах и зонах спекания.

Сложная концепция сырьевых материалов, основанная на использовании шпинели гибридной технологии, позволяет достигать выдающихся технологических параметров на фоне привлекательных цен.

www.rhi-ag.com EXCELLENCE
IN REFRACTORIES

RHI

RHI: мировой лидер в огнеупорных технологиях

РЕКЛАМА

Для более чем 10.000 Потребителей в 180 странах – обозначение „сделано в RHI” – признак высшего качества в области огнеупорных технологий. Сила инноваций RHI основана на десятилетиях успешной работы в области развития и исследований в Технологическом Центре RHI г.Леобен. Более 150 экспертов в тесном сотрудничестве с ведущими университетами и отраслевыми институтами непрерывно работают над усовершенствованием материалов и концепций.

Для наших клиентов - это конкурентное преимущество от применения передовых технологий и максимальная эффективность их производственных процессов.

www.rhi-ag.com EXCELLENCE
IN REFRACTORIES



ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ООО «МАГНЕЗИТ-ТОРКРЕТ-МАССЫ»

© В. В. Смертин¹, к. т. н. М. И. Назмиев¹, Е. И. Поспелова¹, А. В. Илянкин², П. А. Баранов²¹ ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия² ООО «Магнезит-торкрет-массы», г. Сатка Челябинской обл., Россия

ООО «Магнезит-торкрет-массы», входящее в состав Группы «Магнезит», уверенно наращивает объемы производства. Продукция предприятия востребована потребителями и успешно конкурирует с импортной продукцией. Изучаются условия применения масс в промежуточных ковшах МНЛЗ, конвертерах и дуговых сталеплавильных печах; постоянно расширяется ассортимент огнеупорной продукции за счет реализации принципа индивидуального подхода к агрегатам на конкретных предприятиях. Производство торкрет-масс по годам: 2010 г. 42721,8 т, 2011 г. 44628,2 т, 2012 г. 51043,3 т.

В марте 2012 г. введена в эксплуатацию вторая производственная линия с годовой производительностью 25 тыс. т масс в год, что увеличило общую производительность предприятия до 65 т в год торкрет-масс, мертелей, набивных масс основного состава. Кроме того, введен в эксплуатацию второй измельчительный

комплекс КИ-1.6, что позволило полностью обеспечить тонкомолотой фракцией производство масс на предприятии, учитывая растущий объем производства — до 65 тыс. т в год. Производительность комплекса 4 т/ч.

Введен в эксплуатацию дробильно-сортировочный комплекс для получения новых видов продукции и реализации технологий с использованием периклазовых порошков узких фракционных составов, что позволяет организовать производство оригинальной продукции — например, сухих масс для промежуточных ковшей МНЛЗ. В настоящее время ведется строительство 2-го склада готовой продукции и сырья, ввод в эксплуатацию которого планируется в 2013 г. В планах предприятия — расширение ассортимента продукции, освоение новых технологий, совместная работа с потребителем по подбору и разработке все более эффективных видов неформованных огнеупорных материалов.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПЕРИКЛАЗОФОРСТЕРИТОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ РЕГЕНЕРАТОРОВ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

© В. В. Смертин, О. Н. Пицик, И. Г. Беспалова

ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Особенности службы огнеупоров в насадках и стенах регенераторов стекловаренных печей обуславливают специфические требования к каждому виду продукции в соответствии с их размещением в различных зонах футеровки. Как известно, температурный диапазон по высоте насадки лежит в интервале от 500 до 1500 °С и выше. Сочетание одновременного воздействия щелочных компонентов в газовой фазе и температурного градиента, достигающего 300–500 °С, связанных с выбросом горячих дымовых газов, обуславливает актуальность применения в футеровке термостойкого огнеупора с повышенной коррозионной устойчивостью.

Традиционно в кладке по высоте насадки используют следующие огнеупоры: шамотные (в нижней зоне), периклазохромитовые (в качестве разделительного слоя), периклазовые с массовой долей MgO от 91 до 98 % (в средней и верхней зонах). В современных дизайнах футеровки в верхнюю зону регенератора, работающую в более жестких условиях, устанавливают также периклазоциркононовые огнеупоры, высокие служебные характеристики которых обеспечиваются сформированной при высокотемпературном обжиге структурой с образованием таких фаз, как бадделит и форстерит. Эти фазы образуют защитную пленку вокруг зерен периклаза и препятствуют их прямому контакту с эродирующими газообразными компонентами. Производство высокочистых магнезиальных огнеупоров предполагает использование достаточно дорогостоящих компонентов, поэтому для повышения корро-

зионной устойчивости футеровки средней и верхней зон регенераторов в качестве альтернативы разработаны периклазофорстеритовые огнеупоры на основе плавного периклаза и плотноспеченного клинкера различной степени чистоты (см. таблицу).

Структура разработанных огнеупоров характеризуется присутствием форстеритовой связки, которая повышает степень их защиты от воздействия агрессивной среды, а также термостойкость до уровня более 20

Показатели	Разработанные огнеупоры*			Серийный огнеупор марки П-91*
	1	2	3	
Предел прочности при сжатии, МПа	80	90	70	95
Открытая пористость, %	15,9	16,8	15,6	18
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,98	2,94	2,92	2,87
Температура начала размягчения, °С (по ГОСТ 4070–2000)	1650	1660	1620	1600
Термостойкость (950 °С – воздух), теплосмены	30	30	20	1–2
Массовая доля, %:				
MgO	93,5	93,5	92,0	93,5
Al ₂ O ₃	0,10	0,12	0,32	—
SiO ₂	4,60	4,34	4,12	2,1
CaO	0,83	0,85	1,41	2,2
Fe ₂ O ₃	0,97	1,20	1,80	1,8

* Среднестатистические показатели свойств.

воздушных теплосмен при 1–2 теплосменах у традиционно применяемых периклазовых огнеупоров. При этом огнеупоры обладают высокими прочностными показателями — 70–90 МПа, открытой пористостью 16–17 % и температурой начала размягчения выше 1600 °С.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАСС ДЛЯ НАБИВКИ ТИГЛЕЙ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ

© М. Ю. Турчин, к. т. н. М. И. Назмиев, Д. В. Ганькин, Е. С. Алтынбаева
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группой «Магнезит» разработана масса МПКПЛИ периклазокорундового состава на основе высокочистых плавящихся периклазовых и алюмосодержащих материалов с массовой долей MgO не менее 74 %, Al₂O₃ не более 13 %. Масса предназначена для набивки тиглей индукционных печей предприятий литейной промышленности. Фракционный состав массы оптимизирован с целью обеспечения максимальной плотности набивного слоя. Комбинация магний- и алюмосодержащих компонентов подобрана таким образом, чтобы гарантировать максимальную стойкость тигля и увеличить его термостойкость. Футеровка, выполненная из массы, не дает глубоких трещин при охлаждении в межплавочные остановки и позволяет возобновить работу печи после полного охлаждения. Набивная масса МПКПЛИ разработана наряду с уже зарекомендовавшей себя набивной массой периклазошпинельного состава МПШПЛИ, однако превосходит ее по своим служебным характеристикам. Фракционный состав набивной массы МПКПЛИ мельче 5 мм. Массовая доля MgO не менее 74 %, Al₂O₃ не более 13 %, B₂O₃ от 0,15 до 1,00 %.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПОИСК ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

© М. А. Чашкин, М. В. Иванцов
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Постоянно растущие требования к качеству стали заставляют металлургов внедрять новые технологии производства, которые, как правило, влекут за собой увеличение нагрузки на металлургические агрегаты и, как следствие, на используемые в них огнеупорные материалы. Современные предприятия не обходятся без агрегатов внепечной обработки стали. Современные технологии превратили сталеразливочный ковш из емкости для транспортировки и разлива стали в тепловой агрегат доводки металла. Соответственно ужесточились условия эксплуатации рабочего слоя футеровки: значительно увеличилась длительность пребывания металла в ковше; повысилась температура нагрева металла при вакуумировании; доводка металла по химическому составу потребовала присадок различных раскислителей и ферросплавов; при обработке стали в установках печь-ковш происходило воздействие на футеровку шлакового пояса электрической дуги и высокотемпературных агрессивных шлаков; донная продувка инертными газами вызывала интенсивное движение металла по всему объему ковша.

Воздействие вакуума, а также высокие температуры металла и шлака создают благоприятные условия

В настоящее время в специализированной лаборатории материаловедения Группы «Магнезит» по разработанной методике определяют устойчивость новых огнеупоров к пропитке силикатсодержащими компонентами (стекла и продукты пылеуноса различного состава) в сопоставлении с устойчивостью традиционно применяемых огнеупоров.

Испытания новой массы показали не только увеличение стойкости тигля на 20–40 %, но и возможность эксплуатации тигля в нестабильном режиме с глубоким охлаждением футеровки. Набивная масса МПКПЛИ успешно прошла испытания на одном из металлургических предприятий Урала. Индукционная печь выводилась из работы по окончании кампании агрегата на уровне 25–28 плавов; при этом остаточная толщина футеровки позволяла продолжить эксплуатацию. В условиях СКБ «Турбина» осуществляли плавку нержавеющей стали в печи, футерованной массой МПКПЛИ. Печь работала в режиме одна плавка в 2–4 дня с полным охлаждением футеровки. Длительность одной плавки составляла от 5 до 7 ч. Общая стойкость футеровки составила 10 плавов за один месяц. В настоящее время тигель находится в работе. Эксплуатация агрегата продолжается.

По нашему мнению, на данный момент масса МПКПЛИ — лучший вариант для небольших литейных заводов с периодическим циклом работы.

для проникновения металла в швы футеровки. Это влечет за собой предельно высокие требования к геометрическим размерам изделий. На комбинате «Магнезит» проведен ряд мероприятий, направленных на улучшение геометрических размеров изделий. При этом используются новые методы прессования изделий, позволяющие обеспечить минимально допустимые отклонения по размерам, лимитирующим проведение кладочных работ. Благодаря внедренным новшествам появилась возможность изготавливать изделия с допустимыми отклонениями по линейным размерам менее ±0,5 мм. В рамках проведения работ, направленных на увеличение стойкости сталеразливочных ковшей, специалистами службы инжиниринга Группы «Магнезит» при проектировании футеровки уделяется внимание термомеханическим нагрузкам, возникающим в футеровке в процессе службы. Эти нагрузки являются причиной растрескивания рабочего слоя футеровки шлакового пояса и стен, а также размывания швов и образования так называемой «брусчатки», что обусловлено зачастую скалыванием ребер изделий.

Многие потребители не уделяют внимания качеству заполнения огнеупорным материалом пространства между рабочим и арматурным слоями футеровки (буферный слой). По нашему мнению, буферный слой —

защита, амортизатор, резервный запас. В соответствии с этим выполнен комплекс работ по подбору оптимальных фракционного и вещественного составов буферных масс, проведены эксперименты по разработке методики подбора оптимальных компенсационных и буферных зазоров для ковшей различной вместимости. Установлено, что на 100–130-т ковшах при толщине буферного слоя из материалов Группы «Магнезит» 10–15 мм достигаются наилучшие результаты — вертикальные трещины в рабочем слое футеровки отсутствуют.

Проводятся также работы, направленные на защиту металлической обечайки сталеразливочного ковша, которая, в свою очередь, обеспечивает фиксацию футеровки при необходимом безопасном напряжении в ней в вертикальном направлении. Разработаны и успешно испытаны изделия, которые создают защиту ме-

таллической обечайки при сливе шлака и переливах металла, а также выполняют функцию опалубки при заливке обечайки защитным слоем бетона. Для достижения механической прочности верхнего защитного кольца в целом, выполненного такими изделиями, непосредственно в тело самого изделия впрессована металлическая пластина, обеспечивающая спекание изделий между собой.

Совместно со специалистами управления технологических разработок постоянно ведется поиск новых путей в области повышения качества огнеупорных материалов, используемых в футеровке сталеразливочных ковшей. Однако без тесного сотрудничества с инженерно-техническими службами металлургических предприятий модернизация схем и дизайна футеровки, а также применение новых материалов для футеровки тепловых агрегатов невозможны.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «ПАНТЕЛЕЙМОНОВСКИЙ ОГНЕУПОРНЫЙ ЗАВОД»

© К. Т. н. Т. В. Ярушина¹, Р. И. Дикарёва², И. В. Калашник², В. А. Акбашев¹, А. Г. Макаренко²

¹ ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

² ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод», г. Горловка Донецкой обл., Украина

В ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод», Украина, вошедшем в состав Группы «Магнезит» в феврале 2012 г., освоено производство современных периклазоуглеродистых изделий на основе высококачественного плавного периклаза из магнезита Красноярского месторождения. Классификация периклазоуглеродистых изделий ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод» насчитывает около 30 основных марок и более 150 их подвидов. Изделия, изготовленные по новой технологии с комбинированным связующим, характеризуются высоким содержанием MgO — не менее 97 %. В зависимости от марки массовая доля углерода в изделиях может составлять от 8 до 14 %, кажущаяся плотность от 3,05 до 3,15 г/см³, открытая пористость от 1,5 до 4,0 %, предел прочности при сжатии от 35 до 60 МПа.

Опытные партии огнеупоров ППУ успешно испытаны на металлургических предприятиях Украины:

— в ПАО «МК «Азовсталь» стойкость рабочего слоя футеровки стен и шлакового пояса 350-т сталеразливочных ковшей ККЦ, выполненного изделиями ППУ 472Б и ППУ 263Б, составила 95–96 плавов (при гарантированной стойкости 70 плавов);

— в ПАО «Алчевский металлургический комбинат» стойкость рабочего слоя футеровки стен 300-т сталеразливочных ковшей ККЦ, выполненного из изделий ППУ 472Б, составила 75–79 плавов (при гарантированной стойкости 70 плавов);

— в ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат» стойкость рабочего слоя футеровки стен 250-т сталеразливочных ковшей ККЦ составила 69 плавов без замены шлакового пояса при гарантированной стойкости 65 плавов с заменой шлакового пояса.

В первом квартале 2013 г. планируется проведение испытаний периклазоуглеродистых изделий в условиях еще трех металлургических предприятий Украины: в футеровке 160-т сталеразливочных ковшей ККЦ ПАО «Енакиевский металлургический завод», в футеровке электродуговой печи и 60-т сталеразливочных ковшей ЧАО «Азовэлектросталь», а также в 250-т сталеразливочных ковшах мартеновского цеха ПАО «Запорожсталь». К концу 2013 г., после реконструкции поточных линий по приготовлению масс и запуска новой печи термообработки изделий объем выпуска углеродсодержащих огнеупоров для сталеплавильного производства в ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод» возрастет до 25 тыс. т в год.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И ЛИТЕЙНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

© А. Г. Головкин, к. т. н. Е. И. Гордеев, д. т. н. В. И. Золотухин, Д. А. Провоторов
ООО НПП «Вулкан-ТМ», г. Тула, Россия

Последняя разработка НПП «Вулкан-ТМ» — шиберный затвор серии ВТ-60/80 с комплектом многоплавочных огнеупоров для 160-т сталеразливочных ковшей прошел испытания и успешно эксплуатируется в ЗАО НСММЗ (г. Ревда); в настоящее время ведутся его серийные поставки. Для различных условий эксплуата-

ции разработаны две модификации затвора — с боковым и вертикальным открытием. Конструкция затвора позволяет устанавливать его на уже имеющиеся посадочные места и может быть легко адаптирована к использованию существующих на предприятиях систем привода. Оригинальным решением для всех затворов

серии ВТ является механизм прижима, имеющий два пружинных блока, состоящих из жаропрочных тарельчатых пружин, вынесенных из зоны высокотемпературного нагрева. В 2012 г. НПП «Вулкан-ТМ» приняло участие в тендере на поставку шибберных затворов серии ВТ-60/80 и огнеупоров к ним в ООО УГМК-Сталь (г. Тюмень), где одержало победу. В связи с этим в настоящее время ведется подготовка серийных поставок шибберных затворов и огнеупоров к ним для полного оснащения электросталеплавильного цеха. Запуск шибберных затворов в эксплуатацию запланирован в марте 2013 г.

Налаживание производства огнеупорных изделий методом виброформования обусловлено достаточно недорогим способом изготовления конечного высококлассного продукта при наличии необходимого технологического оборудования. К сожалению, как десять лет назад, так и сейчас специализированное оборудование для данного производства в России отсутствует. Все производимое оборудование подходит только для изготовления крупногабаритных изделий, используемых в строительстве. Учитывая необычайную дороговизну импортного смесительного оборудования, было принято решение спроектировать и изготовить смеси-

тельное оборудование силами НПП «Вулкан-ТМ» совместно с Тульским государственным университетом.

В настоящее время разработаны, изготовлены и используются в производстве три вида смесительного оборудования — СИД-1, СИД-2 и СИД-3, которое позволяет подготавливать огнеупорную массу надлежащего качества. Исследования показали, что шихта, получаемая в этих смесителях, отвечает всем предъявляемым требованиям к смесителям данного типа: равномерное смешивание и усреднение по объему всех фракций огнеупорного наполнителя, получение однородной пастообразной массы при минимально возможном добавлении влаги, минимальное время смешивания за счет внедрения интенсивного метода перемешивания огнеупорной массы. Применение смесительного и вибрационного оборудования производства НПП «Вулкан-ТМ» позволяет производить разнообразные по типоразмерам, а также по составам и качеству огнеупорные изделия, расширять их номенклатуру и удовлетворять все требования заказчика. Специалисты НПП «Вулкан-ТМ» постоянно ведут работы по совершенствованию и улучшению работы смесительного и вибрационного оборудования, доводя его работу до необходимого уровня, отвечающего уровню работы импортного оборудования.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

РАЗГРУЗКА КОНТЕЙНЕРОВ КОНТЕЙНЕРНОГО ПНЕВОТРАНСПОРТА СЕГОДНЯ, ПНЕВОТРАНСПОРТ ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ

© Д. т. н. С. Я. Давыдов¹, д. т. н. Н. П. Косарев¹, д. т. н. Н. Г. Валиев¹,
к. т. н. Д. И. Симисин¹, к. иск. В. А. Курочкин²

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

² Уральская государственная архитектурно-художественная академия, г. Екатеринбург, Россия

Анализ технической и научной литературы показал, что производительность систем контейнерного пневмотранспорта (КПТ) зависит главным образом от участков загрузки и разгрузки. Увеличение производительности может быть обеспечено непрерывностью движения контейнеров на этих участках. Безостановочная загрузка контейнеров решена конструктивно, подобно загрузке пластинчатых конвейеров или конвейерных поездов с перегородками. Вместе с тем разгрузка горной массы без остановки контейнеров путем их поворота вокруг осевой линии зависит от процесса высыпания насыпного груза. На участках загрузки и разгрузки контейнеры принудительно и безостановочно передвигаются приводным устройством, состоящим из непрерывно вращающихся шин трения. Размещение шин предусмотрено таким образом, чтобы они всегда контактировали с контейнерами. Помимо массивных шин по ГОСТ 5883 возможно использование шин автомобильных и горных машин. После предварительных исследовательских работ в качестве приводных шин для передачи тягового усилия для контейнеров были использованы авиационные шины.

Особенности транспортных систем КПТ: высокие пропускная способность и производительность труда, простота и надежность технологического оборудования, независимость от погодных-климатических условий, экономичность, экологическая нейтральность, малые отчуждаемые площади. В процессе поворота контейнера часть материала в каждый определенный

момент остается неподвижной. Для анализа этого процесса особое значение имеет определение границы между подвижной и относительно неподвижной частями материала, т.е. поверхности скольжения или поверхности естественного откоса. В процессе разгрузки большая масса частиц отрывается от нижележащих слоев материала, не дойдя до разгрузочной кромки. Частицы, пришедшие в движение относительно контейнера, или скользят по поверхности естественного откоса вниз, или отрываются от этой поверхности и двигаются далее по параболической траектории. Это зависит от угловой скорости контейнера, положения частиц в контейнере, его радиуса и свойств материала. Таким образом, ограничивающим параметром пропускной способности системы КПТ является скорость движения контейнеров на участке разгрузки, зависящая от угловой скорости.

Результаты теоретических исследований были подтверждены экспериментальными исследованиями с использованием осциллографа НО43. Типовые осциллограммы записи времени разгона привода показали то, что время t_p пуска (разгона) установки почти в 2 раза меньше времени от начала ее вращения до начала высыпания груза. С учетом того, что разгон установки завершается до момента наступления процесса высыпания груза, угловая скорость контейнера в процессе разгрузки принималась постоянной. С учетом многочисленных проектов по использованию КПТ и небольшого опыта по кураторству ТЭО, изыскательских и

проектных работ и освоения лимитов строительства Свердловского метрополитена 1975–1976 гг. предлагается следующее. В случае использования в системе КПТ открытого участка меньше состава контейнеров этот вид транспорта предлагается использовать для комфортной перевозки рабочих на территории с суровым климатом, например в Норильске. В этом случае КПТ будет называться пассажирским пневмотранспортом (ППТ) — пневмотранспортом завтрашнего дня. В данном случае приемные станции подобны станциям метрополитена. Новшеством станционных участков является то, что поезда с открытыми дверями на этих участках движутся непрерывно со скоростью перемещения движущихся тротуаров. Закрытие этих дверей происходит при проходе в транспортный трубопровод.

Пневмопоезд ППТ обладает рядом отличительных особенностей. Одна из них — высокая скорость передвижения (150–200 км/ч). При этом поезд движется настолько плавно, что пассажир, стоящий посреди салона и не имеющий опоры, не рискует упасть ни во время движения, ни во время торможения или разгона состава. Трубная магистраль, по которой курсирует состав, может быть проложена под землей, под рекой, над рекой, на эстакаде. В эстакадной схеме пневмопоезд и трубная магистраль могут быть выполнены прозрачными; работа ППТ не зависит от погодных условий. Транспорт экологически чистый и не загрязняет окружающую среду. Благодаря возможности прокладки трубо-

проводов в горных условиях, болотистой местности и в труднодоступных районах системы ППТ можно применять там, где использование других видов транспорта связано с очень большими техническими трудностями и материальными затратами. Число обслуживающего персонала минимально, что создает благоприятные условия для внедрения систем ППТ в отдаленных районах с ограниченными трудовыми ресурсами. Перемещение пассажиров осуществляется в комфортных условиях, в эргономически проработанных креслах. Интерьер с оборудованием решен в современном ключе с учетом дизайнерских тенденций.

Расчеты ППТ, выполненные применительно к трассе платформа Малино — г. Зеленоград протяженностью 6 км, показали, что этот вид транспорта по капитальным затратам и эксплуатационным расходам приблизительно в 2 раза дешевле метрополитена и лишь немного уступает ему по пропускной способности. При компоновочной схеме с количеством необходимых трасс целесообразная скорость движения пневмопоездов в городском режиме 72 км/ч с ритмичностью 10–12 с. Новая транспортная трасса на 2/3 прозрачна и имеет 2 м в диаметре, вписывается в контур города. Перевозка осуществляется на высоте 10–12 м, не закрывает зону освещения; при острейшем дефиците строительных площадей опоры занимают всего 4 м². Таким образом, все вышеперечисленные разработки и предложения были выполнены в свете транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 г.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОВИНТОВЫХ НАСОСОВ

© Д. т. н. С. Я. Давыдов¹, д. т. н. Н. П. Косарев¹, д. т. н. Н. Г. Валиев¹,
к. т. н. Д. И. Симисинов¹, Д. А. Панов²

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ЗАО «РОСМАШИНЖИНИРИНГ», г. Екатеринбург, Россия

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются 4 основных типоразмера пневмовинтового насоса (ПВН) непрерывного действия производительностью от 10 до 100 т/ч. Первоначально конструкция отечественных ПВН в точности повторяла конструкцию насосов фирмы «Fuller», США. В дальнейшем конструкция основных рабочих органов отечественных насосов была усовершенствована, что значительно улучшило эксплуатационные показатели, повысило долговечность и надежность этих машин. Недостатком известных устройств пневмотранспорта является то, что при повышении давления в смесительной камере увеличивается сопротивление перемещению материала напорным шнеком и возрастает перетекание воздуха через шнек в загрузочную камеру. При обратном движении смеси материала и газа происходит забивание сопел. В этом случае уменьшается надежность работы всей системы пневмотранспорта. Дополнительная продувка пневмотранспортной установки требует значительного количества сжатого воздуха.

На Березниковском содовом заводе при транспортировании легкой соды марки Б из отделения кальциниции цеха № 1 в отделение по производству кальцинированной соды марки А использовали ПВН отечественных и зарубежных конструкций, которые работали с частыми остановками и не давали желаемой произво-

дительности по материалу. После вскрытия и тщательного обследования одного из насосов ПВН на промышленном предприятии была дана рекомендация по изменению трассы и использованию азроднища в камере смешения насоса, что способствует интенсивному аэрированию сжатым воздухом транспортируемого материала.

Исследования, проведенные на промышленном предприятии, позволили предложить модернизацию ПВН. В результате установки регулируемого сопла перед обратным клапаном и по длине транспортного трубопровода уменьшены энергозатраты на перемещение транспортируемого материала, увеличены производительность пневмотранспорта и дальность подачи материала, снижен абразивный износ транспортного трубопровода, а также повышены надежность и стабильность работы пневмотранспорта. Было отмечено также, что на длинных трассах винтовые насосы необходимо все-таки заменять на камерные.

Экономический анализ затрат на приобретение и эксплуатацию пневмовинтового насоса фирмы «IBAU», Германия, и пневмокамерного насоса (ПКН) российского производства со встроенными энергосберегающими устройствами (ВЭУ), которые успешно были внедрены на предприятиях России, показал следующее:

- замена ПВН на ПКН с ВЗУ позволяет в течение одного года окупить затраты за счет экономии электроэнергии, которая ранее тратилась на привод шнека, и сократить потребление сжатого воздуха на транспортировку сыпучих материалов. При этом не требуется изменять диаметры транспортных трубопроводов;

- ПКН с ВЗУ экономичнее ПВН, поскольку не имеет электромеханических устройств для проталкивания перекачиваемого продукта в смесительную камеру;

- трудозатраты персонала на обслуживание ПКН значительно ниже, чем на ПВН. Нормы амортизационных отчислений на капитальный ремонт ПКН ниже, чем на ПВН, в 2,4 раза;

- ПКН имеет более высокий коэффициент использования, чем ПВН, прежде всего из-за отсутствия быстроизнашиваемых узлов: шнека, гильзы, обратного клапана и электромеханического привода.

Режим пневмотранспорта плотного слоя с минимальным удельным расходом воздуха возможен только при использовании пневмотранспортных насосов с высоким давлением воздуха — ПКН. При одинаковой

производительности насосов по материалу ПВН имеет расход воздуха в 2 и более раз выше, чем ПКН, при работе ПКН в режиме плотного слоя — в 4–5 раз. Основная причина неэффективной работы ПВН — рабочее давление, часто составляющее более 0,15 или 0,1 МПа, хотя обычно декларируются 2 МПа. Это вызвано прохождением сжатого воздуха сквозь клапан и винт в противоположную сторону. ПКН использует рабочее давление компрессора практически полностью, в камере оно может составлять от 0,4 до 0,6 МПа.

В 2011 г. в ОАО «Березниковский содовый завод» успешно проведена модернизация ПВН с увеличением производительности на 36 %. В 2012 г. в компании «РОСМАШИНЖИНИРИНГ» совместно с компанией «RUD Ketten» (конвейеры, элеваторы) и ООО ЗПТО (пневмокамерные насосы) выполнен проект и успешно пройдена экспертиза промышленной безопасности по модернизации трех транспортных линий в ОАО «Березниковский содовый завод» с учетом вышеуказанных рекомендаций.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ФУТЕРОВОЧНЫЙ ТЕЛЕСКОП ТБР ДЛЯ БЕЗОПАСНОЙ И БЫСТРОЙ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРА

© Д.-инж. В. Московчук

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

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

Футеровочная площадка внутри конвертера создает тесноту рабочего места, поэтому в большинстве случаев еще до подачи в конвертер кирпич сортируется и готовится предварительно еще вне площадки. Разработанный фирмой «TBR casting technologies GmbH» (ТБР), дочерней структурой INTECO, футеровочный телескоп предусматривает автоматизацию процесса пересортировки кирпича, снижая таким образом нагрузку на рабочих. Разработанная система в настоящее время является предметом патентного подтверждения и скоро будет предложена потребителю. В большинстве случаев сегодня применяется дифференцированная схема футеровки, включающая укладку огнеупорных изделий различного состава, формы и размеров в зависимости от нагрузки (термической, механической, химической, коррозии/эрозии) в процессе службы для достижения равномерного износа футеровки. Изделия одного состава и двух форматов обычно упаковываются изготовителем заранее, для изделий составов от 2 до 10 разных форматов на кольцо необходима предварительная пересортировка.

Система автоматизации фирмы ТБР обеспечивает пересортировку кирпича согласно чертежу кладки до начала подъема поддонов на футеровочную площадку. Подъем происходит при помощи телескопического подъемника (лифта). ТБР-концепция лифта с площа-

дью загрузки 1,2×1,0 м² предусматривает подъем либо до четырех человек, либо двух поддонов по 1,5 т каждый (до шести поддонов на площадке футеровки); площадка поднимается со скоростью 2 м/мин. Кроме того, площадка оснащена (до 6 шт.) ножничными подъемными тележками с бесступенчатой перестановкой по высоте (таким образом, обеспечивается эргономное перемещение тяжелого кирпича по высоте и в плане), а также краном грузоподъемностью 1,8 т для упрощения перестановки поддонов и тележек на площадке футеровки. Конструктивно проверяли также возможность дооснащения площадки манипулятором, но такой вариант оказался технически мало привлекательным. Особенности телескопа ТБР выгодно отличают его от других конструкций. Это касается прежде всего:

- улучшения условий работы (расстояние конвертер – площадка футеровки 1050–1450 мм подгоняется под размеры конвертера для эргономически правильной футеровки верхнего конуса и горловины, ножничные подъемные тележки);

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

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

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

Вся конструкция футеровочного телескопа может транспортироваться краном, сама технология проведе-

ния футеровочных работ для персонала остается неизменной, переобучения не требуется.

Описанные ранее зафиксированные законодательные требования по безопасности и организации труда при выполнении кладки конвертеров ведут к тому, что большинство конвертерных цехов в Европе вынуждены обновлять парк своего оборудования, а машиностроители (на примере представленного телескопа от ТБР для футеровки конвертеров со съёмным днищем) — предлагать реальные альтернативы существующим установкам. Поэтому приоритетной целью разработки

нового телескопа было не столько значительное сокращение времени на проведение футеровочных работ, сколько снижение физической нагрузки на персонал и предоставление металлургам агрегата, который бы полностью соответствовал современным требованиям техники безопасности и охраны здоровья рабочих. Остается надеяться, что и предприятия России, Украины, Казахстана рано или поздно проникнутся оправданной заботой европейских работодателей о здоровье и безопасности своих работников и примкнут к процессу обновления.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ ГЛИНОЗЕМОВ

К. т. н. В. Я. Потапов, д. т. н. С. Я. Давыдов, к. т. н. В. В. Потапов

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

Поскольку глинозем не всегда достаточно однороден по составу, целесообразно выделение из глины твердых включений, их разрушение и объединение основной массы глины с измельченными твердыми включениями. Прямая дезинтеграция глин с разрушением твердых включений неперспективна из-за демпфирующего эффекта, создаваемого глинистой частью материала. Используемые в настоящее время при подготовке глинистого сырья грохоты, колки, валки недостаточно эффективно удаляют из массива твердые включения (кварц, диабаз, базальт) и, кроме того, частично разрушают их и перемешивают с массивом глин. Установлено, что в сформованном кирпиче содержатся твердые включения класса $-20 + 2$ мм, которые после обжига ухудшают его структуру, а также прочность, что приводит к 10–15 %-ному браку всей партии.

В технологии подготовки глины для улучшения ее спекаемости предусматривается ее отощение за счет введения твердых тонкомолотых наполнителей — шлаков и присутствующих в глинистом сырье твердых включений в виде гравия класса $-1 + 0$ мм. Для повышения эффективности извлечения твердых включений из глины была предложена технология, основанная на различии в эффекте взаимодействия кусков разделяемых компонентов с рабочей поверхностью аппарата. Признак разделения оценивали по коэффициентам трения, упругости и формы. Для определения физических параметров сырья была использована специально разработанная методика оценки упругих и фрикционных характеристик. Гранулометрический состав изуча-

ли на глинистом сырье Асбестовского кирпичного завода.

Для подбора конструкции аппаратов, их параметров, а также схем обогащения глинистого сырья проведены теоретические и экспериментальные исследования процесса разделения на полупромышленных моделях сепараторов с подвижной (барабанно-полочный фрикционный сепаратор БПФС-3) и неподвижной (сепаратор для разделения сыпучих материалов по трению и упругости — СПРУТ) разделительными поверхностями. Продукты подвергали ситовому анализу с оценкой количества выделенных твердых и глинистых включений в каждом классе крупности. Хвосты от сепараторов СПРУТ и БПФС (твердые включения) в дальнейшем дробили в роторной дробилке и использовали в качестве наполнителей для отощения глины.

Данные о фрикционных и упругих характеристиках глинистого сырья свидетельствуют о высокой контрастности исследуемого признака и возможности использования этих свойств для разделения продуктов, входящих в глиноземное сырье. Предлагаемые технические решения на базе сепараторов СПРУТ и БПФС могут быть использованы в схемах подготовки сырья в производстве кирпича на других предприятиях для повышения качества продукции и адаптированы с учетом специфики глиноземного сырья и предприятий — производителей кирпича.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

СОВРЕМЕННЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ В ОГНЕУПОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© К. ф.-м. н. В. Н. Прибора

Компания «Bruker», Москва, Россия

В связи со спецификой применения огнеупорных материалов современные производители и потребители предъявляют высокие требования к качеству продукции. Основные методы контроля качества при производстве огнеупоров включают определение элементного состава образцов, а также тип и соотношение кристаллических фаз (фазовый анализ). Следует отметить, что такой контроль осуществляется на всех этапах производства продукции — начиная от анализа входного сырья, контроля промежуточных стадий процесса и заканчивая оценкой конечного продукта.

Элементный состав, или, как его называют, химический состав, удобно и быстро определяется методом рентгенофлуоресцентного анализа. Компания «Bruker» предлагает современные спектрометры — высокоскоростной последовательный S8 TIGER, многоканальный S8 LION, многоканальный с обзорным каналом S8 DRAGON, позволяющие количественно и с высокой точностью определять элементы от бериллия до урана в концентрациях от единиц ppm до 100 % в твердых, порошкообразных и жидких пробах. В частности, концентр «RHI Refractories» использует спектрометр S8 TIGER для контроля технологического процесса на



Рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный спектрометр **S8 TIGER**

- Определение химического состава материалов
- Простая и быстрая пробоподготовка
- 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}**

Энергодисперсионный спектрометр **S2 RANGER**

- Анализ элементов от натрия (11) до урана (92)
- Уровень измеряемых концентраций от миллионных долей (ppm) до 100%
- Компактный дизайн со встроенным вакуумным насосом, компьютером, сенсорным экраном и принтером - требуется только подключение к электропитанию
- Автоматический загрузчик на 28 позиций с произвольным доступом. Проба загружается со съемного лотка в изолированную измерительную камеру

Innovation with Integrity

Современный рентгеновский анализ в промышленности



Настольный рентгеновский дифрактометр **D2 PHASER**

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

Рентгеновский дифрактометр **D4 ENDEAVOR**

- Фазовый анализ большого количества проб
- Быстрый анализ при помощи позиционно-чувствительного детектора
- Интегрирование в производственные линии
- Дифрактометр **D4 ENDEAVOR** специально разработан для автоматизированной системы контроля качества в промышленности

XRF/XRD

нескольких заводах. Благодаря современному программному обеспечению спектрометры легко интегрируются в общую систему управления качеством на производстве.

Фазовый анализ образцов проводится методом рентгеновской дифракции. Для решения этой задачи нами предлагаются дифрактометры D8 ADVANCE, D2 PHASER и D4 ENDEAVOR, позволяющие анализировать готовые образцы продукции и контролировать этапы производства. Использование термокамеры позволяет существенно расширить возможности аналитической лаборатории для моделирования процессов производства. Если объем производства незначителен либо необходимо проводить анализы в «поле», то стоит обратить внимание на компактный дифрактометр D2 PHASER, требующий для работы только стандартную

электророзетку. На крупных заводах с большим объемом производства хорошо зарекомендовал себя промышленный дифрактометр D4 ENDEAVOR, который встраивается в имеющуюся производственную линию и позволяет максимально автоматизировать процесс анализа.

Компания «Bruker» имеет большой опыт применения аналитических приборов в огнеупорной промышленности, что позволяет нашим специалистам помогать пользователям отрабатывать методики конкретных аналитических задач, включающих вопросы пробоподготовки и калибровки аналитических систем. Кроме того, компания обладает готовыми решениями для анализа различных материалов. В России пользователями оборудования компании «Bruker» являются, в частности, корпорация «ТехноНИКОЛЬ» и ООО «Кералит».

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

КИРПИЧНЫЕ ЗАВОДЫ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

© А. В. Рукавицын, В. Е. Мирошников, М. Г. Туров
ООО «ИНТА-СТРОЙ», г. Омск, Россия

Коллективом предприятия разработана технология полусухого прессования с последующим обжигом в шахтных печах. Для огнеупорной промышленности она интересна тем, что позволяет использовать низкосортные и малопригодные для огнеупорных изделий глинистые материалы. Производственный процесс начинается с подготовки сырья, в результате которой получается однородный пресс-порошок, стабильный по влажности и гранулометрическому составу. В агрегате загрузки сырья происходят первичное рыхление глины и ее дозированная подача в линию. Попадая в установку «Каскад», сырье гомогенизируется, перемешивается и гранулируется. В итоге получаются относительно ровные по размерам и однородные по составу гранулы, которые направляются в сушильный барабан. Подсушенные гранулы попадают в стержневой смеситель, в котором растираются в пресс-порошок. Далее постоянный по влажности (~10 %) и гранулометрическому составу пресс-порошок отправляется в бункер-накопитель, где вылеживается перед прессованием.

Однопозиционный пресс высокой производительности (1400 шт./ч), в котором кинематика поддерживает заданное давление внутри камеры прессования (40,0 МПа), а система автоматизации следит за толщиной кирпича-сырца ($\pm 0,5$ мм) и при необходимости корректирует объем засыпаемого в рабочую камеру пресс-порошка, позволяет прессовать кирпичи одина-

ковой плотности с высокими прочностными характеристиками, соответствующими марке М300. Отпрессованный кирпич-сырец манипулятором укладывают в кассеты и отправляют в герметичные сушильные камеры. Тепло отбирается от печных газов через систему теплообменников и вентиляторов. Системой автоматики поддерживаются заданная температура и влажность теплоносителя в каждой камере. Высушенный сырец в тех же кассетах накапливается в вертикальной шахте вблизи печи и по мере необходимости подается на обжиг. Весь процесс занимает 19 ч. После сушки манипулятор разгружает кассеты с сырцом, формируя над печью слой садки. Выемку обожженного кирпича из печи осуществляет устройство «снижатель», на котором стоит садка. Кирпич, пройдя все стадии (нагрев, обжиг, охлаждение), попадает на участок упаковки. Манипуляторы формируют из него пакет общей массой около 1 т, увязанный лентами и стрейч-пленкой.

Следует отметить, что все процессы работы завода контролирует система автоматики, выводя данные на дисплей оператора. Таким образом, приобретая завод нового поколения, можно получить дополнительную прибыль не только за счет снижения общих расходов (на топливо, на строительство) и автоматизации производства, но и прежде всего за счет получения качественной продукции из сырья, ранее считавшегося отходом производства.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

СОВРЕМЕННОЕ ФУТЕРОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМПАНИИ «BRICKING SOLUTIONS» ДЛЯ ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

© А. С. Спицин

Представительство компании «Hoganas Bjuф АВ», Москва, Россия

Компания «Bricking Solutions», США, осуществляет свою деятельность с 1966 г., предлагая эффективные решения в области футеровки производственного оборудования в цементной промышленности и металлургии. Специализируясь на выпуске футеровочного оборудования, фирма стала признанным мировым лидером в этом сегменте, осуществляя поставки своей продукции в 80 стран. За этот период компания поставила более 2000 футеровочных машин, ленточных конвейе-

ров, платформ для футеровки конвертеров и других видов оборудования, применение которого позволяет проводить футеровочные работы безопасно, быстро и качественно.

Статистика показывает, что применение оборудования не только позволяет достичь улучшения качества футеровочных работ (сокращение времени, уменьшение затрат на расходные материалы), но и дает возможность увеличить стойкость футеровки агрегатов за счет

получения высококачественной кладки. В частности, у такого агрегата, как чугуновозный ковш типа «торпедо», благодаря использованию футеровочной машины можно ожидать двукратного увеличения стойкости футеровки. Другое решение, которое может заинтересо-

вать российских металлургов, — комплекс для футеровки медеплавильных конвертеров. Эта футеровочная машина позволяет провести кольцевую кладку за короткий срок безопасным способом. Качество футеровки при этом идеальное.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ХРОМИТОПЕРИКЛАЗОВЫХ ИЗДЕЛИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, к. т. н. Т. В. Ярушина², И. Г. Маряев²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

² ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Для прогноза износоустойчивости огнеупоров в службе потребители зачастую используют стандартные характеристики свойств изделий, полученные фактически при паспортизации готовой продукции, граничные значения эти показателей приведены в ГОСТ, СТ, ТУ и ТТ. Для хромитопериклазовых изделий это, как правило, предел прочности при сжатии при нормальной температуре, открытая пористость, температура начала размягчения под нагрузкой, термостойкость при нагреве стандартного образца до 1300 °С с последующим резким охлаждением в воде. Однако эти показатели дают ограниченную информацию о качественных характеристиках изделий, подтверждая в большей мере стабильность технологических параметров производства. Эта информация мало увязана с физико-химической сутью процессов, протекающих при эксплуатации тепловых агрегатов. При более глубоком исследовании некоторых свойств, например характера пористости, используя возможности испытаний на шлако-, металлоустойчивость в сочетании с петрографическим анализом, а также газопроницаемости, распределения пор по размерам с применением ртутной порометрии, можно получить информацию, раскрывающую сущность процессов устойчивости изделий к воздействию агрессивных расплавов, сочетания воздействия расплавов и газовой фазы. Естественно, необходимо учитывать также, что одновременно с пропиткой огнеупоров расплавами, проникновением газообразных фаз происходит также химическое взаимодействие между ними с разрушением фаз, образованием новых фаз. Это сопровождается объемными процессами с изменением характера поровой структуры.

В результате исследований, выполненных в управлении технологических разработок Группы «Магнезит», разработаны и внедрены в производство технологические приемы, позволяющие снизить открытую пористость обожженных изделий и ухудшить смачиваемость поверхности огнеупора расплавами. Для изу-

чения процессов, сопровождающих транспортирование металлических и шлаковых расплавов в глубь хромосодержащих огнеупорных изделий в процессе эксплуатации, проанализированы сведения об относительном распределении пор по размерам, их канальности и капиллярности с применением методов ртутной порометрии. Основой для прогноза интенсивности пропитки изделий шлаковыми расплавами послужили литературные данные об избирательной склонности пор к капиллярному всасыванию в зависимости от их размера (радиуса).

Доля пор размерами менее 5 мкм, в которые практически не проникают расплавы металла, в изделиях марки ХПП-1 производства комбината «Магнезит» составляет около 70 %. На долю капиллярных пор размерами 8–25 мкм приходится около 10 %; около 5 % пор имеют размеры более 25 мкм. С применением пропитки огнеупоров раствором эпсомита удалось увеличить в них долю непроницаемых пор до 90 % и уменьшить долю капиллярных пор до 5 %. Доля пор размерами более 25 мкм снизилась до 3,5 %. Исследование микроструктуры пропитанных огнеупоров после службы показало наличие в порах переходной и холодной зон огнеупоров остатков сульфидной массы и новообразований хромшпинелидов с незначительной смачиваемостью расплавами. Пропитка изделий раствором эпсомита существенно повлияла также на предел прочности при одноосном сжатии при нормальной температуре, на ТКЛР огнеупоров при высокой температуре; последнее свидетельствует об определенной склонности микроструктуры к релаксации внутренних напряжений.

Комплексность исследований поровой структуры огнеупорного материала до и после службы в тепловом агрегате позволяет оценить перспективы взаимодействия огнеупора с расплавами оксидов и газами и является основой для оптимизации технологии изготовления огнеупоров.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ТЕРМОСТОЙКИЕ ОГНЕУПОРЫ ИЗ КИАНИТОВОЙ РУДЫ КЕЙВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© К. т. н. О. А. Белогурова, М. А. Саварина, Т. В. Шарай

Учреждение Российской академии наук «Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева» Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской обл., Россия

Получен ряд муллитосодержащих огнеупоров на основе кейвской кианитовой руды, исследовано влияние

структурирующих добавок и состава шихты на показатель термостойкости. Использована кианитовая руда

следующего состава, мас. %: Al_2O_3 40,58, SiO_2 52,53, K_2O 1,30, CaO 1,54, TiO_2 1,15, Fe_2O_3 0,57, C 2,33. Руда подвергалась предварительному обжигу на брикет с добавками углерода и/или активного оксида алюминия, связка — лигносульфонат.

В предыдущих исследованиях нами рассмотрена термодинамика процессов, протекающих в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--C}$ для продуктов муллитизации кианита $3(\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2) \rightarrow 3\text{Al}_2\text{O}_3\text{--}2\text{SiO}_2 + \text{SiO}_2$. Экспериментально доказано, что система ведет себя, как две формально независимые подсистемы $\text{SiO}_2\text{--C}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--C}$. Карботермическое восстановление кианитовой руды предусматривает в качестве источника SiO_2 как кварц, присутствующий в руде в качестве примеси, так и кристобалит, получающийся в процессе муллитизации. Сложный комплекс реакций протекает как в конденсированных, так и в газовых фазах. В псевдозакрытой системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--C}$ термодинамически наиболее вероятными являются реакции, приводящие к образованию SiC . Важнейшими факторами являются организация внутреннего переноса вещества продуктами реакций, инициирование фазовых переходов в керамической матрице в процессе ее формирования.

Образование SiC в восстановительных условиях обжига происходит в результате как прямого контакта SiO_2 с углеродом ($\text{SiO}_2 + 3\text{C} \rightarrow \text{SiC} + 2\text{CO}$), так и в результате взаимодействия паров SiO с углеродом ($\text{SiO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{SiO} + \text{CO}_2$, $\text{SiO} + 2\text{C} = \text{SiC} + \text{CO}$, $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$). На процесс влияют размер частиц, наличие тесного контакта и тип углеродного восстановителя. Вначале скрытокристаллический SiC возникает вокруг углеродистых зерен и по трещинам в них. Затем в результате диффузии силицирующего агента процесс перерождения углеродистого материала идет дальше. Так как улавливание SiO и связывание его в SiC происходят на

поверхности углеродных частиц, при высоком содержании последних общая площадь поверхности становится больше, и доля кремния, задерживаемого в системе, возрастает. Карбидизация алюмосиликатной матрицы позволяет получать муллитографитовые огнеупоры с термостойкостью до 50 теплосмен (1300°C — вода).

Нами отмечено влияние на свойства муллитосодержащих огнеупоров отхода производства ферросилиция (ОПФ), основной составляющей которого является кремний. Введение ОПФ в шихту на основе брикета из руды способствует образованию в поровом пространстве SiC в результате реакционного спекания ($2\text{Si} + \text{CO} \rightarrow \text{SiC} + \text{SiO}$). Образующийся SiC благоприятствует усадке изделий, а экзотермический эффект реакции способствует дополнительной активации процесса. Возможно, повышение термостойкости связано с самоармированием муллитовой матрицы тонкими частицами SiC . Таким образом, в материале может быть создана *in situ* микроструктура, в которой частицы дисперсного тугоплавкого SiC расположены по границам зерен муллита. Муллитокарбидкремниевый материал обладал термостойкостью до 30 теплосмен (1300°C — вода).

Нами исследованы составы с добавлением в шихту активного MgO (каустического магнезита или прокаленного $\text{Mg}(\text{OH})_2$). В структуре огнеупора синтезируется кордиерит с низким значением ТКЛР и отсутствием анизотропии по сравнению с муллитом, что создает предпосылки к уменьшению температурного градиента и напряжений внутри изделия при нагреве и охлаждении. Термостойкость модифицированных муллитокордиеритовых материалов — до 50 теплосмен (1300°C — вода).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОРОШКОВОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ НА СПЕКАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

© О. В. Буцык, д. т. н. Т. А. Хабас, А. А. Качаев, А. О. Хасанов

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

Износостойкие и ударопрочные керамические материалы на основе карбида кремния благодаря уникальному сочетанию физико-механических характеристик — высоких прочности и теплопроводности, низкого ТКЛР, стойкости к окислению при высоких температурах и к воздействию агрессивных сред — нашли широкое применение в различных областях техники, в том числе в металлургии и машиностроении. Получение высококачественных плотных и пористых изделий определяется качеством исходного сырья, которое не всегда бывает удовлетворительным. Известны различные технологии производства керамики из порошков бескислородных соединений, из которых наиболее эффективными методами считаются горячее прессование и SPS-спекание. Однако применение этих методов возможно при использовании высококачественного исходного порошка с чистотой по основному продукту более 96 %. Большое содержание свободного кремния или бора, а также железистых примесей ухудшает

прочностные характеристики спеченных изделий. Одним из перспективных методов улучшения физико-технических характеристик керамического материала может быть введение добавок нанодисперсного порошка одноименного состава. При этом задачей технологии является максимально равномерное распределение добавки в матрице основного состава.

В работе исследовали спекание карбида кремния марки 63С МЗ (средний диаметр зерна 2,4 мкм), в качестве спекающей добавки использовали нанопорошок карбида кремния с удельной поверхностью $32 \text{ м}^2/\text{г}$ в количестве от 1 до 10 мас. %. Для разрушения агломератов (~3 мкм) нанопорошок SiC подвергали ультразвуковому воздействию в среде этилового спирта с последующей сушкой. Синтез опытных образцов в виде таблеток диаметром 10 мм проводили методом искрового плазменного спекания в вакууме в интервале от $1850\text{--}2050^\circ\text{C}$ под давлением 70–90 МПа. Установле-

но, что при интенсивном измельчении в струйной мельнице наблюдается термическое разложение некоторой доли карбида кремния на элементарные кремний и углерод, что приводит к увеличению их содержания в порошке. Однако в процессе спекания под давлением идет обратная реакция синтеза дополнительного вторичного карбида кремния, что увеличивает содержание основного вещества до 99 %. Морфологические параметры полученных керамических образцов из карбида кремния исследовали с использованием анализа

СЭМ-изображений поверхностей скола. Керамика без добавки нанопорошка разрушается преимущественно по границам зерен, а образцы, изготовленные с применением нанопорошка, имеют преимущественно транскристаллитный характер разрушения, что косвенно свидетельствует об относительно более высокой прочности межзеренных связей в керамике с добавками нанопорошка. Керамика с 5 и 10 % нанопорошка в исходной смеси практически не содержит пор и имеет сравнительно более высокую трещиностойкость.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

НОВАЯ МИНЕРАЛИЗУЮЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА МУЛЛИТА И СПЕКАНИЯ МУЛЛИТОВОЙ КЕРАМИКИ ИЗ ОКСИДОВ

© Д. т. н. Т. В. Вакалова, Л. П. Говорова, А. Ю. Токарева

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

В настоящее время накоплен значительный научный и практический опыт интенсификации процессов твердофазного синтеза, в том числе муллита, в технологии керамических материалов за счет применения минерализующих добавок. Однако до сих пор проблема активации процессов синтеза муллита является актуальной, поскольку в случае положительного решения позволяет в итоге снизить энергоемкость процесса, что является немаловажным фактором в сохранении за муллитовой керамикой ведущих позиций среди материалов технического назначения.

В работе для активации процессов фазообразования в композициях муллитового состава на основе оксидов впервые опробовали добавку природного фторалюмосиликата — топазсодержащего сырья. Выявлено, что при отсутствии добавки топаза независимо от природы исходных компонентов в системе глинозем — кремнезем формируется муллит традиционного состава $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. При этом отмечается лимитирующее действие особенностей глиноземистого сырья на синтез муллита из оксидов, в частности его природы, дисперсности, минерального состава и степени дефектности структуры. Присутствие добавки топаза обеспечивает в интервале 1300–1600 °С с экспозицией до 1–2 ч интенсификацию синтеза муллита короткопризматической формы. При этом размер кристаллов муллита, синтезированного с использованием электрокорунда в стехиометрической смеси, в 3–4 раза меньше, чем при синтезе с аморфным глиноземом (0,5–1,0

и 3–4 мкм соответственно), при использовании одной и той же кремнеземистой составляющей.

Для осуществления твердофазного спекания муллита, синтезированного из оксидов, подтверждена необходимость проведения процесса по спековой технологии. Наибольшей активностью в спекании обладает муллитовый спек, полученный при 1500 °С. Активация спекания муллита малыми добавками топаза возможна при введении 1 % топазового концентрата в исходную смесь стехиометрического состава для активации синтеза муллита и 2 % топазового концентрата в измельченный спек для активации собственно спекания муллита. Функции топаза сводятся к наведению дефектов в структуре муллита и формированию в процессе спекания менее прочного муллитового каркаса под действием газообразных реакционных фторидов. Установлено, что использование топаза для активации спекания изделий из муллитового спека позволило не только снизить температуру обжига изделий с 1650 до 1600 °С, но и значительно улучшить физико-механические (предел прочности при изгибе с 78 до 118 МПа) и электрофизические характеристики (электрическую прочность с 14 до 23 кВ/мм) муллитовой керамики за счет формирования муллита удлинненно-призматического габитуса.

* * *

Выполнено при поддержке Минобрнауки ГЗ НИР «Наука» 3.3055.2011.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЫСОКОПОРИСТЫЕ ДИАТОМИТСОДЕРЖАЩИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ВОЛЛАСТОНИТОВОЙ СВЯЗКЕ

© Д. т. н. Т. В. Вакалова, д. т. н. Н. С. Крашенинникова, Н. П. Карионова, Н. К. Абилябаева

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

Широко применяемые на настоящее время способы создания в керамических материалах пористой структуры (введение выгорающих добавок, пенообразование, химическое порообразование и др.) не всегда обеспечивают сочетание требуемых свойств, таких как высокая прочность при низких показателях плотности

и теплопроводности. Поэтому особую актуальность приобретает поиск таких способов и добавок, которые, не снижая прочности получаемых изделий, обеспечивали бы образование высокопористой структуры керамического материала. В этой связи в работе изучали возможность получения высокопористых керамиче-

ских материалов на основе природного кремнеземистого сырья (диатомитовых пород Инзенского месторождения) и его композиций со вспученной вермикулитовой породой Татарского месторождения (Красноярский край) и вспученной перлитовой породой Арагачского месторождения.

Установлено, что при разработке оптимальной технологии высокоэффективных теплоизоляционных материалов с температурой службы до 1000 °С создание высокопористых керамических структур обеспечивается за счет использования в качестве основного сырья компонента природного высококремнеземистого наноструктурированного материала с собственной высокопористой структурой — диатомитовой породы. В качестве пороформирующей добавки целесообразно использовать вспученные вермикулитовые и перлитовые породы, для повышения общей пористости в качестве выгорающей добавки наряду со вспученными перлитом и вермикулитом — древесные опилки в количестве до 20 мас. %. Из разработанных составов с содержанием вспученных компонентов до 30 мас. % изделия можно формовать пластическим способом, что позволяет получить после обжига при 950–1000 °С пористую керамику кажущейся плотностью 0,6 г/см³ и ниже с пределом прочности при сжатии до 9 МПа (с вермикулитовой добавкой) и до 10 МПа (с перлитовой). Использование добавки древесных опилок существенно снижает кажущуюся плотность (до 0,4–0,6 г/см³) изделий из этих композиций, но при этом их предел прочности при сжатии не превышает 3 МПа.

Повышение содержания вспученных компонентов с 30 до 70 мас. % в композициях с диатомитовой породой возможно только при формовании изделий из полусухих масс. Причем при полусухом прессовании увеличение доли добавки вспученного вермикулита к диатомитовой породе до 60–70 мас. % обуславливает необходимость увеличения влажности пресс-порош-

ков от 20 до 40 % (за счет активного поглощения воды порами вспученной добавки) и введения эффективно пластифицирующего связующего. Оптимальное сочетание плотности и прочности сформованных образцов обеспечивается прессованием под давлением 0,6–1,5 МПа. Такое давление не вызывает разрушения пористых частиц вермикулита и перлита. Обжиг при 950–1000 °С полуфабриката из смесей диатомита со вспученными перлитом и вермикулитом позволяет получить теплоизоляционные керамические изделия кажущейся плотностью 600–650 кг/м³ с пределом прочности при сжатии 1,5–2,5 МПа. Таким образом, пористая керамика из данных композиций независимо от способа изготовления (пластический или полусухой) перспективна для получения высокоэффективных теплоизоляционных материалов с температурой службы до 1000 °С.

В направлении улучшения прочностных характеристик высокопористых керамических материалов на основе смесей диатомита со вспученным перлитом или вермикулитом предлагается создание в керамической матрице армирующего кристаллического сростка из частиц неизометрического габитуса. С этой целью исследовали совмещение процессов синтеза в сформованном изделии новой кристаллической фазы упрочняющего действия (волластонита) за счет подшихтовки к диатомитовой породе природного кальцийсодержащего компонента (известняка, мела) и спекания изделий в однократном обжиге в интервале 1000–1200 °С. В совокупности это обеспечивает получение высокопористых керамических материалов кажущейся плотностью до 1,0 г/см³ с пределом прочности при сжатии до 12 МПа, перспективных для промышленной теплоизоляции.

* * *

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ ГЗ «Наука» 3.3055.2011и.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК СОЕДИНЕНИЙ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СВОЙСТВА ПЛОТНОСПЕЧЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ СМЕСИ ОКСИДОВ

© Е. В. Гайдайчук, д. т. н. Т. А. Хабас, М. В. Рубцова

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

Число добавок, применяемых для спекания тугоплавких оксидов, достаточно ограничено. К числу оксидов, заметно снижающих температуру спекания, традиционно относят TiO₂, MnO₂, Fe₂O₃. Эти же соединения и ряд других, относимых к *d*- и *f*-группам элементов, при введении в количестве, превышающем сотые доли массового процента, уже могут окрасить стеклообразные материалы и выступать в качестве керамических пигментов. Окрашивание собственно тугоплавких оксидных соединений, таких как оксиды алюминия, циркония, муллита, из-за стабильности их кристаллической структуры является трудной задачей, на практике осуществляется редко и чаще всего представляет собой несамостоятельный эффект, например при введении оксида хрома при получении электроплавленного корунда (ярко-розовый цвет). Однако на современном этапе развития техники, предоставляющей возможность проведения высокотемпературных процессов спекания, возможно получение окрашенных тугоплав-

ких материалов с минимальным количеством стеклофазы, которые могут найти применение в установках, подвергающихся нагреву, и везде, где необходима быстрая визуальная идентификация керамических материалов и деталей.

Проблемой, возникающей при введении окрашивающих соединений, является их неоднозначное воздействие на сам процесс спекания. Для изучения влияния переходных элементов на свойства плотноспеченного керамического материала было проведено исследование в системе Al₂O₃–3Al₂O₃·2SiO₂ с использованием в качестве добавок соединений, включающих ионы кобальта, железа, марганца, хрома, никеля и титана, а также соединения редкоземельных элементов (РЗЭ) неодима, празеодима и церия. Установлено, что введение окрашивающих добавок в виде солей кобальта, железа и оксида хрома (от 0,3 до 3,0 мас. %) в смеси, содержащие электроплавленный муллит, позволило одновременно с эффектом окрашивания снизить тем-



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

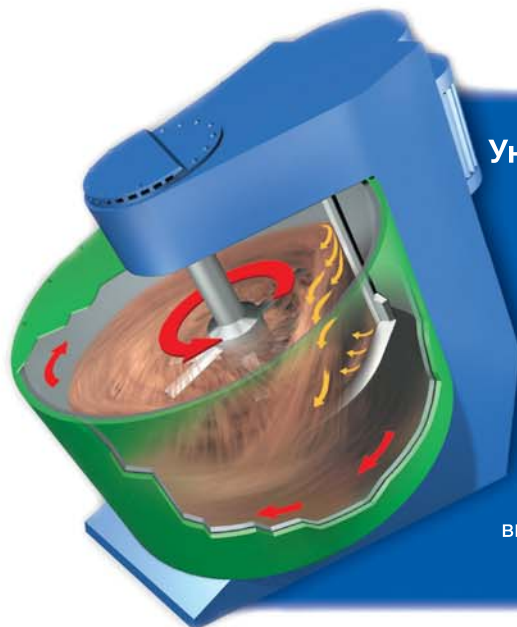
Техника смешивания огнеупорных материалов

Формованные изделия

- Пресс-массы для всех видов камней
- Массы для огнеупорного легковесного кирпича
- Горючие средства-пресс-массы
- Массы для изостатических прессов
- Массы для керамических фильтров

Неформованные изделия

- Сухие массы (напр. огнеупорный бетон)
- Пластичные массы
- Набивные массы
- Приготовление бетона для готовых деталей
- Растворы и шпатлевка



Уникальный принцип смешивания

Вращающийся смесительный резервуар
- Транспортировка смешиваемых масс

Скорость смесительного инструмента
варьируется от медленной до быстрой
- Смешивание

Как результат:
Разделение между транспортировкой смесей и процессом смешивания позволяет варьировать скорость смесительных инструментов (и тем самым варьировать внесение энергии в смесь) в широких пределах.



Данный принцип смешивания позволяет:

- Скорость смесительных инструментов может варьировать от медленной до быстрой.
- Внесение смешиваемой энергии в смесь может целенаправленно управляться
- При высокой скорости вращения смесительного инструмента
 - Волокна (синтетический материал, керамика, сталь) оптимально вмешиваются
 - Аддитивы подмешиваются в очень малых количествах
- При средней скорости вращения смесительного инструмента достигается высокое качество смешиваемых масс
- При низкой скорости вращения смесительного инструмента легкие добавки вмешиваются в щадящем режиме.

Преимущества:

- Процессы смешивания/скорости смешивания могут подходить для любой рецептуры
- Смеситель может смешивать и замешивать. Поэтому могут перерабатываться также пресс-массы для динасового кирпича без бегунов, пластичные / экструзионные массы можно получить без замешивания.

- Смеситель может смешивать и гранулировать. Возможно производство гранулята (для изостатических прессов или, как альтернатива, для термического окомкования).
- Возможна работа в среде защитного газа/обратная сушка гранул и масс в условиях вакуума
- Чистка работающего с сухими массами смесителя может осуществляться при помощи автоматического пневматического внутреннего очищающего устройства

Мнения клиентов фирмы Айрих:

- Результат смешивания: смешиваемые массы остаются неизменными, если смешивается даже небольшое количество материала — до 30 % номинального заполнения смесителя

Известные во всем мире производители работают со смесительной техникой фирмы Айрих. Охотно назовем Вам наши референции.

Фирма Айрих является партнером высших учебных заведений в области исследований.

Обратитесь к нам. Мы проинформируем Вас.

ООО «Айрих Машинентехник»

ул. Уржумская, 4, строение 2

129343 Москва, Российская Федерация

Телефон: (495) 7716880, факс: (495) 7716879

E-mail: info@eirich.ru, Internet: www.eirich.ru



EIRICH

пературу спекания на 20–50 °С (температура спекания аналогичного состава без добавок 1600 °С). При применении в смеси муллита, полученного твердофазным синтезом, аналогичной плотности и яркости окраски

при температурах до 1550 °С достичь не удалось. В эксперименте с добавками соединений РЗЭ лучший результат (удовлетворительная плотность и заметное окрашивание) получен при введении соединений церия.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СИНТЕЗ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

© Д. х. н. Д. Д. Гуламова¹, к. х. н. Д. Е. Ускенбаев¹, Д. Ш. Турдиев¹,
С. Х. Бобокулов¹, В. П. Шевченко², С. Г. Токунов², Р. Б. Ким²

¹ Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан

² СП 000 «Электроизолит», г. Ташкент, Республика Узбекистан

Синтез керамических оксидных материалов традиционно осуществляют на основе методов твердофазных реакций и химического соосаждения. Такие технологии связаны с проблемой воспроизводимости состава и свойств из-за неравномерного распределения легирующих добавок в объеме массы материала, образования промежуточных фаз и сложности контроля реакций их взаимодействия между собой. Многократные промежуточные помолы негативно влияют на состав целевого материала. Диффузионный механизм, лежащий в основе этих методов, для высокотемпературных оксидов при температурах ниже 1500 °С является очень медленным процессом и влечет за собой длительный отжиг, т. е. высокие энергозатраты.

Ускорение диффузии путем повышения температуры процесса связано с использованием специального дорогостоящего оборудования, повышением энергозатрат, что неэкономично. Энергоемкость процессов термообработки присуща синтезу керамических материалов на основе метода химического соосаждения. Перспективны с точки зрения получения однородного заданного фазового состава методы синтеза в расплаве, получаемом при помощи индукционного нагрева, лазерного излучения, плазмы, сконцентрированного лучистого потока. Высокая энергоемкость этих методов ограничивает их широкое промышленное распространение.

Общезимовая проблема энергодифицита определяет поиск возобновляемых естественных источников энергии и развитие технологий на их основе. Поэтому оправдан интерес к возможности использования концентрированной солнечной энергии для синтеза оксидных материалов сложного состава. Технология с использованием в качестве источника нагрева сконцентрированного солнечного излучения характеризуется такими преимуществами, как быстрота и полнота реакций синтеза, высокая степень гомогенизации в расплаве, отсутствие загрязнения со стороны нагревательных элементов и тигля, простота осуществления контролируемых режимов плавления, перегрева расплава и его закалки и т. д. Представляет также интерес возмож-

ность получения пересыщенных твердых растворов, расширение областей их гомогенности, стабилизация аморфного состояния, получение ультрадисперсной структуры посредством контролируемого режима термообработки аморфной фазы, стабилизация метастабильных полиморфных модификаций. Применение сконцентрированного солнечного излучения перспективно для синтеза и термообработки оксидов высшей огнеупорности, поскольку позволяет достичь температуры 3000 °С на воздухе. Осуществление процесса в окислительной среде определяет стехиометрию по кислороду в целевом материале. Особенности влияния синтеза в расплаве под воздействием сконцентрированного солнечного излучения выявлены на основании результатов исследования свойств изостехиометрических (титанаты РЗЭ), изоструктурных (титанаты типа псевдобрукита) групп оксидных соединений и твердых растворов на основе ZrO_2 и HfO_2 . Определены закономерности изменения свойств материалов и керамики на их основе в зависимости от природы катионов (ионных радиусов, электроотрицательности, электронного строения и т. д.) и условий синтеза. Целевые керамические материалы синтезировали в расплаве при плотности солнечного потока 750–880 Вт/см² и скорости охлаждения расплава 10²–10⁵ град/с.

Установлено влияние условий синтеза на стабилизацию высокосимметричных полиморфных форм: стабилизацию аморфного состояния, усиление анизотропии кристаллической структуры и структурно-зависимых параметров, аморфизацию, образование пересыщенных и дискретных твердых растворов-гомологов. Метастабильное состояние быстрозакаленных материалов оказывало положительное влияние на спекание керамики. Синтезированные по «солнечной» технологии материалы имели лучшие свойства по сравнению с аналогами, полученными методами твердофазных реакций или химического соосаждения. Выявлена перспектива использования солнечной энергии для разработки технологий синтеза новых керамических материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ, ИХ МОДИФИЦИРОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ

© О. Ю. Данилова¹, А. Н. Довгаль¹, А. В. Лукин¹, д. т. н. А. Л. Юрков¹,

к. т. н. В. А. Дороганов², О. В. Зарубина², д. т. н. Е. И. Евтушенко², к. т. н. Н. А. Перетоккина²

¹ ОАО «Волжский абразивный завод», г. Волжский Волгоградской обл., Россия

² ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова», г. Белгород, Россия

В настоящее время широко применяются разнообразные материалы на основе карбида кремния. Большин-

ство этих материалов представляют собой гетерогенные композиции, в которых отдельные зерна SiC цемен-

тированы связками, отличающимися от основной фазы по составу и физико-химическим свойствам. В промышленности применяются карбидкремниевые материалы на оксидной, нитридной или силановой связках. В специфичную группу карбидкремниевых огнеупоров можно выделить самосвязанный и рекристаллизованный карбид кремния. В этих огнеупорах непосредственная связь между зернами SiC достигается за счет рекристаллизационных процессов при весьма высоких температурах (до 2100 °С) в восстановительной атмосфере. Достижение высоких температур требует больших энергозатрат и специального оборудования, что сдерживает развитие этой группы огнеупоров.

Одним из возможных методов получения аналогичных по свойствам карбидкремниевых материалов без применения высоких температур является принцип, основанный на использовании искусственных керамических вяжущих (ИКВ) суспензий карбида кремния, получаемая по технологии высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). Полученное мокрым помолом в шаровой мельнице ИКВ на основе карбида кремния имело следующие характеристики: плотность 2,44 г/см³, влажность 16,3 %, объемная доля твердой фазы 0,66, содержание частиц размерами более 63 мкм 2,2 %, менее 100 нм 1,0 %. Синтезированное ИКВ карбида кремния относилось к тиксотропно-дилатантным системам и характеризовалось значительной полидисперсностью (коэффициент полидисперсности $K_n \sim 5,5$). Были исследованы образцы на основе ИКВ карбида кремния, полученные методом литья в гипсовые формы. Установлено, что после обжига при 1300 °С отливки характеризовались огневой усадкой 0,30–0,35 %, открытой пористостью

25,0–25,5 %, кажущейся плотностью 2345–2370 кг/м³ и пределом прочности при сжатии 50–55 МПа.

Изучены различные способы модифицирования ИКВ с использованием огнеупорных глин и нанодисперсного кремнезема Ludox. Установлено, что применение глинистого модификатора приводит к изменению характера реологического поведения суспензий с тиксотропно-дилатантного на тиксотропный. При этом отливки на основе модифицированного глиной ИКВ после обжига при 1300 °С характеризовались открытой пористостью 28–28,5 %, кажущейся плотностью 2200–2220 кг/см³ и пределом прочности при сжатии 90–100 МПа. Использование в качестве модифицирующей добавки нанокремнезема различных марок приводит к существенному улучшению основных физико-механических характеристик отливок на основе ИКВ карбида кремния. Так, после обжига при 1300 °С образцы на основе модифицированного ИКВ характеризовались открытой пористостью 22,5–24 %, кажущейся плотностью 2420–2440 кг/м³ и пределом прочности при сжатии 120–150 МПа.

Таким образом, модифицирование ИКВ карбида кремния огнеупорной глиной и нанодисперсным кремнеземом приводит к увеличению прочности в 2–3 раза. Суспензии могут быть использованы в качестве вяжущего в технологии производства композиционных материалов различными способами (пластическое и полусухое формование, вибропрессование и т. д.).

* * *

Исследования проводились в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. и Программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА РАЗВИТИЯ ПРОЧНОСТИ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ В СРЕДНЕЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ С ДЕФЛОКУЛЯНТАМИ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

© И. Демидова-Буйзинене, д. т. н. И. Пундене, д. т. н. Я. Пранцкевичене, д. т. н. Я. Жвирунайте

Научный институт термоизоляции Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса,
г. Вильнюс, Литва

В данной работе исследованы изменения физико-механических свойств образцов среднецементного бетона (плотность, прочность, структура и термостойкость) с различным количеством (от 0,1 до 0,3 %) дефлокулянтов триполифосфата натрия и поликарбоксилатного эфира Castament FS-20 в процессе термообработки (от 20 до 110 °С) и последующего обжига до 1200 °С. Установлено, что независимо от типа дефлокулянта в процессе твердения прочность образцов тем выше, чем меньше дефлокулянта в составе бетона. С повышением температуры сушки до 60, 80 и 110 °С прочность бетона с добавкой Castament FS-20 увеличивается, а плотность уменьшается тем больше, чем больше дефлокулянта в составе бетона. В образцах бетона с триполифосфатом натрия такой тенденции не наблюдается.

Рентгенографические исследования матрицы бетонов показали, что после твердения при 20 °С независимо от используемого дефлокулянта среди продуктов гидратации идентифицированы CAH_{10} , C_2AH_8 и непрореагировавший минерал CA. При повышении темпера-

туры до 60 °С наряду с образованием гидратов C_3AH_6 и AH_3 в матрице бетона с дефлокулянтом Castament FS-20 установлено присутствие стратлингита CASH_8 . В процессе дегидратации с повышением температуры до 110 °С наблюдается увеличение количества минерала CA, а ранее установленные гидраты, в том числе и CASH_8 , не идентифицированы.

Анализ прочности образцов бетона после обжига при 1100 °С показал, что прочность образцов с дефлокулянтом Castament FS-20 выше (62–65 МПа), чем у образцов с триполифосфатом натрия (54–62 МПа), т. е. в сравнении с триполифосфатом натрия использование Castament FS-20 позволяет увеличить прочность бетона приблизительно на 15 %.

Проведенное исследование показало, что в процессе сушки в матрице бетона с дефлокулянтом Castament FS-20 идентифицирован минерал стратлингит, наличие которого, по видимому, способствует возникновению иной, более прочной структуры бетона.



ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

ЗАО НПП «Изомат» уже 16 лет работает на российском рынке теплоизоляционных материалов, производит и продает широкий ассортимент продукции из керамического волокна и позиционируется все эти годы не только как динамически развивающаяся промышленная организация, но и научно-исследовательский центр, который занимается разработкой новых и усовершенствованием практикуемых профильных материалов из волокна.



Наиболее широкий ассортимент компании на сегодняшний день составляют теплоизоляционные одеяла и изделия из него. Исключительные теплотехнические характеристики в сочетании с высокой механической прочностью, гибкостью, упругостью делают одеяла незаменимым материалом в отраслях промышленности, связанных с высокими температурами, термообработкой, теплоизоляцией, а также в производстве печей и котлов различных типов.

Волокнистые материалы сочетают в себе высокотемпературные, огнеупорные и изоляционные свойства.

Виды продукции из керамического волокна:

- Теплоизоляционные одеяла
- Бумага и фетр
- Плиты теплоизоляционные
- Сыпучие волокна
- Мастики, клеи, цементы, покрытия
- Формованные изделия
- Шнуры, ленты, ткани
- Модули Prismo-Block

Применение:

- Материал для производства модульных блоков
- Футеровка промышленных печей
- Теплоизоляция котлов, газоходов
- Теплоизоляция при снятии напряжений сварных швов
- Высокотемпературные прокладки
- Заглушки для алюминиевой промышленности
- Теплоизоляция высокотемпературных трубопроводов
- Многозавальная изоляция паровых и газовых турбин
- Гибкая трубная изоляция
- Фильтрующие элементы для использования при высоких температурах
- Блоки горелок
- Желоба разливы расплавов металлов

Преимущества:

- низкая теплопроводность и малая теплоемкость
- устойчивость к перепадам температур
- малый вес
- высокая прочность и долговечность
- простота монтажа и низкие трудозатраты
- устойчивость к эрозии и пламени
- стабильная плотность и малая усадка
- большой диапазон толщин

Официальный представитель
мирового лидера —
компания



производящей высокотемпературную
керамическую волокнистую изоляцию



ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ДЕФЛОКУЛЯНТА В СРЕДНЕЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНАХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРОЦЕССЕ ТЕРМООБРАБОТКИ© **И. Демидова-Буйзинене**, д. т. н. **И. Пундене**, д. т. н. **Р. Стонис**, д. т. н. **М. Клигис**,
д. т. н. **А. Кичайте**Научный институт термоизоляции Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса,
г. Вильнюс, Литва

Применение композиционных дефлокулянтов позволяет регулировать скорость процессов гидратации в бетоне и формировать его структуру в процессе твердения. Ранее было установлено, что образцы бетона с композиционным дефлокулянтом после твердения в течение 3 сут в процессе сушки набирают прочность, которая приблизительно в 2 раза превышает прочность образцов того же состава бетона, но с отдельными дефлокулянтами различного типа. Процессы образования структур, ответственных за развитие прочностных характеристик в таких бетонах, при термообработке (выдержке при 20 °С и дальнейшей термообработке до 110 °С) и обжиге при 1100 и 1200 °С практически не изучены.

В данной работе проведены исследования прироста прочности в процессе сушки при 60, 80 и 110 °С среднецементного жаростойкого бетона на шамотном заполнителе с добавками двух типов дефлокулянтов — триполифосфата натрия и Castament FS-20 при различных соотношениях (соотношение триполифосфата натрия и Castament FS-20 1:1, 2:1 и 1:2). Установлено, что

при 60 °С наибольшей скоростью набора прочности обладают образцы бетона, в которых преобладает дефлокулянт Castament FS-20. При 80 °С наблюдается больший прирост прочности в образцах бетона с большей долей триполифосфата натрия в составе. После термообработки при 110 °С также наблюдается тенденция более высоких показателей прочности в образцах бетона с большей долей триполифосфата натрия. После обжига при 1100 и 1200 °С образцы бетона с большей долей дефлокулянта Castament FS-20 теряют в среднем от 9 до 22 % прочности после сушки, а образцы бетона с большей долей триполифосфата натрия утрачивают прочность незначительно лишь после обжига при 1200 °С.

Анализ термостойкости бетонов методом ультразвука показал, что после 7 термоциклов наибольшее снижение скорости ультразвука установлено в образцах бетона с большей долей дефлокулянта Castament FS-20 (24–26 % от контрольного значения), а наименьшее (21 %) — в образцах бетона с большей долей триполифосфата натрия.

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛОТНОЙ КОМПОЗИТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ ОСЕВОГО ПРЕССОВАНИЯ© **О. Ю. Задорожная**, **О. В. Тиунова**, д. т. н. **Т. А. Хабас**ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск,
Россия

Для улучшения механических характеристик и технологических свойств используемые в настоящее время керамические материалы на основе оксида алюминия содержат различные добавки. Композитная керамика на основе оксидов алюминия и циркония (ZTA — Zirconia Toughened Alumina) состоит из алюмооксидной матрицы, в которой распределено 0–50 мас. % частиц диоксида циркония — нестабилизированного или стабилизированного. Эта вторая фаза приводит к улучшению основных механических свойств, таких как предел прочности при изгибе и вязкость разрушения.

Многие исследователи полагают, что микроструктура и физико-механические свойства этой керамики, формирующиеся в процессе спекания, существенно зависят от характеристик исходного порошка и микроструктуры сырых заготовок (прессовок). Одним из самых распространенных методов формования керамических порошков является холодное осевое прессование. Для оценки влияния параметров прессования и свойств сырых заготовок на физико-химические свойства спеченной керамики были изготовлены образцы керамики ZTA (композит $Al_2O_3-ZrO_2$, $ZrO_2 > 20$ мас. %) с

добавкой различного количества нанопорошка ZrO_2 (2–4 мас. %). Образцы обжигали в камерной печи при 1650 °С.

Исследования зависимостей плотности сырых заготовок и образцов после спекания от давления прессования показали, что при его увеличении от 3 до 9 т плотность сырых заготовок монотонно увеличивается до некоторого граничного значения, после которого при значительном росте нагрузки возрастает уже незначительно. Плотность керамики после спекания повышается на 2 % при росте нагрузки от 3 до 7 т, а при дальнейшем росте нагрузки до 9 т остается неизменной. Предел прочности при изгибе спеченных образцов растет при увеличении нагрузки до 7 т; дальнейшее увеличение нагрузки приводит к резкому снижению прочности. Это может быть связано с вероятностью появления дефектов и перепрессовочных трещин в образцах. В результате проведенных исследований получена композитная керамика с относительной плотностью выше 98 % теоретической и пределом прочности при изгибе 470–500 МПа.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА КЛИНКЕРОВ ЦЕМЕНТОВ
В ПРИСУТСТВИИ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ ФАЗ**

© К. Г. Земляной, д. т. н. И. Д. Кашеев, М. А. Михеенков

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России
Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

Производство огнеупорных цементов спеканием затруднено вследствие узкого температурного интервала между началом спекания клинкерных минералов и образованием жидкой фазы, а также высокой температуры синтеза. Улучшить протекание твердофазных реакций при синтезе цементов можно гомогенизацией сырьевой смеси и ее прессованием; эффективность этих направлений исследована авторами ранее. Еще один путь повышения реакционной способности сырьевой смеси при синтезе клинкеров цементов — использование промежуточных метастабильных фаз. Влияние метастабильных фаз на синтез клинкеров цементов недостаточно оценено, мало изучено и практически не используется. Между тем это направление является весьма перспективным, особенно при синтезе огнеупорных цементов.

Особенностью синтеза клинкеров огнеупорных цементов является протекание большей части высокотемпературных реакций в условиях твердофазного спекания без участия жидкой фазы, которая присутствует лишь на завершающей стадии синтеза. Облегчить протекание твердофазных реакций можно за счет разупорядоченности атомарных связей в кристаллической решетке оксида кальция, что возникает в момент

декарбонизации карбоната кальция. Однако декарбонизация завершается при температуре около 920 °С, а реакции образования большинства огнеупорных оксидов кальция протекают при более высокой температуре.

Для обеспечения разупорядоченности атомарных связей в кристаллической решетке оксида кальция при более высоких температурах предложено формировать в клинкере метастабильные фазы. В высокоглиноземистых цементах в качестве метастабильной фазы использовали йелемит (yelemite) $C_4A_3\bar{S}$, который стабилен до температуры 1350 °С, а выше этой температуры распадается. Образующийся в процессе распада йелемита оксид кальция имеет неупорядоченную кристаллическую решетку и высокую реакционную активность. При проведении работы рассматривали возможность синтеза с помощью промежуточной метастабильной фазы $C_4A_3\bar{S}$ клинкеров огнеупорных цементов, содержащих в качестве основных клинкеробразующих минералов моноалюминат (CA) и диалюминат кальция (CA_2). С помощью подобного технологического приема синтезированы высокоглиноземистые и глиноземистые цементы, отвечающие требованиям действующих нормативных документов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

© Д. т. н. С. Ш. Кажикенова

Карагандинский государственный университет им. академика Е. А. Букетова,
г. Караганда, Республика Казахстан

Использование дешевых местных сырьевых ресурсов (баритового и витезитового концентратов Карагайлинского месторождения, аркалыкской глины, боя хромитомagneзитовых изделий, отвального шлака медного производства, хромитовой руды и др.) позволяет создавать новые импортозамещающие огнеупорные материалы. Испытание этих материалов в лабораторных и полупромышленных условиях свидетельствует об увеличении продолжительности службы футеровки вельц-печей в среднем на 60 %. Создана нетрадиционная технология получения формованных импортозамещающих огнеупорных материалов из дешевых местных сырьевых ресурсов, основанная на протекании процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Предложен ряд новых составов самоспекающихся огнеупорных масс.

Самоспекающаяся огнеупорная масса состава № 1 включает шамот, баритовый концентрат, алюминий, отвальный шлак медного производства и воду в качестве связки. Реакция самоспекания происходит при взаимодействии окислителя баритового концентрата с восстановителем — алюминием: $2BaSO_4 + 4Al \rightarrow 2BaO \cdot Al_2O_3 + S_2$. Процесс самоспекания экзотермической смеси протекает с большим выделением тепла, и продукты реакции получают в расплавленном состоянии, поэтому в массу вводят наполнитель в виде отвального шлака медного производства и шамота. Температура само-

спекания экзотермической смеси колеблется в пределах 850–1850 °С. Следует отметить, что использование в предлагаемой огнеупорной массе отвального шлака медного производства, не представляющего экономической ценности, и дешевого природного сырья Казахстана в виде баритового концентрата удешевляет процесс получения огнеупорных изделий. Использовали баритовый концентрат Карагайлинского месторождения состава, мас. %: $BaSO_4$ 80, SiO_2 7,5, Pb 0,15, Zn 0,1.

Самоспекающаяся масса состава № 2 включает алюминий, бой хромитомagneзитовых изделий фракции мельче 15 мм, хромитовую руду, баритовый концентрат, а в качестве связки воду. Введение в состав массы баритового концентрата в сочетании с боем хромитомagneзитовых изделий и присутствие в ней хромитовой руды и воды снижает открытую пористость огнеупорных изделий. Состав рекомендуется применять для изготовления изделий в виде кирпича и плиток.

Саморастекающаяся масса состава № 3. Для придания массе связующих свойств первоначально смешивали баритосодержащий компонент (баритовый или витезитовый концентрат) с кремнеземом и водой в количестве 65–70 мас. % и перемешивали 80–90 с. В полученную связующую массу вводили алюминий, придавая ей пластичность и однородность и создавая тем самым технологические условия для загрузки зерен шамота фракции мельче 10 мм, которая впитывается и

обволакивает зерна шамота при перемешивании. Последующую фракцию шамота 10–20 мм с оставшейся частью воды вводили при перемешивании 80–90 с для повышения прочности массы до термообработки, обеспечивая более легкое формование, а также для придания ей товарной (лицевой) поверхности при укладывании в форму и последующей термообработке при 850–900 °С в течение 15–20 мин. Самоспекание массы происходило за счет экзотермических реакций между окислителями, баритсодержащим компонентом, кремнеземом и восстановителем (алюминием) в течение 15–20 мин. Наполнителями служили шамот и кремнезем. Продукты горения получались в расплавленном состоянии, поэтому в состав огнеупорной массы вводили наполнитель — шамот. Он не только скреплял огне-

упорную массу, придавая ей прочность при формовании до термообработки и товарную поверхность, но и играл роль разрушителя реагентов, снижая температуру спекания смеси до температуры твердых продуктов спекания. При этом получался прочный огнеупорный кирпич.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что по технологии СВС синтезированы новые высокоэффективные огнеупорные материалы, не уступающие, а по некоторым показателям и превосходящие материалы, производимые фирмами «DiDier», Австрия, и «Betkerov», Финляндия, снабжающими в настоящее время огнеупорами казахстанские металлургические заводы.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОМПЛЕКСНЫЕ ДОБАВКИ ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ

© Д. т. н. И. Д. Кашеев¹, К. Г. Земляной¹, С. В. Маркова², И. В. Кормина²

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

² ООО «Полипласт Новомосковск», г. Новомосковск, Россия

Огнеупорная промышленность на современном этапе развивается в направлении увеличения объема производства высококачественных неформованных огнеупоров. Среди неформованных огнеупоров лидируют огнеупорные бетоны, преимущественно низкоцементные. Большая часть низкоцементных бетонов высокоглиноземистого и глиноземошпинельного составов, качество которых в ряде случаев достигает уровня формованных изделий, используется для футеровки агрегатов разливки стали.

Исследовано влияние комплексных добавок нового поколения ООО «Полипласт Новомосковск» на свойства типового низкоцементного высокоглиноземистого бетона. В качестве исходных материалов использовали плавленный электрокорунд по ТТ 202-36–2000 производства ОАО «Первоуральский динасовый завод», плавленный белый электрокорунд марки ПКПЛ-98,

высокоглиноземистый цемент SECAR 70, реактивный глинозем марки СТС-22 фирмы «Almatis GmbH», Германия, а также импортные добавки. Исследования проводили на базовом составе огнеупорного бетона, включающем 80 % электрокорунда фракций 3–5, 1–3, мельче 1 и мельче 0,063 мм, 15 % реактивного глинозема и 5 % высокоглиноземистого цемента.

Образцы из огнеупорного бетона готовили по ГОСТ 52541–2006. Технологические свойства масс и образцов после сушки при 110 °С представлены в табл. 1, а свойства образцов после термообработки при 400, 800 и 1200 °С — в табл. 2, из которых следует, что комплексные добавки ООО «Полипласт Новомосковск» нового поколения обеспечивают реологические свойства низкоцементных высокоглиноземистых бетонов. Исследовали бетоны с разным количеством добавок (0,5–1,0 %), которые вводили сверх 100 % шихты. Из

Таблица 1. Технологические свойства образцов низкоцементных бетонов с корундовым заполнителем после сушки при 110 °С

Образец бетона	Количество добавки, %	Количество воды, %	Длительность смешения, мин–с	Растекае- мость, мм	Водопогло- щение, %	$P_{отж}$, %	$\rho_{каж}$, г/см ³	$\sigma_{сж}$, МПа
С импортными добавками	1,0	5,2	2–20	100	2,3	9,5	3,29	20,8
С новыми добавками:								
147	0,5	5,6	2–47	95	3,1	12,6	3,25	18,8
147	1,0	6,0	2–47	100	3,0	13,3	3,17	12,8
149	0,5	5,5	3–9	75	2,5	9,9	3,24	19,9
149	1,0	6,0	3–9	90	3,2	12,8	3,14	15,1
150	0,5	5,5	3–13	83	2,5	10,0	3,26	18,8
150	1,0	6,0	2–37	100	3,3	13,4	3,19	14,6

Таблица 2. Технологические свойства образцов после термообработки

Образец бетона	Свойства после термообработки при температуре, °С								
	400			800			1200		
	$P_{отж}$, %	$\rho_{каж}$, г/см ³	$\sigma_{сж}$, МПа	$P_{отж}$, %	$\rho_{каж}$, г/см ³	$\sigma_{сж}$, МПа	$P_{отж}$, %	$\rho_{каж}$, г/см ³	$\sigma_{сж}$, МПа
С импортными добавками	11,0	3,28	35,8	13,9	3,27	26,5	13,1	3,27	21,9
С новыми добавками:									
147	19,9	3,05	11,2	17,6	3,06	15,8	15,0	3,08	21,1
150	15,7	3,15	18,3	16,4	3,14	17,8	14,5	3,15	27,5

табл. 1 следует, что показатели высокоглиноземистого бетона с новыми добавками в количестве 0,5 % после сушки при 110 °С находятся на уровне показателей бетона с импортными добавками. Увеличение количества добавки с 0,5 до 1,0 % приводит к росту растекаемости бетона до 100 мм; при этом снижается его механическая прочность и увеличивается открытая пористость. Следовательно, для получения оптимальных свойств бетона необходимо подбирать количество вводимой

добавки. Установлено, что при термообработке при 1200 °С высокоглиноземистого бетона с новыми добавками механическая прочность плавно увеличивается и находится на уровне прочности бетона с импортными добавками. При температурах эксплуатации свойства опытных образцов соответствуют свойствам импортных аналогов, а по некоторым показателям (предел прочности при сжатии) — превосходят их.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МАГНЕЗИАЛЬНОКВАРЦЕВОЙ КЕРАМИКИ

© Д. т. н. И. Д. Кашеев¹, М. С. Полухин²

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

² ООО «ФОРЭС», г. Екатеринбург, Россия

Исследованы основные факторы, влияющие на плотность и прочность гранул порошка, полученных в башенно-распылительном сушале. Проведены лабораторные и промышленные испытания, в результате которых было установлено, что выход годного модифицированного порошка достиг 95 %. Выполнены расчеты и даны оценки эффективности модифицированных порошков, влияющих в дальнейшем на качество полученных гранул.

В производственных условиях выявлены дефекты сушки порошка, которые были устранены в результате модифицирования шликера поверхностно-активным

рого позволило снизить количество дефектных гранул. Выявлен эффект, влияющий на скорость и качество накатки гранул, при этом улучшена сферичность гранул фракции 0,8–1,0 мм. Свойства гранул, полученных из шликера с введением ПАВ и без него, приведены в таблице (psi — фунт-сила на кв. дюйм, 1 Па = 145,04·10⁻⁶ psi).

Проведены исследовательские и экспериментальные работы по влиянию стабилизации магнезиально-кварцевого шликера на конечные свойства гранул. Установлено изменение реологических свойств шликеров при длительном хранении в течение 12 и 24 ч. Анализ качества готовой продукции показал улучше-

Температура обжига, °С	Исходный шликер		Шликер с добавкой 0,05 % ПАВ		Снижение доли разрушенных гранул, %
	насыпная плотность, г/см ³	количество разрушенных частиц (давление 10000 psi), %	насыпная плотность, г/см ³	количество разрушенных частиц (давление 10000 psi), %	
1280	1,52	14,8	1,56	11,6	22
1300	1,52	18,6	1,55	12,1	35
1320	1,52	16,2	1,55	12,1	25

веществом (ПАВ). Это благоприятно повлияло на морфологическую структуру гранул при последующей накатке в тарельчатом грануляторе. В результате исследовательской работы подобрано ПАВ, введение кото-

рые свойств керамических гранул при применении стабилизированного шликера. Стабилизация шликера в течение 24 ч благоприятно влияет на морфологическую структуру сырца и последующее спекание гранул.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВНЫХ КОВШЕЙ ОАО ММК

© Д. т. н. И. Д. Кашеев¹, С. А. Поморцев², Е. В. Мурашко³, Ю. А. Борисова³

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

² ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

³ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

С ростом выплавки стали процессы доведения металла до заданного химического состава перенесены из основных сталеплавильных агрегатов непосредственно в сталеразливочный ковш. Технология внепечной обработки металла стала неотъемлемой, важной частью в сталеплавильном процессе. Футеровка сталеразливочных ковшей подвергается агрессивному воздействию шлакометаллического расплава и должна обладать высокими эксплуатационными свойствами.

Оценку качества периклазовых порошков осуществляют по четырем основным параметрам: химическому составу, размерам кристаллов периклаза, открытой пористости и кажущейся плотности зерен. Качество периклазовых порошков возрастает с увеличением содержания в них MgO, размера кристаллов периклаза и кажущейся плотности зерен с соответствующим уменьшением пористости. В настоящее время используется порошок двух видов (плавленый и спеченный), каждый

из которых интегрирован для определенных условий службы сталеразливочных ковшей. Увеличение размера кристаллов периклаза уменьшает их удельную поверхность, сокращает площадь контакта зерен периклаза и снижает скорость их растворения в шлаке. Поэтому выбор верхнего предела размера кристаллов периклаза и разработка соответствующих технологий производства плотных изделий — важные технологические процессы.

При производстве периклазоуглеродистых изделий в качестве связки используется комплексное органическое связующее — фенольная смола и этиленгликоль. Основным преимуществом таких связующих является возможность применения процесса холодного смешивания. Синтетическая связка характеризуется затвердеванием примерно при 180 °С вследствие полимеризации смолы. При коксовании полимерная связка образует изотропную беспорядочную углеродистую сетку (аналог стекловидного углерода). По сравнению с изделиями на пековой связке кокс из стекловидного углерода придает изделиям большую хрупкость, поэтому они характеризуются меньшей термостойкостью и большим риском растрескивания в процессе службы. Синтетическое связующее обладает высокой адгезией не только к минеральной составляющей, но и к углеродистым компонентам и антиоксидантам. После разрушения связки образуется коксовый остаток, который формирует углеродистый каркас изделия. Консолидация коксовых остатков связующего обуславливает создание плотной углеродистой матрицы, обеспечивая высокую коррозионную и эрозионную устойчивость огнеупорных изделий. Установлено, что снижение содержания коксового остатка связующего приводит к ухудшению качественных показателей оксидоуглеродистых огнеупоров.

Обычно для производства периклазоуглеродистых изделий используют низкотемпературные крупнокристалли-

ческие графиты с содержанием углерода 90–99 %. Введение графита в оксидные огнеупоры повышает прежде всего их коррозионную и термическую стойкость. Кроме того, углерод создает восстановительную среду, ухудшающую условия образования жидкой фазы, снижает смачивание огнеупоров шлаком, препятствует капиллярному проникновению шлака в огнеупоры, восстанавливает оксиды тяжелых металлов при высокой основности шлаков и препятствует тем самым взаимодействию их с оксидом магния.

Изучение механизма разрушения периклазоуглеродистых огнеупоров при контакте со шлаком показало, что одним из значительных факторов износа является обезуглероживание рабочей зоны: после окисления всего углерода в поверхностном слое происходит ее ошлаковывание с последующим растворением периклазового порошка и вымыванием продуктов взаимодействия. Одним из известных приемов защиты углерода от окисления в углеродсодержащих огнеупорах является введение добавок, обладающих повышенным сродством к кислороду, — антиоксидантов, которые эффективно защищают графит при низких и повышенных температурах. Эти добавки легче окисляются кислородом и оксидами железа шлака, что снижает скорость окисления углерода.

Антиоксиданты вводят в виде дисперсного порошка, количество которого оптимизируют для каждого вида изделий. Как правило, их содержание составляет 3–5 %. Несмотря на ограниченную долю в шихте антиоксидантные добавки существенно влияют на различные свойства огнеупора: окислительные, термомеханические, коррозионные, фазовый состав и др. В качестве антиоксидантов используют пассивированные алюминиевые порошки. Оценка антиокислительных свойств определяют по толщине обезуглероженного слоя после окислительного обжига или по потере массы вследствие выгорания углерода и увеличения массы за счет окисления антиоксидантов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕМБРАН ИЗ НАНОРАЗМЕРНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

© Д. х. н. В. Г. Конаков^{1,2}, к. х. н. С. Н. Голубев², Н. Н. Новик^{1,2}, М. М. Пивоваров²,
к. х. н. В. М. Ушаков²

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

² ООО Научно-технический центр «Стекло и керамика», Санкт-Петербург, Россия

Диоксид циркония находит широкое применение в науке и технике. Это связано, в том числе, с такими его характеристиками, как жаростойкость и высокая прочность. Диоксид циркония, модифицированный добавками редкоземельных металлов (Y, Yb, Sc), а также кальцием, может проявлять ионную проводимость. Так, за счет подобной проводимости мембраны на основе модифицированного диоксида циркония часто находят применение в высокотемпературных топливных элементах, работающих от 600 до 1200 °С. Из материалов, обладающих одновременно и огнеупорными свойствами, и ионной проводимостью, диоксид циркония является самым доступным. Однако электрохимические характеристики традиционно применяемого в топливных элементах диоксида циркония, допированного оксидом иттрия, недостаточны для возможности практического применения устройств. Необходим поиск методов улучшения свойств материалов, причем в области

как вырабатываемой энергии, так и температур, при которых возможно оперирование устройств. Одним из таких способов видится переход к использованию при производстве керамики наноразмерных порошковых прекурсоров.

Цель данной работы — изучение структурных и электрохимических свойств нанокерамики состава 92 мол. % ZrO_2 — 8 мол. % Y_2O_3 для определения ее применимости в топливных элементах, а также непосредственное изучение свойств топливного элемента с мембраной из нанокерамики в области от 600 до 800 °С. Для получения наноразмерных порошковых прекурсоров использовали метод золь-гель синтеза в варианте обратного соосаждения. Исходными компонентами служили $(ZrO)_2 \cdot 2H_2O$ и $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$. В качестве осадителя применяли раствор гидроксида аммония. Синтез проводили при температуре 2–4 °С. Полученный гель промывали водой до нейтральной ре-

акции среды и высушивали под давлением при 110 °С. Из порошка-прекурсора прессованием и последующим обжигом при 1500 °С получали образцы керамики. Образцы готовили в виде таблеток для последующего измерения электропроводности и в виде колпачков, из которых впоследствии изготавливали рабочую модель топливного элемента. Пикнометрическим методом определяли плотность керамики, которая составила 85 % теоретической. Фазовый состав порошка-прекурсора исследовали с помощью рентгенофазового анализа. Переход в хорошо проводящую кубическую фазу зафиксирован после прокаливания при 600 °С, температуру прокаливания определяли с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии. Прокаленный при этой температуре порошок-прекурсор мололи в планетарной мельнице. Затем с помощью лазерного седиментационного анализа было получено распределение размеров по объему и числу частиц. Средний размер частиц составил порядка 210 нм.

Важнейшей характеристикой, определяющей работоспособность топливных элементов, является электропроводность. Электропроводность измеряли с помощью моста переменного тока. Установлено, что ниже 200 °С электропроводность материала практически не проявлялась, но уже при 230 °С наблюдался линейный участок исследуемой зависимости. По эксперимен-

тальным данным с помощью уравнения Аррениуса была рассчитана энергия активации проводимости, составившая 80 кДж/моль, что незначительно отличается от энергии активации подобной керамики, полученной другими методами.

На керамическую мембрану была нанесена губчатая платина для изготовления платиновых электродов. Изготовленный топливный элемент является топливным элементом с несущим электролитом, толщина мембраны 3 мм, площадь контакта с электродами 10 см². Электрохимические характеристики измеряли при 600–800 °С. Выбор температуры обусловлен необходимостью изучения работоспособности топливного элемента в области средних температур, что в случае успеха позволило бы значительно снизить операционные расходы. В качестве топлива для топливного элемента использовали водород. Максимальное полученное напряжение при 800 °С составляло 840 мВ, максимальная сила тока 7,5 мА.

Таким образом, нанокерамика состава 92 мол. % ZrO_2 – 8 мол. % Y_2O_3 , если порошок-прекурсор получен методом золь-гель синтеза, пригодна для применения в топливных элементах, работающих в области средних температур. Топливные элементы с мембраной на основе такого материала обладают свойствами, сопоставимыми с известными аналогами.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА, ФАЗООБРАЗОВАНИЯ И ДИСПЕРСНОСТИ ПОРОШКОВ ПРЕКУРСОРОВ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

© Д. х. н. В. Г. Конаков^{1,2}, О. Ю. Курапова^{1,2}, к. х. н. С. Н. Голубев², к. х. н. В. М. Ушаков²

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

² ООО Научно-технический центр «ТНЦ Стекло и керамика», Санкт-Петербург, Россия

Вот уже более полувека керамика на основе стабилизированного диоксида циркония была и остается востребованным огнеупорным материалом. Это объясняется как ее прекрасными термическими и механическими характеристиками, так и возможностью разработки и получения изделий с заданными свойствами. Последнее становится возможным при корректном выборе методики синтеза порошков прекурсоров.

Цель настоящей работы — комплексное сравнительное исследование взаимосвязи методов получения и измерения дисперсности прекурсоров, их эволюции и фазообразования при термообработке на примере итогового состава керамики 9 мол. % CaO – 91 мол. % ZrO_2 . Для синтеза прекурсоров были выбраны пиролиз, включающий стадию механоактивации в планетарной мельнице, а также золь-гель синтез. Для пиролиза оксиды в стехиометрическом соотношении смешивали в планетарной мельнице «Pulverisette 6» с частотой вращения 350 об/мин в течение 1 ч. По результатам синхронного термического анализа полученный порошок параллельно прокаливали при 950 и 1300 °С. Золь-гель синтез проводили в варианте обратного соосаждения из 0,1 М раствора исходных солей. Осадителем являлся 1 М раствор гидроксида аммония. Полученный гель многократно промывали и подвергали различным последующим обработкам (лиофильной сушке с добавками и без них) с последующим параллельным прокаливанием при 400, 600, 800, 1000 и 1300 °С.

В результате исследования прекурсоров установлено, что предыстория их получения существенно

влияет как на фазовые соотношения, механизм и кинетику фазообразования, так и на изменение дисперсности в зависимости от температуры термообработки. Выяснено, что дисперсность прекурсоров итогового состава 9 мол. % CaO – 91 мол. % ZrO_2 , синтезированных с использованием криохимической обработки гелей, увеличивается с ростом температуры их термообработки. Прокаливание прекурсоров, полученных пиролизом, ведет к спеканию частиц и значительному уменьшению дисперсности образцов. При традиционном пиролитическом синтезе фазообразование в прекурсорах проходит в соответствии с фазовой диаграммой системы $CaO-ZrO_2$, а именно ниже 900 °С основной фазой является моноклинный диоксид циркония. Появление небольших количеств флюоритоподобного твердого раствора наблюдается только в области 950 °С. Напротив, лиофилизация геля способствует образованию кубического твердого раствора уже при 490 °С. Повышение температуры до 1100 °С ведет к появлению небольшой примеси моноклинной фазы. Соотношение количеств кубической и моноклинной фазы для обеих методик становится сравнимым только при 1300 °С. Таким образом, лиофильная сушка гелей, полученных золь-гель синтезом, способствует стабилизации флюоритоподобного твердого раствора на основе диоксида циркония в более широкой области температура – состав, чем это следует из фазовой диаграммы $CaO-ZrO_2$, полученной классическим методом. Таким образом, данные фазовых диаграмм, полученных для

микроразмерных объектов, следует переносить на наноразмерные объекты с осторожностью.

Представленные результаты наглядно показывают, что выбор оптимальных условий синтеза и обработки

позволяет получить наноструктурную керамику, обладающую более высоким уровнем физико-химических характеристик, чем при применении традиционных методов синтеза.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ, СПЕЧЕННОЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ, МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ

© Д. т. н. Б. Л. Красный, к. т. н. В. П. Тарасовский, к. т. н. А. Б. Красный
ЗАО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка Московской обл., Россия

Оптимальные решения при создании высокоэффективных конструкций аппаратов могут быть найдены только путем поиска компромисса в сложных связях треугольника изделие – условия эксплуатации – материал. Роль технологии материалов в этой ситуации заключается в получении изделий с заданными свойствами (геометрическими, физико-техническими и т. д.) на основе выбранных химических соединений. В свою очередь, свойства материала определяются, кроме условий испытаний, структурой испытуемого образца независимо от того, какими путями эта структура была получена. Поэтому возникает особый интерес к задаче нахождения путей регулирования свойств материалов за счет изменения их структуры. В физико-химическом анализе эта задача была сформулирована как проблема «дисперсность – состав – структура – свойство». Первая часть зависимости «дисперсность – состав – структура» относится к технологии изготовления материала, т. е. к путям получения данной структуры, вторая часть «структура – свойство» определяет потребительское качество продукта, т. е. пригодность его к службе. Поэтому звено «структура – свойство» становится одним из главных проблем материаловедения.

Под термином структура в современном материаловедении понимают пространственную организацию вещества материала, характеризующуюся совокупностью морфометрических, геометрических и энергетических признаков и определяющуюся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов, составляющих материал. Не вызывает сомнения тот факт, что трехмерное распределение структурных элементов в образце целиком определяет его свойства — например, термостойкость, коррозионную стойкость, проницаемость и др. Чтобы оценить свойства керамического материала, необходимо знать точное распределение структурных элементов в пространстве. Наиболее распространенным методом получения информации о строении материала является растровая электронная микроскопия (РЭМ), которая позволяет получать четкие двухмерные срезы высоко-го разрешения. Двухмерные изображения дают лишь

косвенную информацию о структуре материала, которой недостаточно для оценки свойств материала. Трехмерная структура материала может быть восстановлена по двухмерным срезам с помощью статистических реконструкций, но для проверки адекватности полученного результата информация о трехмерном строении материала все равно необходима. Такая информация может быть получена с помощью рентгеновской микротомографии (μКТ).

Во многих случаях в структуре изделий из керамики и огнеупоров присутствуют поры. Поровая структура изделий оказывает в большинстве случаев решающее влияние на их прочностные свойства, проницаемость, коррозионную стойкость, термостойкость и т. д. Очевидно, что структура порового пространства будет зависеть от температуры спекания материала и, в свою очередь, оказывать решающее влияние на свойства получаемого из этого материала изделия. Рентгеновская микротомография не оказывает никакого воздействия на образец, не нарушает изначальной структуры материала, не приводит к растворению или превращению веществ, составляющих первичную структуру материала, в другие вещества. В отличие от таких методов исследования поровой структуры материала, как капиллярнометрия или ртутная порометрия, результатами которых являются полуинтегральные характеристики (распределение пор по размерам), μКТ в дополнение к этим характеристикам позволяет получить информацию о форме пор, их связности, распределении пор в пространстве образца.

В работе представлены результаты количественного анализа поровой структуры корундовой керамики, спеченной при различных температурах: 1100, 1200, 1300, 1400, 1500 °С. Образцы для исследования микроструктуры получали методом полусухого прессования под давлением 50 МПа. В качестве исходного материала использовали порошок оксида алюминия марки СТ 3000 SG (фирма «Almatis GmbH», Германия). Удельная поверхность порошка (по БЭТ) составляла 7,5 м²/г, размер частиц D₅₀ 0,8 мкм, а D₉₀ 2,5 мкм.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ШИХТЫ ПЕЧЕЙ ГРАФИТАЦИИ АЧЕСОНА

© С. В. Кутузов¹, В. В. Буряк¹, В. В. Деркач¹, д. т. н. Е. Н. Панов², д. т. н. А. Я. Карвацкий², к. т. н. Г. Н. Васильченко², С. В. Лелека², Т. В. Чирка², Т. В. Лазарев²

¹ ПАО «Укрграфит», г. Запорожье, Украина

² Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Сущность графитации состоит в высокотемпературной обработке изделий до 2500–3000 °С в электрических печах сопротивления. Качество изготовления графитированной продукции определяется как достижением необходимой температуры, так и равномерностью тем-

пературных условий процесса, которая может быть достигнута путем правильного выбора в печи графитации пересыпочных и теплоизоляционных материалов, выполняющих функцию не только теплоизолятора, но и активного сопротивления. При этом к теплоизолиру-

ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Для обезвоживания концентратов, извлечения твердого из растворов



Вакуумные дисковые фильтры КДФ

- ❖ Высокая удельная производительность
- ❖ Низкая влажность кека
- ❖ Непрерывность действия
- ❖ Экономия энергоресурсов
- ❖ Снижение эксплуатационных затрат



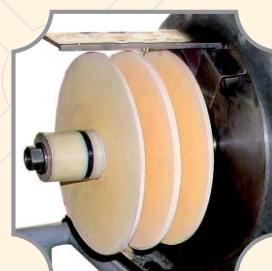
Патронные керамические фильтры ПКФ

- ❖ Высокая производительность — $1,9 \text{ м}^3/\text{м}^2$
- ❖ 99,98% извлечения твердого из растворов
- ❖ Возможность фильтрации горячих растворов
- ❖ Возврат ценных твердых продуктов в производство



Тангенциальные фильтры ТТФ

- ❖ Высокая удельная производительность
- ❖ Низкая влажность кека
- ❖ Непрерывность действия
- ❖ Экономия энергоресурсов
- ❖ Снижение эксплуатационных затрат



На правах рекламы



ЗАО «Научно-технический центр «Бакор»

Тел.: +7(495)502-78-68

E-mail: bakor@ntcbakor.ru

www. ntcbakor.ru



Огнеупоры керамические

**БАДДЕЛЕИТОКОРУНДОВЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ
ОГНЕУПОРЫ
БКТ**



**ХРОМОКСИДНЫЕ
ОГНЕУПОРЫ
ХС-МВУ**



**КОРУНДОМУЛЛИТОЦИРКОНИЕВЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ
ОГНЕУПОРЫ
КМЦ**



**ТИГЛИ ВЫСОКООГНЕУПОРНЫЕ
ДЛЯ ПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ
И СПЛАВОВ**



**ХРОМАЛЮМОЦИРКОНИЕВЫЕ
ОГНЕУПОРЫ
ХАЦ**



**ВТУЛКИ
КЕРАМИЧЕСКИЕ**



**ХРОМКОРУНДОВЫЕ
ОГНЕУПОРЫ
ХКТ**



**ОГНЕУПОРНАЯ
КЕРАМИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА**



ПРЕИМУЩЕСТВА

- Повышенная термостойкость
- Химическая стойкость
- Коррозионная стойкость к сплаву, к агрессивным кислотным и щелочным средам при повышенных температурах

ОТРАСЛИ ПРИМЕНЕНИЯ

- Химическая и нефтехимическая промышленность
- Стекольная промышленность
- Металлургическая промышленность
- Промышленность теплоизоляционных материалов
- Керамическая промышленность
- Машиностроение и авиационное моторостроение

ОГНЕУПОРНАЯ ФУТЕРОВКА ПЕЧЕЙ В КОМПЛЕКТЕ

- Стекловаренные печи
- Плавильные печи минеральных пород в производстве базальтовых и минеральных волокон
- Плавильные агрегаты черной и цветной металлургии

ЗАО «НТЦ «Бакор» (центр специальной керамики)
142172, г. Москва, г. Щербинка, ул. Южная, д. 17
Тел.: +7 (495) 502-78-17. Факс: +7 (495) 502-78-09
E-mail: bakor@ntcbacor.ru. Сайт: www.ntcbacor.ru



**МЕРТЕЛИ
ОГНЕУПОРНЫЕ**



щим материалам предъявляют такие требования, как высокое электрическое сопротивление, низкая теплопроводность и достаточная пористость.

Свойства применяемой теплоизоляции в графитировочных печах влияют на энергетические показатели процесса графитации. Для исследования влияния шихты на эффективность работы печи графитации необходимы данные по ее теплофизическим свойствам. В литературе приведены данные по теплопроводности и удельному электросопротивлению в зависимости от температуры, гранулометрического состава, химического состава примесей и других факторов. Однако для получения достоверных результатов при расчетах тепловых полей печей графитации этих данных недостаточно. Необходимы дополнительные исследования теплопроводности и удельного электросопротивления углеродных сыпучих материалов с размером частиц до 10 мм при температурах до 1000 °С в условиях, соответствующих давлению в печах графитации (27 кПа).

В настоящее время в печах графитации используется теплоизоляционная шихта (<10 мм), в состав которой входят сырая графитированная коксовая мелочь, опилки и песок. Однако в некоторых случаях использование такой шихты затруднено или невозможно из-за

технологических и экологических требований. Альтернативой может быть шихта на основе коксовой мелочи выбранного гранулометрического состава. С этой целью были проведены исследования температурных зависимостей теплопроводности и удельного электросопротивления шихты на основе коксовой мелочи разных фракций. Установлено, что наилучшими теплоизолирующими свойствами обладает сырая коксовая мелочь (<2 мм).

Для адаптации численной модели и подготовки результатов исследования к использованию полученные экспериментальные данные были обработаны в виде полиномов и экстраполированы в область температур до 3000 °С. В результате расчетов геометрической модели печи с заготовками получены ее термограммы после отключения. В качестве теплоизоляционной шихты использовали сырую коксовую мелочь фракции мельче 2 мм. Результаты моделирования показали увеличение КПД печи графитации на 2 % и уменьшение неоднородности температурного поля по заготовкам на конец кампании на 10 %. Таким образом, с применением математической модели можно проводить усовершенствование печей графитации.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КЕРАМИКЕ ИЗ ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ, УДАРНО-ВОЛНОВОМ И ТЕРМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© Д. Т. Н. Е. С. Лукин¹, к. ф.-м. н. В. В. Милявский², к. ф.-м. н. А. С. Савиных³, к. т. н. Ф. А. Акопов², к. ф.-м. н. Т. И. Бородин², к. т. н. Л. Б. Боровкова², Г. Е. Вальянов², Н. А. Попова¹, С. Ю. Ананьев², А. В. Валуев²

¹ ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», Москва, Россия

² ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН», Москва, Россия

³ ФГБУН «Институт проблем химической физики РАН», г. Черноголовка Московской обл., Россия

Проведены дальнейшие исследования керамики из частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСДЦ) состава 97 мол. % ZrO_2 – 3 мол. % Y_2O_3 высокой плотности. В качестве исходного материала использовали порошок производства КНР, который содержал (по данным РФА) твердый раствор на основе моноклинного, кубического и тетрагонального ZrO_2 . В процессе спекания (обжига) происходило перераспределение стабилизатора Y_2O_3 по объему образцов. По данным РФА, в образце керамики содержалось 97–98 мас. % тетрагональной фазы ($t-ZrO_2$) и 2–3 мас. % моноклинной ($m-ZrO_2$). Плотность образцов составила $(6,01 \pm 0,02)$ г/см³ при открытой пористости около 3 %. Рентгеновская плотность около 6,22 г/см³.

В данной работе по стандартным методикам определены некоторые характеристики керамики: предел прочности при статическом изгибе — около 1500 МПа, микротвердость — около 15,5 ГПа, твердость по Роквеллу — 89, трещиностойкость — около 8 МПа·м^{1/2}, модуль упругости — около 340 ГПа, а также получены данные по фазовым превращениям при ударно-волновом нагружении 36 и 52 ГПа.

Ранее авторами отмечено, что при механическом воздействии на керамику из ЧСДЦ происходит изменение фазового состава с переходом части тетрагональной фазы в моноклинную. Результаты до и после экспе-

риментов оценивали с помощью рентгеноструктурного анализа. Рентгеновские спектры получали от верхней и нижней базовых поверхностей образца-таблетки, а также от поверхностей вертикальной и горизонтальной трещин. Подтверждено, что механическое воздействие на керамику из ЧСДЦ в виде разреза алмазным диском или путем ударного излома инициирует переход $t-ZrO_2$ в $m-ZrO_2$, количество которого увеличивается до 33 мас. %.

После ударно-волнового нагружения 36 ГПа количество моноклинной фазы увеличилось с 2–3 мас. % (исходный образец) до 16–27 мас. %. После эксперимента по нагружению до 52 ГПа содержание моноклинной фазы возросло до 14–33 мас. %; наиболее явно этот переход проявился на поверхности вертикальных и горизонтальных трещин. Обнаружено, что тетрагонально-моноклинный фазовый переход происходит в результате деструкции (разрушения) керамики и не вызывается непосредственно ударным сжатием. Исследование образцов после выдержки в жидком азоте (77,4 К) и жидком гелии (4,2 К) не выявило значимых изменений в фазовом составе керамики. Таким образом, высокоплотная керамика из ЧСДЦ характеризуется высокими прочностными показателями, фазовой стабильностью при низких температурах и в условиях ударно-волнового сжатия вплоть до 52 ГПа.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОГНЕУПОРНЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНО ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР СЛУЖБЫ**© Д. Т. Н. Е. С. Лукин¹, Н. А. Попова¹, Л. Т. Павлюкова¹, к. т. н. Ф. А. Акопов²,
к. т. н. Л. Б. Боровкова², Б. И. Морозов³, В. С. Преображенский³, В. А. Безлепки³, Д. В. Голубев⁴¹ ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева»,

Москва, Россия

² ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН», Москва, Россия³ ООО «Поликор», г. Кинешма Ивановской обл., Россия⁴ ООО «Русские котлы», Москва, Россия

Разработаны составы и изучены свойства огнеупоров из диоксида циркония. В качестве исходного материала использовали прозрачные кристаллы фианита ($ZrO_2 + 10$ мол. % Y_2O_3). Наилучшие свойства получены у образцов, содержащих порошок ZrO_2 с размером зерен менее 2 мкм (проход через сито с размером ячейки 2 мкм), — 85 мас. %, дисперсный порошок ZrO_2 (размер частиц ~3 мкм) из фианита — 7,5 мас. %, нанопорошок частично стабилизированного ZrO_2 — 7,5 мас. %. После обжига при 1700 °С образцы имели среднюю кажущуюся плотность 4,80 г/см³, открытую пористость около 18 %, предел прочности при сжатии 75 МПа. При термоударе 1200 °С — воздух образцы диаметром 50 и высотой 50 мм выдерживали 33 теплосмены без образования трещин. Эти огнеупоры разработаны для ловушек ядерных реакторов, и в опытной конструкции ловушки выдерживали воздействие кориума при 2500 °С в течение нескольких часов.

Проведены исследования по получению корундовых огнеупоров с пониженной пористостью. В качестве исходных материалов использовали белый электрокорунд различной зернистости и измельченный до 1–3 мкм глинозем ГН-1. В глинозем при его измельчении вводили до 5 мас. % MgO. В процессе обжига MgO при взаимодействии с Al_2O_3 образовывал шпинель, что способствовало уменьшению пористости и существенному повышению термостойкости материала. Образцы после обжига при 1730 °С имели кажущуюся плотность 3,30–3,35 г/см³, открытую пористость около 12 %, предел прочности при сжатии до 100 МПа и высокую тер-

мостойкость при теплосменах 1000 °С — вода. Свойства корундовых огнеупоров существенно зависят от последовательности смешения компонентов, температура службы до 1800 °С. Огнеупоры могут применяться в качестве футеровки и термостойкой фурнитуры для обжига.

Изготовлена опытная партия образцов теплоизоляционной керамики из дисперсного оксида алюминия с добавкой оксида магния с ячеистой структурой путем дублирования структуры пенополиуретана. Образцы после обжига при 1750 °С имели открытую пористость 88–90 %, кажущуюся плотность 0,40–0,42 г/см³, предел прочности при сжатии 10 МПа. Образцы были изготовлены в виде кирпичиков размерами 250×120×40 мм и использованы для теплоизоляции в вакуумных печах и в печи с хромит-лантановыми нагревателями взамен волокнистой теплоизоляции из оксида алюминия. Эта теплоизоляция служит в течение четырех лет без деформации и разрушения при максимальной температуре (~1750 °С).

Изготовлены образцы пористой и прочной многокомпонентной керамики (основа — Al_2O_3) для газовых беспламенных горелок. Опытные образцы при испытании в конструкции горелок обеспечили достижение температуры 1200 °С на поверхности. За счет совершенствования конструкции горелок с использованием керамики на основе диоксида циркония планируется повысить температуру на поверхности до 1500 °С. Панели из таких горелок можно будет использовать в печах для обжига керамических изделий.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**КИНЕТИКА ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ**

© К. Т. Н. Г. А. Лысова, к. т. н. С. И. Боровик, А. М. Чуклай

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

Технология изготовления периклазовых термостойких огнеупорных изделий для футеровки печных агрегатов предусматривает использование в качестве временно-го технологического связующего лигносульфонатов (ЛСТ). Однако ЛСТ часто не удовлетворяют требованиям технических условий, а их применение не позволяет получить огнеупорный материал с необходимым уровнем физико-механических свойств и без брака на технологических переделах. Одним из способов повышения вязкости связующего, пластичности и формуемости огнеупорной массы и снижения уровня брака может быть модифицирование ЛСТ мелассой свекловичной (МС).

Цель работы — изучение кинетических особенностей процессов термической деструкции ЛСТ, модифицированных МС. Кинетика термической деструкции ЛСТ, МС и компаундов на их основе в соотношении ЛСТ/МС, равном 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 и 40/60, изучена в интервале 20–525 °С в атмосфере собственных летучих при линейной скорости подъема температуры 4 °С/мин. Для определения энергий активации процесса использован метод Аррениуса. На ДТГ-кривых термической деструкции ЛСТ и МС в интервале 50–180 °С наблюдается четко выраженный пик с максимумом при 128 °С, что соответствует выделению адсорбционной и координационно-связанной воды. Потеря массы ЛСТ на этой стадии протекает в более узком

интервале температур и с более высокой скоростью. Второй температурный максимум в интервалах 181–301 и 184–313 °С состоит из одного ярко выраженного пика при 280 °С для ЛСТ и при 228 °С для МС и нескольких перекрывающихся пиков, соответствующих выделению летучих продуктов деструкции органического вещества исследуемых материалов, приводящих к карбонизации. Суммарное количество вещества, выделяющегося на этой стадии, составляет для ЛСТ примерно 5 %, что ниже, чем у МС, в 2 раза.

При высоком содержании ЛСТ в низкотемпературной области наблюдается один пик, максимум которого сдвинут в низкотемпературную область относительно исходных веществ. Увеличение содержания МС в массе приводит к расщеплению максимума в низкотемпературной области на два частично перекрывающихся пика для всех исследованных смесей. Количество вещества, претерпевающего термическую деструкцию в интервале низкотемпературных максимумов, снижается: с 36,91 % для смеси 80/20 до 24,07 % для смеси 40/60, что связано с увеличением содержания МС, при термической деструкции которой удаляется меньше воды, чем для ЛСТ. В температурном интервале второго и третьего максимумов на ДТГ-кривой термической деструкции для смесей также наблюдаются два пика, температурные интервалы которых и количество выделившегося вещества зависят от состава. Для компаунда 70/30 максимумы второго и третьего пика сдвигаются в низкотемпературную область относительно смесей, содержащих более высокое или низкое значение ЛСТ. Кроме того, для этого компаунда характерно максимальное количество летучих продуктов термодеструкции, что свидетельствует о большем превращении органического вещества смеси.

Кинетический анализ интегральных термогравиметрических кривых с использованием уравнений Аррениуса и константы скорости реакции первого поряд-

ка показал наличие на кривой зависимости $\ln k-1/T$ прямолинейных участков, различающихся наклоном относительно осей координат. Сравнение температурных интервалов максимумов на ДТГ-кривой и линейных участков на аррениусовой зависимости позволяет зафиксировать последовательные температурные стадии, соответствующие стадийному удалению воды и термической деструкции самого вещества. Первая и вторая температурные стадии свидетельствуют об испарении воды из материала. Увеличение эффективной энергии активации процесса на второй стадии, по-видимому, обусловлено возрастанием сил межмолекулярного взаимодействия воды и молекул углеводов и соответствующим ростом энергии гидратации. Четвертая и пятая кинетические стадии термодеструкции характеризуются нулевым или близкими к нулю значениями эффективной энергии активации, что может быть обусловлено протеканием химических реакций с участием образовавшихся на третьей стадии свободных радикалов. Высокотемпературные кинетические стадии — шестая и седьмая характеризуются невысокими значениями эффективной энергии активации. Возможно, что основным процессом этих высокотемпературных стадий является карбонизация — образование высокоуглеродистого остатка.

Установлено, что в смеси 70/30 протекают более глубокие процессы перестройки надмолекулярной структуры. Это подтверждается максимальным количеством удаленной адсорбционной воды и высокими значениями эффективной энергии активации на температурных стадиях процесса деструкции компаундированного связующего. Следовательно, содержание ЛСТ в компаунде 70 % является оптимальным, что подтверждается лабораторными и промышленными испытаниями компаундированного связующего в производстве периклазовых материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ПЛАВЛЕННОГО КОРУНДА И ШПИНЕЛИ

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын, А. М. Гороховский, Л. А. Карпец, А. В. Федоровцева
ОАО «Динур», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

ОАО «Динур» уже более 15 лет производит плавные огнеупорные сырьевые материалы: кремнеземистое стекло (аналог природного минерала лешательерита, $\text{SiO}_2 \sim 99,5$ мас. %), белый и легированный корунд, магнезиальноглиноземистую шпинель и др. Одной из главных технических характеристик большинства плавных материалов с высоким ТКЛР является термостойкость. Приведены результаты изучения термостойкости плавных материалов систем $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--TiO}_2$ различного вещественного состава и гранулометрии до и после термообработки в окислительной среде по различным режимам. В качестве объектов исследования были использованы четыре плавных материала: три легированных электрокорунда (комплексно-легированный, титанистый и магниевый) и магнезиальноглиноземистая шпинель. Образцы обжигали в виде кусковых и зернистых проб в

лабораторной и промышленной печи при 1410 °С с выдержкой 5 и 15 ч.

Было установлено, что изученные материалы в различной степени реагируют на изменение термостойкости в зависимости от интенсивности их термообработки. На большинство материалов термообработка влияет положительно. Наибольшее повышение термостойкости после обжига достигается в зернистых пробах (фракции 6–3 мм), меньшее — в кусковых образцах (50–60 мм). С увеличением продолжительности изотермической термообработки термостойкость материалов заметно возрастает. Наибольшее положительное влияние на термостойкость оказывает предварительный обжиг легированных корундов двух видов: комплексно-легированного и титанистого. Для шпинели характерно аномальное отрицательное воздействие или очень небольшое положительное влияние на термостойкость. Положительный эффект увеличения тер-

мостойкости плавленного корунда заметно усиливается с повышением концентрации в нем легирующих компонентов в ряду: TiO_2 , Fe_2O_3 , SiO_2 , R_2O , MgO .

Как показало микроскопическое исследование, в процессе термообработки в плавленных материалах происходят различные физико-химические процессы (окисление металлических примесей, превращение низших оксидов переходных металлов в высшие, образование и распад твердых растворов, синтез новых соединений, релаксация внутренних напряжений в кристаллах, образование жидкой примесной фазы и капиллярная миграция ее по канальным порам на поверхность зерен, испарение компонентов с повышенным давлением пара и др.). Фазово-структурные превращения, как правило, в первую очередь приводят к изменению окраски плавленного материала и ряда других свойств (кроме термостойкости), в частности открытой пористости, кажущейся плотности и прочности. Почти у всех материалов открытая пористость

значительно возрастает, а кажущаяся плотность, соответственно, снижается. Особенно резко повышается относительная пористость (на 24–46 %) у комплексно-легированного корунда.

В целом в результате экспериментальных исследований впервые удалось получить плавленный корунд с такой же термостойкостью (или даже выше), как у табулярного глинозема фирмы «Almatis GmbH», Германия. Эффект увеличения термостойкости определяется интенсивностью фазово-структурных изменений при обжиге материалов, которая, в свою очередь, зависит от природы и концентрации легирующих добавок и собственных примесей, режима термообработки и других технологических факторов, в том числе зернового состава плавленного материала. Термообработка при 1400 °С плавленных материалов, например электротехнического периклаза высоких сортов, уже 30 лет является обязательной технологической операцией для улучшения качества материала.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ГЛИНОЗЕМА НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ ВОЛЛАСТОНИТОВЫХ ЛЕГКОВЕСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Д. т. н. В. В. Примаченко, к. т. н. Н. М. Казначеева, Ю. А. Крахмаль, к. т. н. П. П. Криворучко
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров им. А. С. Бережного»,
г. Харьков, Украина

В ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного» разработана технология волластонитовых легковесных изделий, которые характеризуются низкими кажущейся плотностью (0,8–0,9 г/см³) и теплопроводностью (0,21–0,23 Вт/(м·К)) при средней температуре 650 °С, высоким пределом прочности при сжатии (4,5–5,6 МПа). Изделия не смачиваются расплавом алюминия и не вступают в химическое взаимодействие с ним. Основной фазой изделий является волластонит в виде его высокотемпературной модификации псевдоволластонита, получаемой путем твердофазного синтеза из кальций- и кремнеземсодержащих материалов непосредственно в изделиях. Присутствие в изделиях в качестве основной фазы псевдоволластонита позволяет обеспечить им неизменность фазового состава до 1300 °С и, следовательно, стабильность свойств в службе. Волластонитовые изделия в мировой практике получили широкое распространение в алюминиевом производстве. Изделия применяются в футеровке желобов в местах быстрого перелива алюминия из печи в миксер и при службе подвергаются термоударам, поэтому материал футеровки должен быть термостойким.

Одним из методов повышения термостойкости изделий является введение в их состав компонентов, характеризующихся низким значением ТКЛР.

Исследовано влияние добавки глинозема в количестве 2–10 % на повышение термостойкости волластонитовых легковесных изделий. В шихту на основе мела, гипса и кварца вводили добавку глинозема. Дисперсность всех компонентов шихты составляла менее 100 мкм. Термостойкость изделий с добавкой глинозема оценивали по изменению их предела прочности при сжатии (разупрочнению) после 5-кратного термоциклирования по режиму 900 °С – воздух в сравнении с изменением предела прочности при сжатии изделий без добавки. Установлено, что введение добавки глинозема в оптимальном количестве снижает разупрочнение изделий на 20 % и увеличивает их термостойкость при сохранении физико-механических свойств изделий. Волластонитовые изделия с повышенной термостойкостью рекомендуются к применению в алюминиевом производстве, в том числе в качестве футеровки желобов раздаточных печей.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОРУНДОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ С ДОБАВКОЙ ФЕРРОСИЛИЦИЯ НА СИАЛОНСОДЕРЖАЩЕЙ СВЯЗКЕ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

© Д. т. н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко, к. т. н. Л. А. Бабкина, к. т. н. Л. К. Савина
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров им. А. С. Бережного»,
г. Харьков, Украина

В ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров им. А. С. Бережного» разработана технология изготовления корундовых огнеупоров с добавкой ферросилиция на сиалонсодержащей связке. Добавка ферросилиция в составе шихты огнеупора

способствует более полному протеканию реакции образования сиалона и при примерно равной пористости огнеупора обеспечивает повышение его прочности (на ~27 %). Характеристика корундовых огнеупоров на сиалонсодержащей связке с добавкой ферросилиция

после обжига при 1560 °С в среде газообразного азота: химический состав, мас. %: Al_2O_3 75,0–80,0, N 7,0–7,3, $Si_{ост}$ ниже 0,1; открытая пористость 16,0–16,5 %; предел прочности при сжатии 140–145 МПа; температура деформации под нагрузкой 0,2 МПа 1700 °С.

В институте освоено производство корундовых огнеупоров с добавкой ферросилиция на сиалонсодержащей связке. Разработанные огнеупоры рекомендуются для службы до 1600 °С, в том числе для шиберных затворов сталеразливочных ковшей.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА АЛЮМОМАГНЕЗИАЛЬНОЙ ШПИНЕЛИ НА СВОЙСТВА СУХОЙ КОРУНДОШПИНЕЛЬНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

© Д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **В. В. Мартыненко**, к. т. н. **Л. А. Бабкина**,
к. т. н. **Л. Н. Солошенко**, **Л. М. Щербак**

ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров им. А. С. Бережного»,
г. Харьков, Украина

В ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного» исследовано влияние вида алюмомагнезиальной шпинели с содержанием Al_2O_3 78 % (спеченной марки AR-78 фирмы «Almatis GmbH», Германия) и 85 % (плавленной производства ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного») на свойства сухой корундошпинельной смеси марки СКШ для футеровки индукционных тигельных печей с температурой службы выше 1650 °С. Установлено, что введение в состав смеси СКШ плавленной алюмомагнезиальной шпинели с содержанием Al_2O_3 85 % обеспечивает повышение прочности и шлакоустойчивости образцов

из нее примерно на 10 %. Характеристика сухой смеси СКШ, содержащей плавленную алюмомагнезиальную шпинель: химический состав, мас. %: Al_2O_3 95,0–96,0, MgO 2,8–4,0, SiO_2 0,2–0,4, Fe_2O_3 0,2–0,3; зерновой состав — мельче 3 мм.

В институте освоено изготовление сухой корундошпинельной смеси с добавкой плавленной алюмомагнезиальной шпинели собственного производства. Смесь планируется испытать в футеровке индукционных печей ООО «Завод прецизионных сплавов и металлов».

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МУЛЛИТОВЫЕ, МУЛЛИТОКОРУНДОВЫЕ И МУЛЛИТОКОРУНДОЦИРКОНОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «УКРНИИО им. А. С. БЕРЕЖНОГО» ДЛЯ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

© Д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **В. В. Мартыненко**, к. т. н. **И. Г. Шулик**,
к. т. н. **С. В. Чаплянко**, **Л. В. Грицюк**, **Л. П. Ткаченко**

ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров им. А. С. Бережного»,
г. Харьков, Украина

В ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного» для различных зон футеровки стекловаренной печи разработаны и производятся муллитовые, муллитокорундовые и муллитокорундоцирконовые огнеупоры (см. таблицу). Муллитовые огнеупоры (марка МСП-72) характеризуются объемпостоянством, высокой устойчивостью к ползучести и применяются в своде одностадийной стекловаренной печи по производству стекловолокна. Муллитокорундовые вибролитые огнеупоры (марка МКСП-80) характеризуются высокой температурой начала размягчения под нагрузкой и применяются для перекрытия фидерных каналов стекловаренной печи по производству стекловолокна. Муллитокорундовые

термостойкие уплотненные огнеупоры (марка МКСП-91) характеризуются высокой плотностью, термостойкостью и применяются в своде и верхнем строении стекловаренной печи по производству стекловолокна и стеклошариков. Муллитокорундовые сложнофасонные вибролитые огнеупоры (марка МКТПС-89) характеризуются высокой термостойкостью и применяются для фидеров стеклоформирующих машин (плунжеры, бушинги, чаши, очко, горелочные камни, крышки и др.), линий прокатки листового стекла (линейки-лотки, ограничители и др.), линий по протяжке стеклянной трубки для мундштучной камеры (шиберы, плиты перекрытия, брусья поддержки и упора лотка, горелочные

Показатели	МСП-72	МКСП-80	МКСП-91	МКТПС-89	МКЦ
Массовая доля, %:					
Al_2O_3	72,8–75,6	80,7–82,8	91,8–92,7	89,9–91,7	69,0–69,4
ZrO_2	—	—	—	—	—
Fe_2O_3	0,1–0,3	0,1–0,2	0,1–0,3	0,1–0,3	5,1–15,3
Открытая пористость, %	16,2–17,9	12,1–14,6	15,0–18,5	13,6–16,1	15,7–15,9
Предел прочности, МПа:					
при сжатии	82–110	164–210	76–187	155–182	111–131
при изгибе при 1450 °С	9,0–9,3	10,5–10,9	3,5–3,8	7,0–7,8	Н. д.
Температура начала размягчения под нагрузкой 0,2 МПа, °С	>1750	>1750	1640	1660	Н. д.
Остаточные изменения размеров при 1600 °С, %	0,0	0,0–0,1	0,0–0,2	0,0–0,1	0,0–0,2
Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены	Н. д.	5–9	>20	>20	6–12

камни), для перекрытия фидера и форкамер (плиты), для перелива стекла (трубы, горелочные камни). Муллитокорундоцирконовые сложнотермостойкие вибролиты (марка МКЦ) характеризуются высокой устойчивостью к расплаву стекла и применяются как каплеобразующие для фидеров стеклоформирующих машин.

Разработанные огнеупоры по своим эксплуатационным характеристикам соответствуют мировому уров-

ню. Их применение позволяет сократить межремонтные простои, увеличить продуктивность работы установок, обеспечить длительный срок службы. В институте проводятся работы по дальнейшему усовершенствованию технологии производства и освоению новых типоразмеров муллитовых, муллитокорундовых и муллитокорундоцирконовых огнеупоров для стекловаренных печей.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ БОРТОВОЙ SiC ФУТЕРОВКИ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

© Д. Т. Н. А. В. Прошкин¹, д. т. н. Ю. Г. Михалёв², к. т. н. В. В. Пингин¹, к. т. н. Л. А. Исаева²

¹ ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, Россия

² Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Увеличение производительности алюминиевых электролизеров и повышение их срока службы диктуют необходимость использования в качестве бортовой футеровки ванн блоков на основе карбида кремния с нитридной связкой. Практика работы алюминиевого завода показала, что определенные области бортовой карбидкремниевой футеровки подвергаются повышенному износу. Кроме того, разрушаются не только блоки, но и кожух ванн электролизеров. Исследованию механизмов этого разрушения и посвящена данная работа.

Многочисленные результаты аутопсий электролизеров показали, что в процессе эксплуатации карбидкремниевые блоки часто сильно деградируют на уровне верхней границы электролита. В этой области формируются галтели; видны трещины, проходящие поперек блока. Кроме того, в зоне контакта блоков с кожухом выявлено присутствие окалины толщиной до 30 мм. Наблюдается различие цвета окалины по высоте кожуха. В средней и нижней частях поврежденного кожуха под слоем окалины обнаружены следы газофазных реакций в виде каверн размерами до 50 мм. Представлена топография зон разрушения.

Для оценки вещественного состава пробы были подвергнуты рентгенофазовому анализу (РФА), который позволил установить, что основу строения окалины составляют оксиды железа типа Fe_2O_3 с вариациями соотношения кислорода и железа в сторону более высокого содержания кислорода. Во всех пробах обнаружены сульфиды или сульфаты железа (от 1,29 до 1,87 %); в отдельных пробах их содержание достигало 8,46 %. С помощью универсального светового микроскопа «Axio Observer MAT» исследовали структуру переходной зоны между SiC блоками и кожухом конструкции электролизера. Приведены характеристики этих зон. Показано, что зона, контактирующая с кожухом электролизера, имела рыхлую, пористую структуру, в которой обнаружены включения желтого цвета. В об-

ласти контакта этой зоны с металлом кожуха обнаружены многочисленные дефекты металла. Анализ распределения пор по размерам показал существенную их неоднородность по толщине окалины.

Исследование распределения элементов в образцах переходной зоны между окалиной и бортовым карбидкремниевым блоком проведено методом электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа. Использовали растровый электронный микроскоп «EVO 50 Carl Zeiss», Германия, и энергодисперсионный анализатор INCA 350, Великобритания. Установлено, что основной оксидной фазой следует рассматривать Fe_2O_3 . Очевидно, что основным коррозионным агентом является кислород, обеспечивающий образование окалины при взаимодействии его с железом. Однако наличие серы и ее соединений в пространстве между блоком и кожухом также влияет на характер протекающих процессов. Показано, что сера распределяется неоднородно в анализируемых зонах и концентрируется в небольших количествах в области несплошностей в переходной зоне. Результаты анализа позволяют предполагать, что железо кроме образования окалины частично связано с серой с образованием сульфида железа.

Результаты проведенного анализа позволили предложить последовательность изменений в бортовой футеровке и кожухе, обуславливающих механизм повреждения бортовой карбидкремниевой футеровки современных электролизеров. Показано, что причиной повреждения металла кожуха на катодных устройствах электролизеров производства первичного алюминия является проникновение карбонилсульфидов и других серосодержащих газов через трещины SiC блоков в пространство между блоками и кожухом электролизера с последующим образованием сульфидов и сульфатов железа.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ КОРУНДОВОГО ПОКРЫТИЯ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ САМОАРМИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ β -SiC И ИГЛАМИ МУЛЛИТА БАРЬЕРНОГО ПОДСЛОЯ

© Д. Т. Н. Г. Д. Семченко, И. Ю. Шутеева, Я. Н. Питак

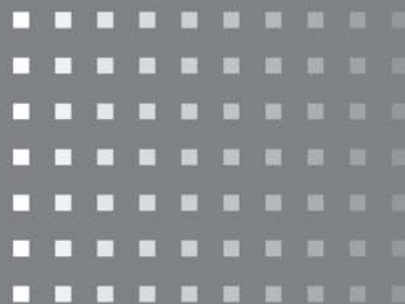
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

Проблема создания покрытий для защиты графита от окисления тесно связана с взаимодействием на границе раздела фаз. Важно, чтобы углерод графитовой подложки не вступал в реакцию взаимодействия с компо-

нентами покрытия. Корундовые материалы обладают улучшенными физико-механическими свойствами при введении в их состав добавок ZrO_2 и SiC. Как показали наши исследования, введение добавки ZrO_2 в состав ко-



Спец ОГНЕУПОР Комплект



**Разработка, производство, поставка, шеф-монтаж
огнеупоров и высокотемпературной теплоизоляции**



- Неформованные огнеупоры:
огнеупорные бетоны (сухие бетонные смеси),
торкрет-массы
- Формованные (фасонные)
огнеупорные изделия из бетонов
высокоглиноземистого и муллитового
составов по чертежам заказчика



- Высокотемпературная экологически чистая
безасбестовая теплоизоляция
из муллитокремнеземистого
и керамического волокна
- Защитные огнеупорные,
высокотемпературные, антипригарные
покрытия, краски, клеящие мастики
- Флюсы и присадки



**Ремонт, восстановление,
модернизация тепловых агрегатов**

Россия, 620010, Екатеринбург, ул. Профсоюзная, д. 43, оф. 10
Тел.: (343) 253-58-76 (многокан.). Факс: (343) 253-58-73
E-mail: spets@spetsogneupor <http://www.spetsogneupor.ru>

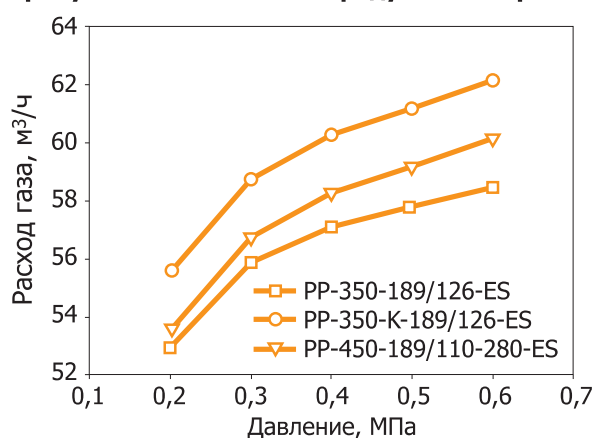
Изделия для донной продувки

Использование систем продувки металла аргоном в сталеразливочных ковшах на сегодняшний день является стандартным компонентом оборудования. За прошедшие годы были усовершенствованы безопасность, увеличен срок службы пробок, а также повышена эффективность продувки.

Компания «Кералит» выпускает щелевые пробки на основе высокочистого глинозема и глиноземистой шпинели. Пробки имеют варьируемое количество щелей, а геометрия позволяет потребителю достичь желаемого расхода газа в зависимости от производственного процесса. Специальная технология изготовления гарантирует прохождение газа только через щели.

Вся продукция компании постоянно совершенствуется в соответствии с запросами потребителей. Продувочные системы включают в себя продувочные пробки и гнездовые блоки как в сборке, так и по отдельности.

Пропускная способность продувочных пробок



Тип пробки	D ₁ , мм	D ₂ , мм	H, мм	Объем, дм³
PP 480-59/224	59	224	480	9,30
PP 380-129/224	129	224	380	9,40
PP 320-144/224	144	224	320	8,64
PP 325-131/189	131	189	325	6,50
PP 278-154/224	154	224	278	7,89
PP 278-59/179	59	179	278	3,29
PP 278-100/178	100	178	278	4,21
PP 450-110/189	110	189	450	8,00
PP 352-126/189	126	213	352	6,85
PP 380-119/213	119	213	380	8,33
PP 480-106/224	106	224	480	10,59
PP 165-59/128	59	128	165	1,15

рундовых покрытий нецелесообразно из-за нарушения сплошности покрытия и уменьшения адгезии его к графитовой подложке в результате объемных изменений при полиморфных превращениях ZrO_2 . Введение небольших количеств SiC в матрицу корундовых покрытий и равномерное распределение добавки в ней затруднительны. Поэтому возникла идея самоармирования корундовой матрицы наночастицами карбида кремния, образующегося в результате механохимического синтеза при модифицировании корундового порошка тетраэтоксисиланом (ТЭОС) при измельчении и в процессе термообработки гелей, образующихся в процессе поликонденсации золь-гель связующих композиций образцов.

Использование золь-гель процесса и механохимического синтеза позволяет синтезировать при более низких температурах тугоплавкие соединения, в том числе бескислородные, и создавать из них нанокпозиционные материалы, регулируя процессы наноструктурирования на молекулярном уровне. При модифицировании наполнителей разных тугоплавких соединений ТЭОС в процессе измельчения порошка с этой добавкой наблюдается механохимический синтез наноразмерного β -SiC. Дифракционные пики β -SiC не налагаются на дифракционные пики α - Al_2O_3 . Дифрактограмма модифицированного ТЭОС электрокорунда содержит 7 пиков механохимически синтезированного β -SiC. Использование золь-гель процесса для создания самотвердеющих связующих корундовых покрытий и механохимического синтеза наночастиц β -SiC в промежуточном (барьерном) подслое для его самоармирова-

ния дало возможность создать покрытие для защиты графита от окисления при температуре 1750 °С.

Для повышения плотности покрытий по графитовому материалу и адгезии к графитовой подложке, уменьшения усадки и окисляемости, приближения ТКЛР покрытия к ТКЛР графитового тела в качестве прекурсора компонентов для синтеза β -SiC и муллита использовали золь-гель композиции и корундовый наполнитель, модифицированный ТЭОС. При механохимических и термических превращениях ТЭОС и геля на его основе образуется органо-неорганический комплекс $(-CH_3)-(SiO_2)_n$. Именно эти комплексы являются прекурсорами атомарного углерода и паров монооксида кремния для синтеза β -SiC при низких температурах в системе Si-O-C.

Комплексное использование различных элементов золь-гель процесса позволило разработать технологию износоустойчивого покрытия на основе самотвердеющих корундовых масс на золь-гель связующих композициях, обеспечивающего работу графитовых конструкционных материалов и изделий из них при температурах не ниже 1750 °С. При обжиге у покрытия формируется плотный промежуточный подслой, который прочно и надежно удерживает слой покрытия толщиной 600–800 мкм на поверхности графита, препятствует диффузии углерода из графитовой подложки в основную слой покрытия, тем самым тормозит развитие диффузионного окисления графита и обеспечивает кратковременную стойкость к окислению даже при 1760–1790 °С. До 1750 °С покрытие не имеет разрушений и точечных прогаров.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

О ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ВЛАГОПЕРЕНОСА В САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ МАССАХ

© Д. т. н. В. Н. Соков, к. т. н. В. В. Соков

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет (НИУ)», Москва, Россия

Создание теплоизоляционных огнеупоров из минерально-полистирольных систем основано на гипотезе интенсивного удаления усадочной влаги не испарением, а принудительным отжатием, путем теплосилового воздействия на подвижные формовочные массы, заключенные в жестком перфорированном объеме. В этом случае определяющим становится не начальное, а оставшееся влагосодержание после удаления избыточной воды из масс. С выжиманием из массы влаги растет концентрация минерального компонента в мембранах теплоизоляционного материала и создается компактная пространственная упаковка всей твердой фазы, ведущая к увеличению прочности изделий.

Изучение картин распределения напряжений, их фотографирование и определение количественной величины при теплосиловом воздействии на минерально-полистирольную смесь проводили поляризационно-оптическим методом и моделированием самоуплот-

нения на специально сконструированном компрессионном приборе (одометре) путем нагружения изучаемой смеси по графику, соответствующему изменению давления от вспенивания полистирола в замкнутом объеме. Получены зависимости изменения порового давления и напряжения в скелете смеси во времени и по глубине, а также зависимость величины уплотняемости минерального компонента.

Разработана модель, выражающая в математической форме закономерности уплотнения и фильтрационного влагопереноса при теплосиловом воздействии, развиваемом в процессе прогрева самоуплотняющихся масс. Ведение диалога с разработанной математической моделью на ЭВМ дало возможность сделать заключение об общем характере влияния всех совокупных параметров на процесс фильтрации и уплотнения при теплосиловом воздействии на смесь и описать связь между всеми переменными.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИННОВАЦИОННЫЙ ШПИНЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ
И ОГНЕУПОРЫ ИЗ НЕГО**

© Д. т. н. С. А. Суворов, Н. В. Арбузова

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

Огнеупоры, содержащие магнезиальноглиноземистую шпинель, в настоящее время все более востребованы для выполнения футеровки и узлов тепловых агрегатов черной и цветной металлургии, для футеровки цементных печей и др. С расширением областей применения этих огнеупоров актуальны изыскание и производство новых составов шпинельных материалов. В составе периклазошпинелидных огнеупоров используют преимущественно периклазошпинельные или корундошпинельные порошки, полученные измельчением закристаллизованного расплава, образованного при температурах выше 2200 °С из шихт, содержащих избыток глинозема или периклазового порошка. При этом равномерного распределения фаз в материале не достигается, что нарушает стабильность свойств огнеупоров, для изготовления которых эти порошки предназначены.

Разработан принцип получения плавящего легированного Cr^{3+} и ZrO_2 шпинельного материала на основе псевдоликвационного расплава системы $\text{MgO-MgAl}_2\text{O}_4\text{-Al}_2\text{O}_3$, подтвержденный патентом РФ 243398. Новый шпинельный материал представлен твердым раствором $\text{Mg}_{1,08-0,97}(\text{Al}_{0,97-0,91}\text{Cr}_{0,03-0,061})_2\text{O}_4$ и ZrO_2 , однороден по химическому и фазовому составу (ликвация Cr_2O_3 и ZrO_2 слабо выражена), устойчив к воздействию цементного клинкера и расплава основного шлака. Доказана необходимость предварительной подготовки шихты разработанным способом. Плавка шихты идентичного состава, состоящей из смеси совместного помола, не подвергнутой грануляции,

не обеспечивает однородности слитка из-за затрудненности диффузионного распределения Cr^{3+} и Zr^{4+} в расплаве. Зональное окрашивание полученного слитка наблюдается даже визуально и объясняется неоднородностью распределения ионов хрома по всему объему слитка. Содержание хрома по сечению слитка изменяется от 6 до 12 %.

Для оценки свойств зернистых композиций изготовлены образцы с предельной крупностью зерна 2 мм и с фиксированным содержанием тонкодисперсной составляющей, равным 20 %. Легированную шпинель в количестве 5–20 мас. % и периклазовый порошок вводили в состав как зернистой, так и тонкодисперсной составляющей шихты. Образцы обжигали при 1750 °С. Шпинельнопериклазовые огнеупоры с легированным шпинельным материалом в средней фракции зернистой составляющей шихты обладают высокой прочностью — до 48 МПа, низкой склонностью к деградации предела прочности при сжатии при термических ударах. Так, после шести теплосмен по режиму 1300 °С — вода прочность огнеупоров составляет около 70 % от исходных значений.

Разработанный шпинельный материал является новым и предназначен для производства перспективных огнеупоров для условий, в которых используемая в настоящее время магнезиальноглиноземистая шпинель не удовлетворяет металлургов по ресурсным характеристикам.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОПТИМИЗАЦИЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИЙ КОРУНДА
И КАРБИДА КРЕМНИЯ**

© Д. т. н. С. А. Суворов, М. Н. Застрожнов

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

Оптимизация состава бетона симплекс-методом позволила повысить предел прочности при сжатии с 110 до 135 МПа, снизить открытую пористость до 9,7 %, улучшить растекаемость бетона при содержании воды затворителя до 3,8%. Деформации под нагрузкой в окислительной среде при 1600 °С не выявлено. Бетон обладает высокой термостойкостью — более 30 теплосмен по режиму 1000 °С — вода. Структура карбидкремнийсодержащего бетона так же, как и карбидкремниевый, устойчива к резким перепадам температур — после 30 теплосмен прочность образцов при сжатии и их открытая пористость не изменяются. Значения показателей физико-технических свойств практически совпадают с показателями до испытаний. Устойчивость к действию доменного шлака (основность 1,1) при 1500 °С у карбидкремнийсодержащего бетона практически не отличается от устойчивости карбидкремниевый.

Полная замена электроплавящего корунда на корундовый наполнитель ЗК-93 приводит к увеличению количества воды затворения до 6,0 %, повышению открытой пористости до 21 % и снижению предела прочности при сжатии до 81 МПа. Устойчивость к расплавам шлака и криолита ($\text{KO} = 2,55$) резко ухудшается: наблюдается сильная пропитка тигля, а при использовании в качестве вяжущего высокоглиноземистого цемента — разъедание тигля.

Полная замена электроплавящего корунда на шамотный наполнитель (40 % Al_2O_3) приводит к значительному увеличению количества воды затворения — до 9,2 %. Открытая пористость составляет 20 %, предел прочности при сжатии снижается до 50 МПа. Устойчивость к расплаву криолита ($\text{KO} = 2,55$) резко ухудшается: возрастает химическая коррозия тигля, однако пропитка тигля расплавом криолита минимальная.

При использовании готовой матрицы AI M93S (15–20 мас. %) фирмы «Almatis GmbH», Германия, совместно с корундовым наполнителем ЗК-93 достигается подвижность массы при количестве воды затворения 5,8 %. Открытая пористость образцов 21 %, предел прочности при сжатии 140 МПа. Устойчивость к доменному шлаку увеличивается: отсутствует разъедание тигля.

Частичная замена карбида кремния на электроплавленный корунд практически не повлияла на физико-механические свойства бетона. Для достижения высоких показателей химической устойчивости к расплавам доменного шлака и криолита необходимо снизить содержание карбида кремния и исключить содержание оксида кальция до минимума, используя гидратационное вяжущее типа Альфабонд 300.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ШЛАКОВАЯ КОРРОЗИЯ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТОГО ОГНЕУПОРА В ФУТЕРОВКЕ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

© Д. т. н. С. А. Суворов, к. т. н. В. В. Козлов

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

Во время ведения конвертерного процесса на контакте окисленного шлака и периклазоуглеродистого огнеупора происходит окислительно-восстановительное взаимодействие $C + FeO = Fe + CO$, которое приводит к формированию на поверхности огнеупора пористого обезуглероженного слоя, подверженного растворению в шлаковом расплаве. Шлаковую коррозию периклазоуглеродистого огнеупора можно разделить на два процесса: образование обезуглероженного слоя и его растворение. Скорость шлаковой коррозии лимитируется наиболее медленным из них.

Химическое взаимодействие оксидов железа с углеродом характеризуется высокой кинетикой, но по мере роста толщины обезуглероженного слоя затрудняются доставка окислителя к фронту реакции и отвод ее продуктов. Взаимодействие переходит из кинетиче-

ской области в диффузионную, и его скорость существенно снижается. Процесс растворения обезуглероженного слоя огнеупора практически не зависит от его толщины, так как переход MgO в шлак идет по диффузионному механизму. Диффузионный массоперенос определяется температурой, удельной поверхностью контакта, интенсивностью движения шлакометаллической смеси и степенью насыщенности шлака по MgO .

На основе изложенных физико-химических представлений и производственно-статистических данных (лазерного сканирования футеровки конвертера в период эксплуатации) предложено математическое описание и разработано программное обеспечение для оценки шлаковой коррозии и изменения остаточной толщины периклазоуглеродистого огнеупора рабочего слоя футеровки конвертера.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

УСТОЙЧИВОСТЬ ОКСИДНЫХ И КАРБОНИРОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ РАСПЛАВОВ ШОС

© Д. т. н. С. А. Суворов, к. т. н. В. В. Козлов, Е. А. Вихров

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

Корунд, диоксид циркония, их сочетания с графитом в составе материала огнеупорных изделий используют в ответственных элементах системы непрерывной разливки стали. Длительность их эксплуатации ограничивается коррозией в шлаковом поясе, например, погружаемых стаканов. Увеличение стойкости огнеупоров в конкретных условиях применения является результатом многих усовершенствований, наиболее значительное из которых — повышение коррозионной устойчивости материала изделия в шлаковом поясе.

В контрасте разрушения оксидных и углеродсодержащих огнеупоров решающее значение имеет окисление углеродистой составляющей в процессе шлако-разъедания. Предложенные к настоящему времени обоснования разрушения огнеупоров под воздействием шлака и расплава строятся на схеме последовательности циклов, согласно которой оксидная фаза огнеупора подвергается химическому перерождению и растворению в расплаве шлака, а графит подвержен окислению оксидами железа шлака, газификации в атмосфере окислительной среды, в том числе кислородом, растворенным в расплаве стали.

Исследовано коррозионное воздействие расплавов шлакообразующих смесей (ШОС) на корундовые,

циркониевые, в том числе углеродсодержащие материалы. Экспериментально установлены предельная растворимость (C_x) корунда и диоксида циркония, смачивание расплавом ШОС оксидов и их композиций с графитом, изменение фазового состава на контакте огнеупора с расплавом ШОС. При увеличении основности в интервале 0,70–1,15 предельная растворимость ZrO_2 в ШОС в диапазоне 1450–1550 °C увеличивается от 5,6 до 14,4 мас. %, а предельная растворимость Al_2O_3 , например, в расплаве ШОС основностью 1,2 в интервале 1450–1550 °C составляет 14,5–24,0 мас. %.

Независимо от состава ШОС выше 1300 °C шлаковый расплав полностью смачивает циркониевый материал. Значения краевых углов смачивания шлаковыми расплавами ШОС при 1550 °C цирконийграфитового огнеупора составляют от 4,0 до 34,0 град в зависимости от состава ШОС. Увеличению краевого угла смачивания цирконийграфитового огнеупора при высокой температуре способствуют повышение основности ШОС, снижение в составе ШОС количества щелочных металлов. Краевые углы смачивания расплавами ШОС корундового материала при 1550 °C составили 5–11 град, корундографитового огнеупора составили 80–130 град.

После обжига в инертной атмосфере при 1550 °С шлакоразъедание цирконийграфитового и корундографитового огнеупоров отсутствует. После окислительного обжига стенки образцов-тиглей имеют воронкообразный вид шлакоразъедания, диаметр воронки увеличивается по мере перемещения из зоны восстановительной среды в окислительную, причем значительно большему разъеданию подвергается корундографитовый огнеупор. Процесс взаимодействия расплава ШОС с исследованными огнеупорами: углеродистая связующая огнеупора подвергается окислению, происходит разрыхление структуры; расплав шлака проникает в глубь материала через разуплотненный

слой огнеупора; в результате взаимодействия оксидного заполнителя с расплавом шлака происходит коррозия материала, сопровождающаяся вымыванием нерастворившихся зерен огнеупорного заполнителя в объем шлакового расплава. В качестве продуктов реакции шлакового расплава и ZrO_2 (стабилизированного CaO) образуются бадделит и циркон. При увеличении основности ШОС происходит уменьшение количества образующегося бадделита. В продуктах взаимодействия шлакового расплава и корунда наблюдается преимущественное образование тугоплавкого гексаалюмината кальция и куспидина.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

УСТОЙЧИВАЯ К ТЕРМОНАГРУЖЕНИЯМ СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Д. Т. Н. С. А. Суворов, к. т. н. В. Н. Фищев, А. Н. Игнатьева
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

Проблема создания термостойких материалов для решения задач высокотемпературной техники является востребованной и актуальной. Повышение термостойкости высокоглиноземистых огнеупоров можно осуществить разработкой композиционного фазового состава материалов с лабильной структурой, способной при эксплуатации длительно сохранять высокие показатели свойств.

Разработаны огнеупорные материалы на основе стабилизированного титаната алюминия и высокоглиноземистого компонента, устойчивые к воздействию термических и механических нагрузок. Для составления композиций использовали корунд, диоксид титана, титанат алюминия, андалузит и муллит. Фазовый состав и микроструктуру материалов формировали в процессе обжига образцов огнеупоров при 1640 °С в атмосфере воздуха. Значения показателей прочности, пористости, модуля упругости даже при практически одинаковом химическом составе исходных композиций зависят в большей степени от синтезируемых в обжиге микроструктур и фазового состава образцов. Исследовано поведение высокоглиноземистых композиционных материалов на основе титаната алюминия и муллита при действии циклических термических нагрузок.

Эволюцию структуры материалов наблюдали по изменению ТКЛР образцов в циклах при режиме нагрев-охлаждение 20÷800 °С со скоростью 5 °С/мин; после термоударов при режимах 800 °С – воздух и 1300 °С – вода. Кроме того, изменение структуры материала оценивали по измерению ширины и протяженности трещин, по изменению модуля упругости после каждого цикла термонагружения.

Анализ результатов экспериментов показал, что минимальное значение ТКЛР ($-3,3 \cdot 10^{-7}$ 1/К) характерно для материалов с фрагментарной структурой, формирующейся в процессе обжига материала. Модуль уп-

ругости таких материалов меньше, чем у других материалов. Термоударные воздействия в меньшей степени сказываются на таких структурах. Минимальными водопоглощением и пористостью и более высоким модулем упругости обладают составы с предварительно синтезированным муллитом, а также титанатом алюминия, имеющие мелкокристаллическую (<10 мкм) плотную структуру с трещинами, размерами, не превышающими 300 нм, и ТКЛР $20 \cdot 10^{-7}$ 1/К.

Многочисленные циклы нагрев-охлаждение в режиме 20÷800 °С не вызывают изменений в структуре композиционных материалов, способных повлиять на показатели свойств, что свидетельствует о стабильности структуры материалов. Изменение модуля упругости как после циклов нагрев-охлаждение, так и после термоударов в режиме 800 °С – воздух составляет не более 3 %. Термоудары в режиме 1300 °С – вода приводят к снижению модуля упругости до 40 % от исходных значений в образцах с плотной структурой и с крупным размером кристаллов фаз. В образцах с фрагментарной структурой после термоудара изменения упругих характеристик структуры незначительны, однако отмечено рассеяние спектра частот звуковых колебаний в мелкокристаллической плотной структуре.

Разработанные огнеупорные материалы на основе титаната алюминия и муллита содержат от 55 до 60 мас. % Al_2O_3 , имеют открытую пористость 5,5–13,5 %, предел прочности при сжатии 170–390 МПа, выдерживают не менее 5 теплосмен по режиму 1300 °С – вода, обладают стабильным, близким к нулю ТКЛР при 800 °С – от $-2 \cdot 10^{-7}$ до $20 \cdot 10^{-7}$ 1/К. Структура материалов обладает функциональной подвижностью самоорганизованного перехода к стабильному состоянию при воздействии внешних термических нагружений и термоударах с ΔT до 1300 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ПЛЕНОЧНОГО ЛИТЬЯ

© О. В. Тиунова, О. Ю. Задорожная, д. т. н. Т. А. Хабас
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
г. Томск, Россия

Высокая прочность при высоких температурах, шлако- и металлоустойчивость, стабильность в вакууме, в

окислительной и восстановительной атмосфере керамики из ZrO_2 позволяют использовать ее в черной ме-

таллургии для улучшения качества выплавляемого металла и увеличения длительности эксплуатации оборудования. Обсуждению вопросов о взаимосвязи особенностей технологии получения с составом, структурой и механическими свойствами керамики посвящено множество работ, однако научные и технологические аспекты получения отдельных видов изделий, в том числе и тонких пластин, освещены недостаточно.

Цель данной работы — разработка составов и изготовление высокоплотной керамики из полностью стабилизированного диоксида циркония методом литья на движущуюся ленту. Для получения плотной керамики использовали порошки полностью стабилизированного диоксида циркония производства ОАО «Чепецкий механический завод» (8YSZ) и компании «Qingdao Terio Corporation», Китай (10Sc1CeSZ). Поскольку средний размер частиц керамического порошка 8YSZ составлял около 90 мкм, он подвергался помолу в шаровой мельнице до среднего размера частиц 0,8–1,0 мкм.

Для получения тонких керамических пластин был приготовлен шликер на органическом растворителе с

содержанием твердой фазы более 60 мас. %. Использование органических растворителей для приготовления шликера позволяет получить более устойчивую суспензию и делает керамическую ленту более пластичной. Керамическую ленту отливали на линии КЕКО, Словения, удаление связки и спекание проводили в печах фирмы «Nabertherm», Германия, при 1450–1500 °С. Образцы из порошка 8YSZ имели кажущуюся плотность 5,55 г/см³ и высокую открытую пористость, а керамика на основе диоксида циркония 10Sc1CeSZ кажущейся плотностью 5,75 г/см³ была практически бездефектной. Таким образом, использование порошка 10Sc1CeSZ перспективно для получения тонких плотных керамических пластин с заданными свойствами, а использование порошка 8YSZ для получения плотной керамики вызывает трудности, что связано с его формой частиц и гранулометрическим составом.

* * *

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГЗ 3.3055.2011).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧЕСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ НА РАЗРУШЕНИЕ ФУТЕРОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

© Д. т. н. Д. Н. Тогобицкая, к. т. н. А. Ф. Хамхотко, Н. А. Циватая, к. т. н. Д. А. Степаненко
Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова, г. Днепропетровск, Украина

Срок службы доменных печей зависит в основном от срока службы огнеупорной кладки, которая подвергается в печи воздействию ряда физических и химических факторов (давление столба шихтовых материалов, химическое воздействие чугуна, шлака, газовой фазы и др.), в том числе соединений щелочных металлов. Износ огнеупорного материала в нижней части доменной печи происходит вследствие химического взаимодействия его со шлаком из-за образования при этом легкоплавких соединений. Коррозионная активность шлаков по отношению к огнеупорам обусловлена их свойствами, которые, в свою очередь, зависят от химического состава шлаков. При этом немаловажное значение имеют также состав огнеупоров и их свойства (пористость, плотность, газопроницаемость, огнеупорность, смачиваемость шлаками и др.). Влияние содержания в шлаке Na₂O и K₂O на активность взаимодействия с шамотными огнеупорами значительно зависит от степени связанности их в силикаты.

Точность прогнозирования физико-химических свойств шлаковых расплавов в значительной степени определяется соответствием модельного представления их структуры. Подход к описанию структуры оксидных систем с позиций теории направленной химической связи Э. В. Приходько позволяет оценить взаимодействие шлаков с огнеупорами на качественно новой основе. Структура шлака рассматривается как химически единая система. Основными интегральными параметрами, характеризующими межатомное взаимодействие в оксидном расплаве, являются: ρ — показатель стехиометрии расплава; d — среднестатистическое междоузельное расстояние; Δe — количество электронов, локализуемых в направлении связи катион-анион; $\text{tg}\alpha$ — катионная характеристика; ΔZm — пара-

метр, учитывающий неравновесность катионной подсетки; Z^Y — химический эквивалент оксидной системы разупорядоченной структуры. Для оценки агрессивности доменных шлаков по отношению к различным огнеупорам с учетом их химического состава, пористости и температуры эксплуатации, а также состава шлака предложено уравнение $\lg K = f(\Delta d, \Delta Z^Y, \Delta \text{tg}\alpha, P, T)$, где K — коррозионная активность доменных шлаков; ΔZ^Y , Δd и $\Delta \text{tg}\alpha$ — разностные параметры огнеупора и шлака; P — пористость огнеупора; T — температура.

С точки зрения увеличения длительности кампании и безопасности эксплуатации доменных печей актуальной является проблема оценки коррозионной активности щелочесодержащих доменных шлаков. Коррозионная активность шлаков по отношению к огнеупорам определяется их свойствами, прежде всего вязкостью η и поверхностным натяжением σ . Исследованиями разных авторов показано существенное разжижающее действие щелочных оксидов на конечные и особенно первичные железосодержащие доменные шлаки. Это свидетельствует о важности прогноза свойств щелочесодержащих доменных шлаков не только для повышения стойкости футеровки, но и для оптимизации качества чугуна.

С использованием для описания структуры шлаков параметров межатомного взаимодействия и исходных данных о вязкости щелочесодержащих синтетических и натуральных доменных шлаков заводов Украины авторами предложены модели для прогнозирования вязкости и поверхностного натяжения конечных доменных шлаков, включающие физико-химические критерии, учитывающие влияние щелочей: $\log \eta = f(\rho, \%R_2O, d, \Delta Zm)$; $\sigma = f(\Delta e, \%R_2O)$, где $\%R_2O$ — суммарное содержание K₂O и Na₂O в шлаке.

ТЕКСТУРА И СВОЙСТВА АНИЗОТРОПНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ,
СИНТЕЗИРОВАННЫХ В СОЛНЕЧНОЙ ПЕЧИ© Д. Ш. Турдиев¹, Д. Д. Гуламова¹, В. П. Шевченко²¹ Институт материаловедения НПО «Физика-Солнце» АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан² СП ООО «Электроизолит», г. Ташкент, Республика Узбекистан

На свойства материалов, особенно характеризующихся анизотропией свойств, значительно влияют условия синтеза. Это воздействие может быть значительным в случае применения расплавных технологий, которые в большинстве случаев реализуются в градиентных условиях, что влияет на анизотропию кристаллической структуры и, соответственно, на изменение структурно-зависимых свойств. В качестве источников нагрева в расплавных технологиях используют индукционные токи и токи высокой частоты, лазерное излучение, электрическую дугу и др. Солнечное излучение привлекает внимание как экологически чистый возобновляемый источник энергии, и это определяет перспективу развития технологий, основанных на использовании солнечной энергии. Разработка таких технологий основана на выявлении особенностей изменения свойств материалов, обусловленных условиями синтеза с использованием солнечной энергии. Расплавный метод синтеза в солнечной печи характеризуется значительным градиентом температуры в ванне расплава, создаваемым при одностороннем нагреве от источника энергии — Солнца. Этот градиент усиливается при закалке расплава и зависит от скорости отвода тепла. Температура расплава и способ отвода тепла, т. е. скорость охлаждения, влияют на состав, формирование фазового состава, морфологию и, как следствие, на свойства целевого материала. Наиболее чувствительными к градиентным условиям синтеза могут быть материалы с сильно анизотропными свойствами. Поэтому в качестве объектов исследования были выбраны титанаты алюминия, магния, железа с анизотропной кристаллической структурой типа псевдобрукита.

Синтез титанатов алюминия, магния осуществляли расплавным методом в солнечной печи под воздействием лучистого потока плотностью 780–820 Вт/см². Расплав закачивали со скоростями отвода тепла 10³–10⁵ град/с.

Значения параметров элементарной ячейки соединений определяли анизотропию вдоль оси *c*. Увеличение скорости охлаждения расплава от 10² до 10⁵ град/с привело к усилению анизотропии расширения кристаллической решетки вдоль осей *c* и *b* при уменьшении вдоль оси *a*. Температурные коэффициен-

ты линейного расширения (ТКЛР) в интервале 20–1000 °С вдоль кристаллографических осей для полиморфных модификаций со структурой типа псевдобрукита приведены в таблице.

Соединение	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	ТКЛР, 10 ⁻⁶ град ⁻¹			
		α_a	α_b	α_c	α_v
Fe ₂ TiO ₅	20–580	0,65	10,30	15,41	24,35
MgTi ₂ O ₅	20–1000	6,50	12,32	15,81	26,18
Al ₂ TiO ₅	20–1000	-2,26	10,30	19,50	27,54

Титанат железа имел наименьшую деформацию кристаллической решетки, что могло быть обусловлено не только близостью размеров ионов Fe³⁺ (0,0645 нм) и Ti⁴⁺ (0,067 нм), но и электронным строением Fe³⁺, у которого наличие *d*-электронов определяет предпочтительное положение в «неправильном» кислородном окружении. Напротив, у титанатов магния и алюминия отсутствие *d*-электронов и, соответственно, трудность сохранения связей Me–O при их значительной деформации с повышением температуры приводили к дестабилизации орторомбической структуры.

Влияние на свойства керамики технологии получения анизотропных материалов в градиентных условиях было определено на примере титаната алюминия как с сильно текстурированной микроструктурой, так и с разупорядоченной. Керамика из ориентированного материала претерпевала распад после 10-мин выдержки при 1150 °С, а у керамики с хаотичным расположением зерен следы свободных оксидов алюминия и титана появились после 8-ч выдержки. Использование для синтеза технологии сверхбыстрой закалки расплава обеспечивало ультрадисперсный зерновой состав и разупорядоченное строение микроструктуры. Керамика на основе такого материала сочетала высокую термостойкость с повышенной механической прочностью. Возможно, симбатная зависимость термостойкости и механической прочности обеспечивалась не только макропараметрами целевого материала, но и особенностями изменения свойств из-за влияния солнечного излучения на кристаллическую структуру.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА И СПОСОБА ПОДГОТОВКИ
ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА МУЛЛИТОКОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

© Д. Т. Н. Т. А. Хабас, Е. В. Гайдайчук, М. В. Рубцова, Т. В. Колесова

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

Определенные сферы производства требуют использования механически прочной, устойчивой к истиранию керамики с заданной плотностью. Преимуществами керамики с использованием в ее составе оксида алюминия являются возможность изготовления изделий практически любого размера, в том числе очень малой толщины, с гладкой и рельефной поверхностью, высо-

кими прочностью и устойчивостью к повышенным температурам и к коррозии. Введение в состав композиции муллитовой составляющей позволяет регулировать плотность и прочность керамики.

Цель проводимых исследований — изучение зависимости плотности получаемого керамического материала на основе оксида алюминия и муллита от компо-

нентного состава с сохранением высоких эксплуатационных свойств. Для получения керамики с заданной плотностью ($3100\text{--}3500\text{ кг/м}^3$) готовили смеси на основе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с использованием различных добавок. Изучалось три варианта составления шихт: *а* — в состав наряду с корундом вводили диоксид кремния; *б* — смесь корунда с электроплавленным муллитом; *в* — смесь корунда с муллитом твердофазного синтеза. Образцы формовали методом полусухого прессования с добавлением временной связки и пластификатора и обжигали до $1580\text{--}1620\text{ }^\circ\text{C}$ в воздушной среде. Определение физико-механических характеристик показало, что совмещение процесса синтеза муллита и спекания муллитокорундовой керамики (вариант *а*) позволило получить достаточно прочный пористый материал с кажущейся плотностью в интервале $2410\text{--}1960\text{ кг/м}^3$; при этом наибольшую прочность имел состав, содержащий в исходной шихте 70 мас. % Al_2O_3 . В качестве модифицирующих добавок применя-

ли порошки нанодисперсного Al_2O_3 и субмикронного диоксида циркония. Данные рентгенофазового анализа подтвердили присутствие в обожженных образцах новой фазы.

Проведение эксперимента с применением электроплавленного муллита и муллита твердофазного синтеза проводили при соблюдении одинакового гранулометрического состава основных компонентов (Al_2O_3 и $3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$). При этом расчетных значений плотности удалось достичь при применении муллита твердофазного синтеза, в то время как для достижения той же плотности при спекании смеси с электроплавленным компонентом необходимо было его активирование в планетарной мельнице. Для снижения температуры спекания были приготовлены и исследованы составы с добавлением стеклообразующей композиции. Микротвердость образцов после обжига при $1580\text{ }^\circ\text{C}$ с использованием электроплавленного муллита составила $15,8\text{ ГПа}$ при кажущейся плотности 3500 кг/м^3 .

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КЕРАМИЧЕСКАЯ ВОРОНКА ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ В КРИСТАЛЛИЗАТОР

© В. Т. Шмурадко, д. т. н. О. В. Роман, д. т. н. Л. В. Судник, Н. В. Киршина

Обособленное хозяйственное структурное подразделение

«Научно-исследовательский институт импульсных процессов с опытным производством»,
г. Минск, Республика Беларусь

Проблемы получения качественных легированных алюминиевых расплавов на стадиях плавления, дозирования и кристаллизации тесно связаны с металлургическими процессами получаемых сплавов, качеством огнеупорных масс и технологиями их получения. Если рецептура лигатуры и процессы получения сплава установлены и достигают при этом требуемого комплекса свойств в материале по эксплуатационным параметрам (прочности, коррозионной стойкости, пластичности, деформируемости при прокатке и др.), тогда на первый план выдвигается проблема сохранения качественных показателей алюминиевых сплавов на стадиях их технологического получения. Определяющим показателем становится применение качественных компонентов огнеупорных материалов, используемых в технологии получения футеровочных изделий с высокими значениями коррозионно-эрозионной устойчивости, термостойкости и физико-механических свойств.

Учитывая химическую активность алюминиевых расплавов, высокие требования, предъявляемые к свойствам алюмомагниевого сплава, и в первую очередь к их химической чистоте, наиболее эффективными композиционными компонентами при изготовлении футеровки для плавления-дозировочно-кристаллизационных узлов приняты порошки корундовые ($98\text{ \% Al}_2\text{O}_3$), корундошпинелевые ($>97\text{ \% Al}_2\text{O}_3$, $3\text{ \% MgAl}_2\text{O}_4$) и алюмомагнезиальной шпинели ($98\text{ \% MgAl}_2\text{O}_4$) с размерами зерен менее $5,0\text{ мм}$. Применение этих материалов в формировании керамоогнеупорных масс и изготовление по разработанной технологии фасонных футеровочных изделий позволили достичь стабильного структурного строения и фазового состояния в футеровке при эксплуатации, а также получить необходимые диапазоны теплофизических, структурно-химических, физико-механических и других свойств. В частности, использование корундовых и корундошпинелевых порошков с добавками MgAl_2O_4 позволило снизить

(при необходимости) в материале изделий теплопроводность и ТКЛР, повысить термостойкость и температуру начала деформации под нагрузкой. К тому же характерной особенностью шпинели является ее высокая устойчивость к воздействию растворов и расплавов кислотно-щелочных сред, углерода и оксидов щелочно-земельных металлов.

В материале футеровки (в качестве источника наночастиц) использовали коллоидные растворы глинозема и кремнезема, представляющие собой не что иное, как источник наноразмерных суперактивных $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и SiO_2 . Такой подход позволяет получать бесцементные бетоны, исключаящие из своего состава оксид кальция. Последний в системе с оксидом алюминия отвечает за ухудшения деформационных свойств огнеупоров при высоких температурах. В шпинелеобразующих и шпинелесодержащих системах использовали наноразмерный MgO , а также были предприняты подходы активизации процесса шпинелеобразования в бетонах при размещении активного магнийсодержащего компонента по границам зерен. Эту роль выполняли ВКВС, обеспечивая наноразмерным компонентом тиксотропную систему в технологии виброформования фасонных заготовок из керамобетонов. Именно коллоидный компонент отвечает за свойства как ВКВС, так и материалов с их применением. В нашем случае источником коллоидного компонента были корундовые и корундошпинельные порошки, а также шпинели, обработанные в жидкой среде механическим методом в керамическом атриторе с керамическими (корундовыми) мелющими шарами. При этом были получены высокие реотехнологические показатели шликерных суспензий на базе разработанных огнеупорных смесей.

Технология получения штучных фасонных изделий (полых колец и конусных воронок) включает формирование гранулометрического состава порошковой шихты в диапазоне $0\text{--}5\text{ мм}$ для достижения максимально

плотной упаковки в заготовках; введение в состав гранулометрической композиции (при необходимости) узких размерных фракций корунда и алюмомагнезической шпинели в диапазоне 1–300 мкм; применение реотехнологических систем ВКВС, содержащих добавки наноразмерного суперактивного кремнезема, $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, получаемые из коллоидных систем, а также добавки, улучшающие термостойкость и коррозионно-эрозионную устойчивость к расплавам алюминия и его сплавов; получение бесцементных бетонов, где важнейшей задачей является обеспечение требуемых реотехнологических свойств при минимальном содержании воды; использование разжижающих (дефлюлирующих, пластифицирующих или стабилизирующих) добавок на основе сульфонафталинформальдегида (смеси натриевых солей полиметиленафталинсульфонокислот различной молекулярной массы, например дефомикс, которые позволяют достичь не только необходимой текучести бетонных смесей при минимуме со-

держания дисперсионной среды (воды), но и регулировать срок их схватывания, твердения и упрочнения; проведение строгой регламентации зернового и фазового составов шихты; качественное приготовление (гомогенизацию) огнеупорной гетеросистемы при получении масс заданной консистенции (наливные, виброналивные, полусухие, сухие); изготовление штучных заготовок виброформованием по режиму частота 30–240 с⁻¹ и амплитуда 0,5–1,7 мм; твердение и самоупрочнение штучных изделий, в частности самой сложной по геометрии дозирующей корундовой воронки, выполняли в течение 3–12 ч при 25–80 °С в опалубке; тепловую обработку, спекание и формирование керамической структуры выполняли при 1450 и 1600 °С. Испытания и тестирование свойств футеровки, установленной в плавильно-дозировочных устройствах и кристаллизаторе, позволили создать качественные, химически чистые алюмомагнезические сплавы.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ
ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ЛЕГКИЕ ЖАРОСТОЙКИЕ БЕТОНЫ НА ВЯЖУЩИХ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

© К. Т. н. В. А. Абызов¹, к. т. н. А. Н. Абызов², д. э. н. В. М. Рывтин³, д. г.-м. н. В. А. Перепелицын⁴, А. В. Хватов²

¹ ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

² ООО «Ключевская обогатительная фабрика», пос. Двуреченск Свердловской обл., Россия

³ ОАО «УК «РосСпецСплав», г. Екатеринбург, Россия

⁴ ОАО «ВОСТИО», г. Екатеринбург, Россия

По данным отечественных и зарубежных исследователей, применение в жаростойких бетонах на пористых заполнителях в качестве вяжущего высокоглиноземистых цементов (ВГЦ) позволяет получать бетоны с максимальной температурой применения на 100–600 °С выше, чем у бетонов на глиноземистом цементе, портландцементе и жидком стекле.

Выполнен значительный объем исследований, касающихся разработки и применения легких жаростойких бетонов на пористых заполнителях и высокоглиноземистых цементах из клинкеров алюминотермического производства Ключевского завода ферросплавов (КЗФ). На заполнителях из перлита Арагачского и Мухомор-Талинского месторождений получены бетоны средней плотностью 620–870 кг/м³ с пределом прочности при сжатии 1,3–3,1 МПа. По результатам исследования жаростойких свойств бетонов установлена возможность их применения до 1100 °С. Бетоны были применены при строительстве Оскольского электрометаллургического комбината взамен импортных огнеупоров, а также при строительстве тепловых агрегатов Воскресенского ПО «Минудобрения».

На ВГЦ алюминотермического производства и керамзите средней плотностью 350–650 кг/м³ разработаны бетоны средней плотностью 850–1300 кг/м³ с пределом прочности при сжатии 5–15 МПа и температурой службы 1000–1100 °С. На ВГЦ и заполнителях из вспученного вермикулита Ковдорского и Потанинского месторождений (<5 мм) средней плотностью 150 кг/м³ разработаны бетоны средней плотностью

500–700 кг/м³ с температурой службы 1000–1100 °С. Вермикулитобетоны имеют высокую термостойкость, но отличаются повышенной огневой усадкой. Введение в состав вермикулитобетона керамзита фракции 5–20 мм позволяет без изменения температуры службы снизить огневую усадку; средняя плотность при этом увеличивается и составляет 700–850 кг/м³, термостойкость бетона сохраняется на достаточно высоком уровне. Керамзитобетон и вермикулитокерамзитобетон широко применяют в ограждающих конструкциях печей нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, в обжиговых печах и футеровке вагонеток заводов по производству керамических изделий.

Разработана технология изготовления огнеупорного заполнителя на фосфатном связующем и дисперсных высокоглиноземистых заполнителях: корундовых отходах, отработанном алюмохромовом катализаторе, шлаке алюминотермического производства металлического хрома, высокоглиноземистом шамоте. В зависимости от вида заполнителя, его дисперсности и соотношения исходных компонентов средняя плотность заполнителя составляла: фракция 20–10 мм 280–650 кг/м³, 10–5 мм 540–815 кг/м³, мельче 5 мм 850–970 кг/м³. Огнеупорность заполнителя 1680–1770 °С. На ВГЦ и фосфатном заполнителе были получены жаростойкие бетоны средней плотностью 990–1360 кг/м³ с температурой службы 1200–1400 °С. Для снижения средней плотности бетона и повышения его термостойкости в бетоны на ВГЦ и фосфатном заполнителе вводили до-

бавку вспученного вермикулита. Это позволило понизить среднюю плотность бетона до 800–910 кг/м³ и повысить его термостойкость. По результатам стандартных испытаний установлено, что этот бетон может применяться до 1200 °С.

Бетон на ВГЦ и фосфатном и вермикулитовом заполнителях был применен при изготовлении свода экспериментальной туннельной печи Новочеркасского завода строительных материалов из панелей размерами 1680×1060×400 мм, которые изготавливали из жаростойкого бетона на ВГЦ и шамотных заполнителях. Для вкладышей применяли бетон на ВГЦ, фосфатном и керамзитовом заполнителях с добавками вермикулита. В процессе эксплуатации печи панели были обследованы и отмечено их нормальное техническое состояние.

Научно-исследовательским институтом бетона и железобетона (ГУП НИИЖБ) совместно с Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники (ФГУП НИКИЭТ) и с Дагестанским государственным техническим университетом была установлена целесообразность применения жаростойких бетонов на ВГЦ с заполнителями из керамзита и шлаковой пемзы в конструкции шахт атомных реакторов нового по-

коления с теплоносителем из жидкого свинца. Наряду с применением в бетонах ВГЦ Талюм было принято решение об использовании в жаростойком керамзитобетоне ВГЦ алюминотермического производства, так как он значительно дешевле цемента Талюм и может производиться в больших объемах.

УралНИИСтромпроектом по техническому заданию ГУП НИИЖБ и по договору с Институтом реакторных материалов (ФГУП ИРМ, г. Заречный Свердловской обл.) подобран состав жаростойкого керамзитобетона и изготовлены образцы для радиационно-термических испытаний. В качестве исходных компонентов применяли цемент марки ВЦ-75 по ТУ 21-20-60-84, керамзит Богдановичского ОАО «Огнеупоры» средней плотностью 658 кг/м³. Разработан бетон средней плотностью 1450 кг/м³ с пределом прочности при сжатии 20 МПа. Опытные образцы этого бетона прошли радиационно-термические испытания в ИРМ. Полученные результаты позволили использовать бетон в рабочем проекте шахты реакторной установки «Р. У. БРЕСТ-ОД-300», выполненном ФГУП НИКИЭТ, и в эскизном проекте шахты разработки ГУП НИИЖБ.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ОГНЕУПОРНЫЕ ФОСФАТНЫЕ КЛЕИ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНЫХ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

© К. т. н. В. А. Абызов¹, Е. Н. Ряховский²

¹ ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

² ООО «Уралбоксит», г. Челябинск, Россия

Огнеупорные клеи, растворы и обмазки на основе фосфатных связующих отличаются от традиционных мертелей низкой температурой отверждения, более высокими адгезией, огнеупорными и прочностными характеристиками, а также термостойкостью. ООО «Уралбоксит» совместно с Южно-Уральским государственным университетом разработаны огнеупорные клеи на основе фосфатных связующих, дисперсных высокоглиноземистых огнеупорных наполнителей и легирующих добавок. В качестве наполнителей были применены дисперсные высокоглиноземистые отходы нефтехимической промышленности — отработанные катализаторы и отходы их производства с удельной поверхностью 3400–6500 см²/г, содержанием Al₂O₃ 70–95 %, что позволило снизить себестоимость материала и расширить сырьевую базу производства.

Клей представляет собой суспензию дисперсного огнеупорного порошка в жидкой фосфатной связке сложного состава с преобладанием кислых фосфатов алюминия и хрома; растекаемость по вискозиметру Суттарда не менее 250 мм. Материал сохраняет текучесть в течение 6–8 недель без заметной седиментации, что позволяет поставлять его потребителю в жидком виде, в пластиковой кислотоупорной таре. Установлено, что предел прочности клея при сдвиге после сушки составляет 1–2 МПа, после нагрева до температуры применения 4–6 МПа. Состав продуктов твердения после обжига представлен корундом и фосфатами алюминия в кристобалитовой и тридимитовой формах. Изучение огнеупорных свойств показало, что фосфат-

ный огнеупорный клей может использоваться в футеровке из различных штучных огнеупоров, эксплуатируемых до 1700 °С, а также в качестве обмазки с наполнителями из шамота и корунда. На фосфатный клей ОК-175 разработаны технические условия ТУ 1526-002-53829862-2001 «Клей огнеупорный», налажено промышленное производство.

Накоплен многолетний опыт использования фосфатного огнеупорного клея в арматурном слое футеровки промежуточных ковшей в ЭСПЦ-6 ОАО «Мечел» (г. Челябинск). После первого нагрева футеровка приобретает монолитность, повышается стойкость арматурного ряда; получен значительный экономический эффект. Применение клея ОК-175 для кладки вертикальных каналов, сводов и торцевых стен мартеновских печей ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» позволило исключить промежуточный локальный ремонт торцевых стен. Огнеупорный клей используется также при ремонте наиболее ответственных элементов нагревательных и термических печей (арок, сводов, заслонок) ОАО «Уралмашзавод». В ЗАО «Металлургический завод «Камасталь» замена шамотного мертеля на клей ОК-175 при ремонте нагревательных печей продлила межремонтные сроки более чем в 2 раза. Улучшаются теплотехнические показатели работы печей за счет повышения плотности швов. Проводятся испытания разработанных клеев в желобных массах; ведутся работы по совершенствованию состава клея и расширению областей его применения.

**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ УГОЛЬНОЙ ПОДИНЫ
ВЫСОКОАМПЕРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА**

© Д. т. н. В. Ю. Бажин, Р. К. Патрин, Р. Ю. Фещенко

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

После запуска Богучанской ГЭС в Красноярском крае перед российским производителем алюминия (ОК РУСАЛ) стоит задача ввода первой очереди Богучанского алюминиевого завода с современными высокоамперными алюминиевыми электролизерами на 300 кА, который входит в состав энерго-металлургического объединения. Техничко-экономические показатели сверхмощного электролизера и его срок службы (1500–2000 сут) зависят от многих факторов, в том числе от качества угольных и огнеупорных материалов катода. Поэтому актуальной задачей является снижение динамики разрушения катодной футеровки при взаимодействии с электролитом и алюминием в течение всего срока эксплуатации.

Результаты анализа футеровки отключенных электролизеров большой мощности выявили, что главными причинами разрушения углеграфитовых материалов являются внедрение натрия (натриевое расширение) и неоднородная кавитационная выработка в зонах интенсивного движения расплава, что в основном обусловлено свойствами и качеством используемой угольной и огнеупорной футеровки. Одним из путей снижения кинетики интеркаляции натрия в угольной футеровке является упорядочение внутренней струк-

туры углерода, а также повышение плотности и электропроводности катодных блоков при увеличении степени их графитизации. В результате исследования подовых блоков доказано, что их износ в течение всего срока эксплуатации вызван в первую очередь электрохимическими процессами карбидообразования, кинетика которых изменяется за счет высоких скоростей расплава (механического износа подины).

Поэтому одним из факторов, определяющих повышение срока службы электролизера, является разработка технических и технологических мероприятий по снижению электрохимического воздействия на угольную подину. При разработке новой конструкции катодного устройства с эффективными защитными покрытиями необходимо решать вопросы, связанные с изменениями структуры и свойств угольных материалов (открытой пористости, кажущейся плотности, твердости, стойкости к пропитке). Кроме того, следует учитывать технологический режим электролизера (модифицирование электролита, изменение криолитового отношения, регулирование формы рабочего пространства, поддержание заданной плотности тока за счет стабилизации магнито- и газодинамических процессов).

**РАЗРУШЕНИЕ БОРТОВОЙ ФУТЕРОВКИ ВЫСОКОАМПЕРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА
В ПУСКОВОЙ ПЕРИОД**

© Д. т. н. В. Ю. Бажин, Р. Ю. Фещенко, Р. К. Патрин, А. В. Саитов

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

Задача увеличения срока службы алюминиевых электролизеров всегда важна как для производителей, так и для исследователей. Практика электролиза алюминия давно определила значения различных факторов, влияющих на срок службы катодной угольной и огнеупорной футеровки. С операциями обжига и пуска электролизера связано 25–30 % всех разрушений катода; не меньший вклад вносят конструкционные особенности и используемые материалы. По этой причине необходимо уделять большое внимание способам обжига и пуска для модернизированных подин современных электролизеров. При всем многообразии конструкций и типов электролизеров в настоящее время отсутствует единый научно обоснованный регламент обжига и пуска. Актуальным является решение этой проблемы в преддверии пуска строящихся Богучанского и Тайшетского заводов.

В течение 5–7 сут пускового периода футеровочные материалы находятся в непосредственном контакте с агрессивными компонентами расплава. На этом этапе происходит интенсивная пропитка футеровки натрием, активизируются побочные поверхностные электрохимические реакции, что приводит к деформации

и ухудшению свойств материалов футеровки. Активное использование карбидкремниевых блоков в качестве боковой футеровки частично решило вопрос поверхностного окисления для открытых участков, но вопрос химического взаимодействия блоков SiC в зоне контакта с расплавом изучен не до конца.

Исследование боковой футеровки SiC при аутопсии электролизера ОА300М1 методом электронной микроскопии поверхности показало определенный уровень пропитки по периметру катода на 55–60 %. В лабораторных условиях проведен эксперимент с вырезанными образцами карбидкремниевой футеровки, имитирующий температуру и длительность пускового периода. Картирование полученных образцов показало равномерное распространение натрия по объему пропитанной части, что подтверждает преобладание интеркаляционного воздействия над диффузионным обменом. Полученные результаты позволяют утверждать, что основная часть пропитки блоков SiC (на 70–80 %) происходит именно в пусковой период, при отсутствии защитной настыли. Это создает предпосылки для корректировки пускового режима с внесением поправок в заводские технологические инструкции.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВАКУУМАТОРОВ ОАО ММК
И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ**

© Е. В. Бурмистрова, Р. И. Абдрахманов, А. Ю. Игонин

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

Обобщен анализ результатов эксплуатации футеровки днищ циркуляционных вакууматоров кислородно-конвертерного цеха ОАО ММК. Результаты позволили выявить основные причины разрушения огнеупоров, такие как процессы пропитки изделий шлаком и металлом, химическое разъедание при взаимодействии со шлаком, термическое скалывание рабочего слоя футеровки огнеупора из-за изменения ее температуры в

процессе эксплуатации. Для улучшения эксплуатационных характеристик огнеупоров должны быть решены проблемы термической и коррозионной стойкости используемых материалов. Основные мероприятия были направлены на повышение цикличности работы вакууматоров, а также на подбор оптимального состава шлака, способствующего образованию поверхностного гарнисажа при эксплуатации футеровки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**РАЗВИТИЕ И ПРЕИМУЩЕСТВА АРГОННЫХ ПРОДУВОЧНЫХ ПРОБОК
ТИПА BlueLine ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ RA-NA-GE**

© Э. Вебстер

Компания «RA-NA-GE Feuerfeste Erzeugnisse GmbH & Co. KG», г. Фирзен, Германия

Компания RA-NA-GE является широко известным в Европе производителем высококачественных вибролитых изделий, таких как продувочные пробки, шибберные и продувочные блоки, струегасители и т. д. На российском рынке инновационные решения и продукцию фирмы RA-NA-GE представляет ее многолетний партнер — компания «Энерготехсинтез». Из-за постоянно растущего спроса на чистые, высококачественные марки стали в настоящее время исследовательские разработки в Германии направлены на использование новых огнеупорных решений, к которым относятся продувочные системы RA-NA-GE, представленные высокотехнологичными алюмошпинельными пробками и блоками. Это важный шаг вперед по сравнению с традиционно используемыми системами в сталеразливочных ковшах. Использование продувочных пробок BlueLine во

многих случаях показало улучшение параметров продувки, включая снижение удельных затрат.

В докладе подробно представлена информация о конструкции продувочных пробок (расположение щелей, размеры щелей, расположение индикаторов и т. д.). Затем представлена информация об эксплуатационных свойствах продувочной пробки BlueLine — расход газа, время открытия пробки, проникновение металла в щели, повышение стойкости по сравнению с обычными пробками. Представляя передовые технологии и материалы фирмы RA-NA-GE в России, инженеринговая компания «Энерготехсинтез» осуществляет разработку проектов, поставку и техническое сопровождение продукции на всех этапах использования, обеспечивает расширенные гарантии по эксплуатации.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ SECAR
В ПЛОТНЫХ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНАХ**

© П. Гудовских, К. Парр, К. Вохмаер

ООО «Кернеос», Москва, Россия

Плотные и теплоизоляционные огнеупорные бетоны для службы при температурах до 1500 °C часто изготавливают с применением глиноземистых цементов с содержанием Al_2O_3 около 40 %, таких как Ciment Fondu или Secar 38R, или с содержанием Al_2O_3 около 50 %, таких как Secar 51.

Ciment Fondu и Secar 38R часто используют в теплоизоляционных бетонах совместно с вермикулитом, керамзитом, перлитом или шамотным заполнителем. Предельная температура службы определяется главным образом свойствами заполнителя. Цемент Ciment Fondu или Secar 38R обладает высокой гидравлической активностью и обеспечивает быстрый набор прочности бетонного изделия или футеровки. Качество цемента играет особую роль при изготовлении именно легко-весных теплоизоляционных бетонов. Содержание цемента в таких бетонах может меняться в очень широких пределах — типичный диапазон от 40 до 70 %. Повышение количества цемента в легковесном бетоне приводит к росту его прочности и плотности. Очевидно, что качество бетона тем выше, чем он более прочен при сохранении своих теплоизоляционных свойств, т. е. при

заданной плотности. Поэтому при разработке таких бетонов стремятся получить максимальную прочность при минимальной плотности. Наиболее высокий уровень свойств бетона удается получить при применении цемента Ciment Fondu. Вместе с тем достаточно хорошие свойства достижимы и при использовании цемента Secar 38R.

Цемент Secar 38R является экономичной альтернативой цементу Ciment Fondu и успешно применяется в менее ответственных агрегатах. Следует отметить, что глиноземистые цементы с низкой гидравлической активностью ни при каких условиях не могут обеспечить хорошего сочетания плотности и пористости бетона. Низкая гидравлическая активность таких цементов не позволяет достигнуть приемлемого уровня механических свойств. Как следствие, потребитель вынужден увеличивать содержание цемента в бетоне. Но при этом обязательно возрастает плотность бетона и его теплоизоляционные свойства могут оказаться ниже приемлемого уровня. Именно поэтому компания «Кернеос» уделяет особое внимание контролю фазового со-

SECAR®

ПОЛНЫЙ СПЕКТР ГЛИНОЗЕМИСТЫХ И ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ЦЕМЕНТОВ

РЕКЛАМА



Высокотехнологичные связующие на основе алюминатов кальция, специально разработанные для огнеупорных бетонов, позволяют использовать различные методы укладки и достигать высокого уровня качества во всех разработанных системах

Посетите наш сайт: www.secar.net

Свяжитесь с нами по тел. (812) 448-94-58, факсу (812) 448-94-56,
e-mail: officekru@kerneos.com

 **kerneos™**
ALUMINATE TECHNOLOGIES

става своей продукции, что гарантирует качество цементов Secar 38R и Ciment Fondu.

Ситуация меняется кардинальным образом в тех случаях, когда легковесный бетон находится в непосредственном контакте с восстановительной газовой средой; содержание оксидов железа при этом является очень важной характеристикой бетона. Естественно, что нужно учитывать химический состав как заполнителей, так и глиноземистого цемента. Хорошим выбором оказывается цемент Secar 51 с содержанием Al_2O_3 около 50 % и оксидов железа около 2 %. При этом температура применения бетонов на основе Secar 51 может достигать 1500 °C и лимитируется, как правило, огнеупорностью легковесных заполнителей, а не цемента. Чрезвычайно высокая гидравлическая активность цемента Secar 51 обеспечивает быстрый набор прочности и очень высокий уровень механических свойств бетона на всех стадиях изготовления и эксплуатации. Соответственно, сочетание прочности и плотности теплоизоляционных бетонов на основе Secar 51 находится на исключительной высоте.

Кроме того, цемент Secar 51 часто выбирают для изготовления плотных огнеупорных бетонов с хорошей текучестью и высокой износоустойчивостью с температурой применения до 1500 °C или в условиях восстановительной газовой среды. Цемент Secar 51 демонстрирует отличные свойства при сухом торкретировании, обладает пониженной водопотребностью и обеспечивает высокую прочность бетонов даже без водоредуцирующих добавок. Кроме того, Secar 51 хорошо сочетается практически со всеми типами добавок, приме-

няемых для регулирования реологических свойств бетонов и срока схватывания. Это позволяет успешно применять Secar 51 в очень широком спектре плотных огнеупорных бетонов — как в самых простых, традиционных, так и в бетонах сложного состава со специальными свойствами.

Цементы Secar 38R и Ciment Fondu также широко применяют в плотных огнеупорных бетонах при 1200–1300 °C в окислительной или нейтральной газовой среде. Цемент Secar 38R хорошо зарекомендовал себя в традиционных бетонах с шамотными заполнителями. Как правило, такие бетоны не требуют введения каких-либо добавок, и их реологические свойства и характер твердения определяются качеством цемента. Важным следствием высокой гидравлической активности цемента Secar 38R является возможность проведения бетонных работ при пониженной температуре окружающей среды. Очевидно, что применение в таких условиях цементов с недостаточной активностью может привести к катастрофическим последствиям.

Как и в случае легковесных бетонов, для наиболее ответственных плотных огнеупорных бетонов с невысокой температурой применения можно рекомендовать глиноземистый цемент Ciment Fondu. Он успешно применяется как в простых традиционных бетонах без добавок, так и в более сложных системах за счет хорошего сочетания Ciment Fondu с большинством наиболее распространенных пластификаторов и регуляторов реологических характеристик и скорости твердения бетонов.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ООО «КОНСОЛИТ»

© Р. Х. Гумаров¹, к. т. н. Г. И. Астанина¹, д. т. н. Т. В. Кузнецова², д. т. н. Ю. Р. Кривобородов²

¹ ООО «Консолит», Москва, Россия

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

Компания ООО «Консолит», (в прошлом Опытный завод НИИцемента) делится опытом применения ряда сухих бетонных смесей, позволяющих покрывать температурный интервал от –30 до 2000 °C. Долговечность и качество смесей достигаются благодаря использованию собственных специальных цементов, позволяющих замещать дорогостоящие аналоги иностранных производителей без ущерба для потребительских свойств производимой компанией продукции. Приво-

дятся основные характеристики огнеупорных, ремонтно-строительных смесей, диапазон возможностей которых позволяет вести футеровочные, ремонтно-строительные, а также спасательные неотложные аварийно-восстановительные работы (СНАВР) в самых различных условиях, включая особо ответственные (объекты питьевого, промышленного водоснабжения, дороги, аэродромные покрытия дымовые трубы и т. п.).

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ПОВЫШЕНИЕ СЕРИЙНОСТИ РАЗЛИВКИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ СОРТОВОЙ МНЛЗ ККЦ ДО 100 ПЛАВОВ

© Д. В. Зотов, к. т. н. Р. Р. Гареев, А. М. Белоусов, А. Г. Зырянов, Д. В. Касьяненко

ОАО «Челябинский металлургический комбинат», г. Челябинск, Россия

В кислородно-конвертерном цехе ОАО ЧМК в эксплуатации находятся три сортовых МНЛЗ № 3, 4, 5. Разливка металла осуществляется открытой струей с применением системы SNC на МНЛЗ-3, с применением системы FNC на МНЛЗ-4 и разливка металла закрытой струей (стопорная разливка) осуществляется на МНЛЗ-5. Основные причины ограничения серийности при стопорной разливке металла — стойкость огнеупоров металлопровода и регламентированная серийность разливки

на определенные марки стали. Средняя стойкость футеровки промежуточных ковшей при этом виде разливки составляет 6,8 плавки, максимальная 14 плавов.

Стойкость промежуточных ковшей при разливке металла открытой струей ограничивается стойкостью торкрет-масс (основной износ по шлаковому поясу в зоне приема струи металла), а также стойкостью самого металлоприемника (износ его дна до арматурного слоя промежуточного ковша). Средняя стойкость футеровки

промежуточных ковшей в 2010 г. составляла 42 плавки, максимальная 62 плавки с полным износом торкрет-массы в районе шлакового пояса и 100 % -ным износом дна металлоприемника.

Для повышения стойкости промежуточных ковшей при разливке металла открытой струей в 2011–2012 гг. был внедрен ряд технологических мероприятий, направленных на увеличение ресурсной стойкости металлоприемников промежуточного ковша, снижение

агрессивного влияния шлаков промежуточных ковшей на торкрет-массу и, как следствие, на повышение стойкости торкрет-слоя. В результате этого средняя стойкость промежуточных ковшей при разливке металла открытой струей в 2012 г. составила 58 плавков, максимальная стойкость 100 плавков без критического износа арматурного слоя футеровки промежуточного ковша и с наличием ресурса футеровки металлоприемника.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМПАНИИ «PROMAT» В МЕТАЛЛУРГИИ

© К. А. Калугин, М. П. Мишутин

Представительство компании «Promat GmbH», Москва, Россия

Компания «Promat» расширяет ассортимент выпускаемых микропористых теплоизоляционных материалов нового поколения для металлургии и печестроения. При применении теплоизоляционных материалов с низкой теплопроводностью (например, 0,031 Вт/(м·К) при 600 °С) можно уменьшить толщину теплоизоляционного слоя в 2–3 раза, снизить энергозатраты и температуру на холодной стенке теплового агрегата. Применение микропористой теплоизоляции PROMALIGHT-1000 (новый бренд STEELFLEX-1000) в совокупности с керамоволокнистым картоном PROMAPACK-700 и теплоизоляционным изделием PROMATON на сталеразливочных ковшах ОАО НЛМК позволило снизить температуру обечайки сталеразливочного ковша на

80 °С, температуру поступающего расплава на 13 °С, уменьшить тепловые потери до 50 % и скорость остывания стали, повысить налив на 5 %. Теплоизоляция компании «Promat» применяется в зонах, в которых температура может достигать 1600 °С. Агрегаты, в которых применение теплоизоляции компании «Promat» особенно эффективно: сталеразливочные и промежуточные ковши, чугуновозные ковши типа «торпедо», нагревательные, кузнечные, методические/плавильные и индукционные печи, печи для термообработки. Компания «Promat» может бесплатно разработать теплотехнические проекты футеровки для различных тепловых агрегатов.

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО PROMAT GMBH
ДЕПАРТАМЕНТ «ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ»
РОССИЯ, 115477, МОСКВА, УЛ. КАНТЕМИРОВАЯ, 58
ТЕЛЕФОН: + 7 495 231 2798, ФАКС: + 7 495 231 7977
ИНТЕРНЕТ: WWW.PROMAT.RU, E-MAIL: HPI@PROMAT.RU

Promat
High Performance Insulation

PROMALIGHT® НАНОПОРИСТЫЕ ПЛИТЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ



- Снижение температуры оболочки на 45 °С
- Снижение температуры поступающего расплава на 13 °С
- Снижение скорости остывания с 0,71 до 0,63 °С/мин
- Увеличение стойкости арматурного слоя
- Уменьшение времени на ремонты
- Увеличение объема стального ковша на 5 %

РЕКЛАМА

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ФУТЕРОВКИ
СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**© А. Кондрукевич
ООО «ВПО Сталь», Москва, Россия

В настоящее время снижение удельных затрат на футеровку тепловых агрегатов при производстве стали — одна из важнейших задач металлургических предприятий, производящих сталь в странах СНГ. С другой стороны, металлургические предприятия осваивают производство новых марок сталей и, соответственно, огнеупоры должны быть адаптированы к новым условиям производства. Одним из важнейших агрегатов, влияющих на качество получаемой стали, является агрегат печь-ковш.

Современная разработка дизайна футеровки сталеразливочного ковша агрегата печь-ковш требует не только глубоких знаний технологии металлургических процессов, протекающих в сталеразливочном ковше, но и умения комплексно оценивать всю совокупность факторов, влияющих на систему разливки и обработки стали. Это под силу квалифицированным специалистам с богатым производственным опытом, каковыми являются сотрудники компаний «Corwintec Europe», Ltd и «ВПО Сталь».

Важнейшим показателем правильно разработанной футеровки является ее стойкость, которая в данном случае характеризует число смен агрессивных сред за кампанию сталеразливочного ковша. При эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей наиболее заметно выделяется ее неравномерный износ в различных зонах; наибольшему износу подвержены шлаковая зона и «бойная» зона дна. Следует отметить, что скорость износа футеровки в шлаковой зоне в 1,3–2,5 раза выше, чем футеровки в зоне стали, в зависимости от марки выплавляемой стали и технологии

внепечной обработки стали. Поэтому используются, как правило, два основных типа футеровок стен:

равностойкие — стойкость футеровки стен зоны стали и шлакового пояса одинаковая, характерный дизайн — ширина стен значительно меньше ширины шлакового пояса, коэффициент скорости износа (отношение скорости износа футеровки шлакового пояса к скорости износа футеровки зоны стали) менее 1,45;

с использованием ремонтных комплектов — опережающий износ футеровки шлакового пояса по отношению к футеровке зоны стали, характерный дизайн — использование ремонтного комплекта шлакового пояса (возможен также ремонт дна ковша), коэффициент скорости износа более 1,45.

Компания «ВПО «Сталь» совместно с компанией «Corwintec Europe», Ltd ведет постоянную работу по оптимизации обоих видов футеровок; достигнуты положительные результаты на сталеразливочных ковшах различной вместимости. Стойкость периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочных ковшей составила 85–90 плавов стали рядового сортамента со средним количеством присадок FeCa до 7,0 кг/т и CaC₂ до 4,3 кг/т. Проведены также работы по изменению схемы футеровки ковшей с меньшей стойкостью, но с увеличенной вместимостью и исключением промежуточных ремонтов. Это позволило значительно уменьшить удельные затраты при увеличении вместимости сталеразливочного ковша, что особенно актуально для предприятий, в которых сталь обрабатывается в камерных вакууматорах.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**ИСПЫТАНИЕ МАГНЕЗИАЛЬНОШПИНЕЛИДНЫХ ОГНЕУПОРОВ
В МЕДЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ**© Д. Г.-м. н. В. А. Перепелицын, А. М. Гороховский, П. А. Карпец, Л. В. Остряков
ОАО «Динур», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

В 2011–2012 гг. в ОАО «Святогор» проведены сравнительные промышленные испытания ряда магнезиальношпинелидных изделий в футеровке отражательной печи для плавки медных концентратов на штейн. Испытуемые огнеупоры были следующие: ПШПЦ-80 производства ОАО «Динур», плавлено-литые С-104 производства фирмы RHI, спеченные периклазохромитовые ПХСУ производства ОАО «Комбинат «Магnezит». Изделия эксплуатировались в зоне загрузки печи в условиях температурных колебаний в пределах 1600–1200 °С. Оценку относительной износоустойчивости изделий осуществляли путем измерения остаточной толщины, визуального осмотра, комплексного материаловедения сформированной в процессе службы зональности и износа футеровки. Комплексное материаловедение традиционно включало проведение химического, минералого-петрографического, рентгенофазового анализов всех зон отработанных изделий.

В результате детального исследования установлено, что все разновидности испытанных огнеупоров в

целом имеют принципиально аналогичный механизм износа, включающий сочетание химической коррозии реагентами плавки и термического скалывания вследствие нестационарного теплового режима эксплуатации. Однако фактическое соотношение (доля участия) этих процессов в разрушении футеровки для каждого состава изделий неодинаково. В изделиях С-104 и ПХСУ явно преобладал износ термическим скалыванием вследствие недостаточно высокой термостойкости, а также в результате объемных изменений при поглощении оксидов железа и меди (сложное оксидное «разбухание»); последнее в наибольшей степени наблюдается в изделиях ПХСУ, содержащих до 45 мас. % хромшпинелида. Изделия ПШПЦ-80 подвергались химическому воздействию шлакового, сульфидного расплавов и циклическим термоударами, но интенсивность их перерождения и скорость износа значительно меньше, чем у изделий ПХСУ, особенно у изделий С-104.

В результате сопоставимых испытаний установлено, что относительная износоустойчивость магнезиальношпинелидных изделий в футеровке отражатель-

ной печи снижается в ряду: ПШПЦ-80 > ПХСУ > С-104. Химическая стойкость минералов этих огнеупоров уменьшается в ряду: плавная шпинель $MgAl_2O_4$ > > плавный хромшпинелид > хромшпинелид (природный) > периклаз > силикаты (форстерит). Пониженная коррозионная стойкость периклаза обусловле-

на его взаимодействием с фаялитовым шлаком и с оксидом меди (CuO) с образованием легкоплавкого соединения гюгенита $mCuO \cdot nMgO$. На основании результатов исследований сформулированы главные требования к огнеупорам повышенной стойкости для футеровки отражательных медеплавильных печей.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА НЕФОРМОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАТОДНЫХ УСТРОЙСТВАХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ КОМПАНИИ РУСАЛ

© Д. т. н. А. В. Прошкин¹, С. Я. Левенсон², В. В. Пингин¹, А. В. Морозов², И. А. Ярош¹

¹ ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, Россия

² Учреждение Российской академии наук «Институт горного дела» Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, Россия

Современный уровень технологии производства первичного алюминия обуславливает необходимость снижения издержек и повышения конкурентоспособности предприятий алюминиевой отрасли за счет обеспечения более высоких экономических и экологических показателей. Одним из перспективных направлений решения этих задач является использование неформованных материалов при монтаже катодных устройств электролизеров для производства первичного алюминия. Эта технология выгодно отличается от технологии с применением кладки из формованных изделий сокращением времени монтажа футеровочных материалов, меньшими трудозатратами и возможностью рециклинга отработанных футеровочных материалов. Однако существующие в мировой практике результаты применения неформованных материалов неоднозначны и противоречивы, что обуславливает необходимость исследований в данном направлении.

Проведена работа по созданию и экспериментальной проверке работоспособности техники и технологии применения неформованных материалов при монтаже катодных устройств электролизеров производства первичного алюминия компании РУСАЛ и исследованию закономерностей изменения показателей работы опытных электролизеров в процессе их службы. Определены величины теплопроводности неформованных материалов в исходном состоянии и после различного срока службы, а также солевых линз в рабочем диапазоне температур. Представлены результаты лабораторных исследований на криолитоустойчивость различных неформованных материалов, в том числе алюмосиликатных. Полученные данные использованы при проведении математического моделирования теплообмена в катодном устройстве электролизера.

Показано, что профиль изотермы застывания проникающих через катодной блок фторсолей является одним из основных факторов обеспечения длительного срока службы электролизера. Установлено, что на ранних стадиях службы электролизеров положение изотермы температуры ликвидус зависит от состояния поровой структуры неформованных материалов и ее пропитки компонентами электролита, а на заключительной стадии — от величины образующейся солевой линзы и деформации теплоизоляции. Чем менее плотен материал исходного барьерного слоя, тем ниже его теплопроводность и хуже его химическая стойкость, тем сильнее (по мере пропитки пор фторосолями) изотерма смещается вниз и тем большее количество барьерного и теплоизоляционного материала оказывается в зоне высоких температур. При этом увеличивается риск деформации теплоизоляционных слоев и повышения их теплопроводности, что приводит к снижению

теплового сопротивления всей футеровки и перемещение изотермы в обратном направлении. Последнее сопровождается ростом кристаллов и объемными изменениями, вызывающими повреждение подовых блоков.

Химическая стойкость в гораздо большей степени зависит от пористости и распределения пор по размерам, чем от содержания кремнезема в исследованном интервале его изменения. Показано, что для достижения максимально возможной плотности неформованного материала наряду с обеспечением оптимального гранулометрического состава необходим соответствующий метод уплотнения.

Представлены результаты промышленных сопоставительных испытаний традиционно применяемых для инсталляции неформованных материалов виброплощадок BOMAG BP 25/48 и ТСС-ВП-20-4. Выявлено, что виброплита ТСС-ВП-20-4 обеспечивала более высокое и более однородное по длине уплотнение барьерного слоя. Однако достигаемая при этом пористость была все-таки недостаточна для обеспечения высокой химической стойкости. Поэтому в компании РУСАЛ совместно с ИГД СО РАН были разработаны оригинальная техника и технология монтажа современных электролизеров с использованием неформованных материалов, обеспечивающие высокое качество бесшовных барьерных слоев, пористость которых близка к пористости качественных изделий. Новый вибрационный уплотнитель неформованных материалов сочетал статический и динамический способы уплотнения. Он состоял из уплотняющих приспособлений для статической обработки, выполненных в виде катка с приводом и подсоединенного к катку блока динамической обработки — электрического или пневматического вибратора. Приведены технические характеристики разработанной установки, а также оптимальные режимы ее работы.

В ходе последующей эксплуатации были выявлены и подтверждены основные преимущества разработанной техники и технологии получения бесшовных слоев из неформованных материалов. Общая пористость уплотненного слоя алюмосиликатного состава составляла 17–18 %, что на 5–8 % оказалась ниже, чем у слоев неформованных материалов, уплотненных традиционными устройствами. При этом достигалось более однородное, чем при применении ТСС-ВП-20-4, уплотнение по длине барьерного слоя. Выявлено, что установка в отличие от виброплит может работать в сильных электромагнитных полях практически в беспылевом режиме, а качество получаемых слоев не зависит от квалификации оператора.

Для оценки эффективности технологии виброуплотнения неформованных материалов были подобра-

ны две группы ванн электролизеров С-175, С-255 и С-190, опытные и соответствующие им свидетели, уплотненные с применением виброплит и имеющие близкие даты пуска. Периодически 1 раз в квартал измеряли температуру кожухов в 17 точках по поверхности днища кожухов опытных электролизеров и электролизеров-свидетелей. Как показали результаты исследования динамики изменения температур кожухов, значения температур у опытных ванн были в начальный период службы выше, чем у ванн-свидетелей, примерно на 18 °С за счет более высокой теплопроводности и меньшей высоты слоя (количество материала было одинаковым). Однако в течение первого года службы эта разница сократилась до 5 °С, поскольку температура кожухов-свидетелей росла со скоростью примерно

10 °С/год, а температура опытных катодных устройств оставалась стабильной и даже имела тенденцию к снижению.

Таким образом, из-за более низкой пористости уплотненного материала и сохранения футеровочными материалами своих первоначальных теплофизических свойств опытные электролизеры имели более стабильные показатели. Технология получения высокоплотных барьерных слоев в ваннах электролизеров защищена патентами РФ. К настоящему времени с использованием разработанной техники и технологии выполнена футеровка более 200 электролизеров; накоплен фактический материал, подтверждающий эффективность разработанной техники и технологии.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ОПЫТ УВЕЛИЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРОВ ККЦ-1 ОАО ЕВРАЗ ЗСМК

© К. Т. Н. В. В. Соколов¹, К. Т. Н. Л. М. Аксельрод³, Ю. Н. Сигута¹, М. С. Рогачёв², А. М. Коверзин¹, В. В. Дудин¹, С. С. Щипанов¹, А. В. Календа¹, К. Т. Н. М. Б. Оржеж⁴, В. В. Чекалов⁴, И. В. Рехтин⁴, А. В. Ильянкин⁵

¹ ОАО ЕВРАЗ ЗСМК, г. Новокузнецк, Россия

² ООО «ЕвразХолдинг», Москва, Россия

³ ООО «Группа «Мagneзит», Москва, Россия

⁴ ООО «Группа «Мagneзит», г. Новокузнецк, Россия

⁵ ООО «Мagneзит-торкрет-массы», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Рассматривается технология эксплуатации периклазоуглеродистой футеровки кислородных конвертеров ОАО ЕВРАЗ ЗСМК, позволяющая достичь стойкости футеровки более 5500 плавов. Рассмотрены методы ухода за футеровкой, технология наведения шлакового гарнисажа, технологические параметры работы конвертеров. Произведен анализ затрат на эксплуатацию

футеровки, на основании которого сделаны выводы об экономической целесообразности достижения того или иного уровня стойкости конвертерных огнеупоров.

Анализ произведен на основе последней законченной кампании конвертера № 1 ККЦ-1, который прошел реконструкцию в 2011 г.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ ЧЕРНОЙ
И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

КОНЦЕПЦИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧИСТОГО МЕТАЛЛА

© Р. Фехнер

Компания «Weerulin GmbH», г. Мюльгейм-на-Руре, Германия

Компания «Weerulin GmbH», Германия, разрабатывает и производит продукцию для футеровки металлургических агрегатов и предлагает различные неформованные и формованные огнеупоры, а также патрубки в сборе для RH-вакууматора. Техническое сопровождение проектов на территории РФ осуществляет инженеринговая компания ООО «Энерготехсинтез» — многолетний официальный представитель и партнер компании «Weerulin». Компания «Weerulin» производит различные бетоны для арматурного слоя футеровки промежуточных ковшей. Суперизолирующая торкрет-масса FOR ISO V наносится прямо на стальной ковш ковша. Для заливки арматурного слоя футеровки можно использовать саморастекающийся бетон на основе андалузита, боксита и циркония.

Для мокрого торкретирования компания «Weerulin» производит различные массы со специальными связующими, которые придают торкрет-массам особые эксплуатационные свойства. Благодаря новой суперизолирующей волокнистой системе торкрет-массы могут укладываться в слои толщиной до 150 мм. Благодаря использованию этих торкрет-масс можно обеспечить длительность разливки сортовой заготовки более 70 ч. Расширенные гарантии по стойкости поставляе-

мых огнеупорных материалов предоставляет компания «Энерготехсинтез». Вторым шагом для производства чистой стали в промежуточном ковше является регулирование потока. Компания «Weerulin» сконцентрировала свое внимание на контроле потока и уменьшении количества брызг в МНЛЗ. Результат этой работы — техническая инновация компании — запатентованный принцип струегасителя PowerDrum. Струегаситель PowerDrum технически уникален, так как совмещает решение обеих задач промежуточного ковша — уменьшение количества брызг, минимальный контакт с воздухом, выравнивание поверхности стали в условиях постоянного потока в процессе разливки. Компания предлагает полную инновационную концепцию для промежуточного ковша.

Компания ООО «Энерготехсинтез», продвигая на территории России передовые технологии и материалы компании «Weerulin», осуществляет разработку проектов, техническое сопровождение продукции на всех этапах ее использования, обеспечивает расширенные гарантии по эксплуатации и имеет возможность оказывать услуги от шеф-надзора до сервисного обслуживания любых металлургических агрегатов.



Международная группа компаний

FERROMIN



Огнеупорное сырье:

**Магнезит
Боксит
Графит
Электрокорунд
Карбид кремния**



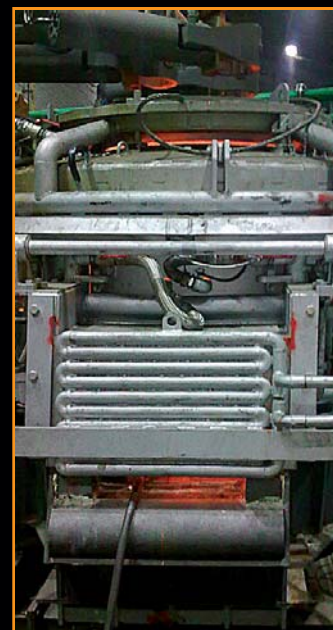
Огнеупорные массы и бетоны



rawmaterials@ferromin.ru

Огнеупорные изделия:

**Периклазоуглеродистые
Корундографитовые
шиберные плиты и стаканы
Изделия для проковшей
Корундохромитовые
монолитные своды ДСП и ПК
и др.**



refractory@ferromin.ru

РЕКЛАМА

Представительство в Китае

Room 1107, bld. No. 3

Zhu Bang 2000 Office Center,

No. 98 Balizhuang Xili, Beijing, China

Tel/Fax: 8610-8586-9192 / 8610-8586-9190

office@ferromin.cn



Углеродные материалы:
Графитированные электроды
Катодные блоки
Анодные блоки
Анодные массы
Нефтяной кокс
Пек



carbon@ferromin.ru

Ферросплавы

alloys@ferromin.ru

Химические товары

Лигносульфонаты

chemicals@ferromin.ru

**Оборудование
для предприятий
металлургической
промышленности**

equipment@ferromin.ru



Представительство в России

Москва, ул. Космонавта Волкова,

д. 31, офис 108

Тел.: (495) 974-74-78

Факс: (495) 742-37-48

office@ferromin.ru

www.ferromin.com



ТЕПЛОПРОМПРОЕКТ

от проекта – до результата

**ИНЖИНИРИНГОВАЯ КОМПАНИЯ,
РЕШАЮЩАЯ ЛЮБЫЕ ЗАДАЧИ ПО
ТЕХНИЧЕСКОМУ ПЕРЕВООРУЖЕНИЮ
ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ**

(495) 933-25-76, (495) 933-24-70

www.teplopromproekt.ru

Центральный офис: 117519, Москва, Варшавское шоссе, дом 132, стр.9

Производственно-складской комплекс: Чеховский р-он, пос. Новый Быт, ул. НАТИ, д. 13.

УДК 666.76.002.2.001.12/18

РАЗВИТИЕ ОГНЕУПОРНОЙ ОТРАСЛИ — ОТКЛИК НА ЗАПРОСЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Проанализированы тенденции развития отраслей — потребителей огнеупорной продукции в последние годы: новые тенденции в структуре производства и применения огнеупоров, организации их производства и продаж, включая изменения в ассортименте, в качестве используемого сырья, в подходах к оценке экономики применения огнеупоров.

Ключевые слова: огнеупорные материалы, металлургия, сырье, вертикально интегрированные компании, чистая сталь, тенденции.

Состояние рынка огнеупорных материалов и в мире, и в СНГ определяется макроэкономической ситуацией в производстве продукции основных потребителей огнеупорных материалов — в черной и цветной металлургии, в производстве цемента и стекла, стройматериалов, в нефтехимической промышленности и энергетике. Черная и цветная металлургия потребляет в сумме более 75 % огнеупорных материалов, производимых в мире, и оказывает решающее влияние на огнеупорную отрасль.

МЕТАЛЛУРГИЯ СНГ В 2012 г. И ПОСТАВЩИКИ ОГНЕУПОРОВ

На развитии огнеупорной промышленности в последние два года благоприятно сказался рост производства металла в 2010–2011 гг., несмотря на известный спад к концу 2011 г. В 2011 г. в СНГ произведено 112,4 млн т стали, в том числе 61,1 % в России, 31,4 % в Украине, 4,2 % в Казахстане, 2,3 % в Белоруссии и т. д. Объемы производства практически достигли докризисных (середина 2008 г.) на фоне интенсивного технического перевооружения в металлургии России и Украины. По прогнозу НП «Русская сталь», к 2020 г. производство стали в России увеличится до 80 млн т (прирост 16 %).

Техническое перевооружение в черной металлургии в последние несколько лет существенно интенсифицировалось: закрывается мартеновское производство, только в 2010–2011 гг. прекратили существование мартены в ОАО ЧТПЗ, ОАО «МК «Азовсталь», ОАО «Интерпайп», ОАО ДМЗ, ОАО НТМК, ОАО «Донецксталь», ОАО АМЗ. В то же время начал работу четвертый конвертер (350 т) в ОАО НЛМК; внедрено электросталеплавильное производство в ОАО «Интерпайп-Сталь» и ОАО ПНТЗ; существенно расширены мощности внепечной обработки стали на ряде предприятий (ОАО НЛМК, ОАО «Уральская сталь» и т. д.) Впервые за последние 20 лет на территории СНГ в ОАО НЛМК сооружена новая домна мощностью 3,4 млн т. На ряде предприятий СНГ, в том числе в ОАО «Северсталь», ОАО ЕМЗ, проведен капитальный ремонт доменных печей. Успешно завершены крупные проекты в прокатном производстве ОАО ММК, ОАО «ОМЗ-Выкса», ОАО НЛМК и т. д. Введены новые

агрегаты в производстве меди (ОАО «Казцинк», ОАО «Карабашмедь», ОАО «Росскат» и т. д.).

В 2013 г. предстоит ввод в эксплуатацию новых электросталеплавильных производств ООО «НЛМК-Калуга», ОАО ТМЗ (г. Тюмень), ОАО «Северсталь-Сортовой завод Балаково» (Саратовская обл.); должны выйти на проектную мощность электросталеплавильные комплексы в ОАО ПНТЗ, ОАО «Интерпайп-Сталь»; в ОАО «Тагмет» в 2013 г. вводится печь ДСП-150, тем самым будет завершена модернизация сталеплавильного производства на этом предприятии; анонсирован ввод в эксплуатацию во второй половине 2013 г. электросталеплавильного комплекса в ОАО АЭМЗ (г. Армавир) и ДСП в ОАО «Донецксталь» производительностью 1,8 млн т стали в год; в ОАО «Ижсталь» завершается реконструкция, включающая комплекс ДСП-40, комплекс внепечной обработки и МНЛЗ. Непрерывно растет доля стали, разливаемой на МНЛЗ, в 2012 г. в РФ она достигла 84 % (~60 млн т).

Перспективы на 2013 г. для металлургии СНГ оцениваются неоднозначно. Российские металлургии на фоне увеличения видимого потребления стали в РФ (+2,1 %, прогноз на 2013 г. +3,2 %) в течение 2012 г. уверенно увеличивали объемы производства стали до 70,6 млн т (прирост 2,5 %)*. Одновременно наблюдалось снижение объема выплавки стали в 2012 г. в Украине на 6,6 % и в Казахстане на 21,6 %.

Что происходит в производстве стали в мире? Этот вопрос для ориентированной на экспорт металлургии СНГ (экспортировано из России за 11 мес 2012 г. 35,668 млн т), естественно, интересует не только металлургов, но и производителей огнеупорной продукции. К концу 2012 г. наблюдалось стабильно растущее производство стали в Китае, темпы несколько снижены, но годовое производство, по данным китайской металлургической ассоциации (CISA), составило 716,5 млн т (+3,1 %). Растет производство стали в США (в 2012 г. — +6 %); во втором полугодии 2012 г. наблюдалось некоторое снижение производства в Турции, но в целом за год при-

* Здесь и далее прирост указан в сравнении с 2011 г.

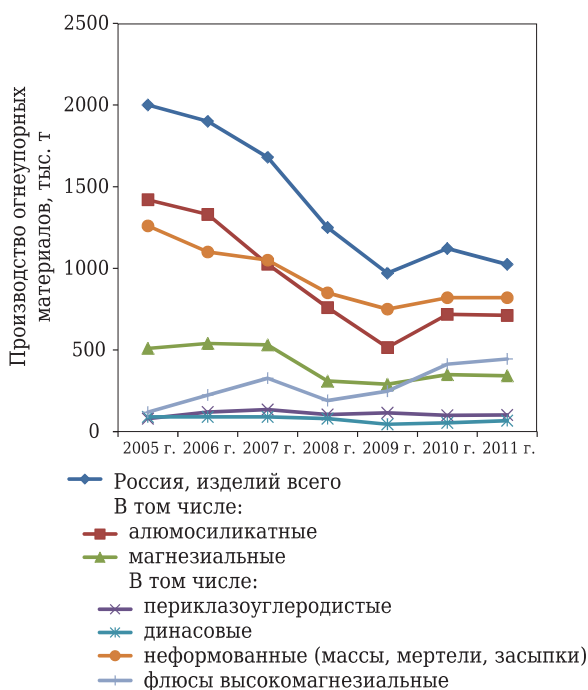


Рис. 1. Динамика изменений в производстве огнеупорных материалов в России в 2005–2011 гг.

рост составил 5,2 %; производство стали в Индии в 2012 г. достигло 76,7 млн т (от +4,3 до +6,3 %, по данным из различных источников) и Иране (прирост от 9,6 до 10,9 %). В Евросоюзе снижение объема производства стали составило 4,5–5,0 %. За 2012 г. прирост производства стали в мире составил 1,2–1,4 % (в 2011 г. мировое производство стали возросло на 6,8 %), общее производство стали в 2012 г. достигло 1,51–1,55 млрд т. Эксперты комитета по стали Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) ожидают в 2013–2014 гг. медленный подъем производства стали в мире и лишь затем конъюнктура на рынке улучшится.

В РФ производство алюминия в 2012 г. снизилось на 1,7 %, никеля на 3,7 %, меди на 5,3 %, производство цинка увеличилось на 1,2 %. За 11 мес 2012 г. возрос экспорт из России: меди в 1,6 раза до 230 тыс. т, никеля на 31 % до 201,6 тыс. т, алюминия на 2,8 тыс. т в сравнении с тем же периодом 2011 г. (Бизнес-ТАСС). В Китае за первые три квартала 2012 г. производство меди возросло на 7,4 %, алюминия на 10,6 %. Производство рафинированной меди в мире увеличилось на 6,3 %; в 2013 г. ожидается рост производства как первичной меди на 6,5 %, так и рафинированной на 11 % (доклад ICSG — Международной группы по изучению меди). По расчетам Всемирного банка, вступление в ВТО обеспечит прирост производства в цветной и черной металлургии РФ на 14,45 и 3,65 % соответственно [1].

Объемы потребления и производства цемента в мире растут последние два года; при этом 55 % производимого в мире цемента потребляется в Китае при объеме производства 1 млрд 452 млн т. В десятке крупнейших производителей цемента в мире шесть — китайские. Лидирующая в рейтинге фирма

«Lafarge» (Франция) произвела в 2012 г. на 166 предприятиях 225 млн т цемента. Наибольший годовой прирост производства цемента в мире наблюдается в Индии и Иране (третье и пятое место в мире).

Согласно прогнозу, совокупный объем потребления цемента в России в 2012 г. составит 65–67 млн т, причем 95 % этого объема обеспечивается отечественными производителями. Кроме того, экспортируется около 3 млн т цемента и клинкера. В 2013–2014 гг. рост потребления цемента в России составит 5–7 % в год, в 2012 г. он составил 13 % (к 2011 г.). Предполагается, что с реализацией федеральных программ жилищного и инфраструктурного строительства в 2016 г. потребуется до 120 тыс. т и к 2020 г. даже 170 млн т цемента. Такой прогноз вызывает сомнение; эксперты считают, что в 2016 г. реальная потребность составит 100–110 млн т, что требует ускорения наращивания производственных мощностей цементной промышленности.

Следует отметить интенсивное техническое перевооружение в цементной промышленности. Так, в 2012 г. введены в эксплуатацию комплексы по производству цемента сухим способом на новых предприятиях; осуществляется реконструкция технологических потоков, работающих по мокрому способу. Одновременно на ряде предприятий прекращается производство цемента мокрым способом. Введены в эксплуатацию мощности по производству цемента сухим способом в ОАО «Подгоренский цементный завод», ОАО «Верхнеабаканский цементный завод», ООО ЮГПК, ООО «ТулаЦемент», ОАО «Серебрянский цементный завод», технологические линии в ОАО «Мордовцемент», ОАО «Сухоложскцемент» и т. д. Переход к технологии производства цемента сухим способом осуществляется в России и в Украине, но еще более интенсивно в Азербайджане, Казахстане, Узбекистане. Для производителей цементных марок огнеупоров в СНГ во избежание утраты рынка это означает: существенный рост требований к качеству огнеупоров — необходимость модернизации и создания новых технологий. Одновременно снижается удельный расход огнеупорных материалов на 1 т цемента — с 4–5 кг для мокрого способа производства цемента до 0,8–1,0 кг для сухого.

Техническое перевооружение на предприятиях всех отраслей потребителей огнеупоров на территории СНГ сопровождается также изменением в потреблении огнеупорных материалов; с некоторым запозданием изменяется производство огнеупоров. Растут требования к качеству огнеупорных материалов; речь идет о широком понимании этого термина, неизбежно количественное снижение в производстве огнеупорных материалов (рис. 1).

Конкуренция на рынке высокотехнологичных огнеупорных материалов весьма велика, потребители не согласны ждать, когда отечественные производители выйдут на мировой уровень, и с легкостью переходят к использованию эффективных импортных материалов. Вступление России в ВТО в судьбе российских производителей огнеупоров не обещает

синекуры: существующая экспортная пошлина 15 и 20 % на безобжиговые и обожженные огнеупоры соответственно через несколько лет будет снижена. В то же время на фоне замедления темпов роста производства стали в Китае и снижения производства стали в Европе неизбежны перепроизводство огнеупоров в этих регионах, усиление экспорта огнеупорных материалов и обострение конкуренции на ближайших рынках высокотехнологичных огнеупорных материалов — на территории СНГ.

В настоящее время огнеупорные материалы поставляются на предприятия СНГ различными структурами:

- ООО «Группа «Магнезит» — транснациональное вертикально интегрированное российское предприятие, имеющее производственные мощности в России и в Украине, а также в Китае и Европе;

- крупные предприятия — производители огнеупоров (>200 тыс. т изделий и неформованных материалов в год каждое) на территории России, осуществляющие поставки огнеупорной продукции из Китая: ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» (ОАО БКО) и ОАО «Динур»;

- крупные предприятия — производители огнеупоров (от 200 до 50 тыс. т огнеупорной продукции в год): Богдановичское ОАО «Огнеупоры» (ОАО БОЗ), ООО «Огнеупор» (г. Магнитогорск), ОАО «Семилукский огнеупорный завод» (ОАО СОЗ), ПАО «Часовоярский огнеупорный комбинат», ПАО «Запорожогнеупор» (ПАО ЗО), ПАО «Красногоровский огнеупорный завод» и т. д.;

- средние и малые предприятия, развивающие производство преимущественно неформованных огнеупоров и изделий (безобжиговых) из них, специальных огнеупорных материалов: ООО «Кералит» (Москва), ООО «Алитер-Акси» (Санкт-Петербург), ЗАО «Росметаллкомплект» (Санкт-Петербург), ЗАО «ПФК «НК» (г. Старый Оскол), ЗАО «НТЦ «Бакор» (г. Щербинка), ООО «СпецОгнеупорКомплект» (г. Екатеринбург) и др.;

- крупные интернациональные многопрофильные компании — производители различных огнеупорных материалов, имеющие производственные площадки на территории многих государств: RHI (Австрия), «Vesuvius» (Бельгия), «Magnesita» (Бразилия), «IFGL Refractories», Ltd (Индия), «Calderys» (Германия) и представительства на территории России и Украины, либо компании, организовавшие руководство процессом сбыта и инжиниринга через отдельных представителей на местах; при этом RHI и «Calderys» уже имеют производственные площадки на территории России и Украины соответственно, а «Vesuvius» подтверждает планы организации производства функциональных огнеупоров в Нижегородской области;

- квалифицированные производители огнеупоров в Европе и не только. Например, «Ropczysze S. A.» (Польша), «Kumas» (Турция) и другие поставляют металлургическим предприятиям как формованную, так и неформованную огнеупорную продукцию;

- предприятия — производители огнеупоров в Китае, либо реализующие свою продукцию через

свои представительства, например «Puyang» (Китай), либо имеющие представителей в регионах России и Украины — «LIRR Refractories» (Китай), «Duferco» (Швейцария) и ООО «Металл Проект» (Россия); этот список можно продолжить;

- предприятия — производители огнеупоров высокого качества в узкой области. Например, «Seven Refractories» (Германия) специализируется на производстве желобных и леточных масс, фирмы RATH (Германия) и «Promat» (Германия) — на производстве теплоизоляционных волокнистых и неформованных материалов и т. д.;

- трейдеры и инжиниринговые фирмы, оказывающие услуги в поставке огнеупоров в соответствии с заключенными контрактами с зарубежными производителями огнеупоров, иногда эксклюзивного характера: ООО «ОгнеупорТрейдГрупп» (Россия), «VGH Victoria Garten Hüttenindustriebedarf A. G.» (Германия), ООО «ВПО Сталь» (Россия), «Femates» (Германия), «Transtel International» (Швейцария), ЗАО «Изомат» (Россия) и т. д. Особняком стоит фирма «Techcom GmbH» (Германия), которой принадлежат ряд патентов и ноу-хау на устройства с использованием огнеупоров и на конструкции огнеупорных изделий, реализованные и за рубежом, и в СНГ; при этом изготовителем огнеупоров могут быть различные фирмы.

ПРОЦЕССЫ В ОГНЕУПОРНОЙ ОТРАСЛИ

В 2010 г. в мире произведено около 46 млн т огнеупоров (по данным китайских источников), в том числе в Китае произведено 28,08 млн т (60 % от общемирового). Китай является не только главным экспортером сырья для производства огнеупоров в мире, но и значимым экспортером готовой огнеупорной продукции, причем объемы экспорта с каждым годом увеличиваются. Потребность в огнеупорах в мире согласно прогнозу [2] непрерывно возрастает в натуральном исчислении, в денежном же выражении этот процесс протекает интенсивнее вследствие сдвига потребления огнеупоров в сторону передовых, более дорогих огнеупорных материалов. Предполагается, что в 2014 г. производство огнеупорных материалов в мире достигнет 43 млн т (рис. 2), Китай будет доминировать как потребитель и как производитель огнеупоров.

Сегодняшний удельный расход огнеупорных материалов в Китае (~20 кг/т стали) еще далек от

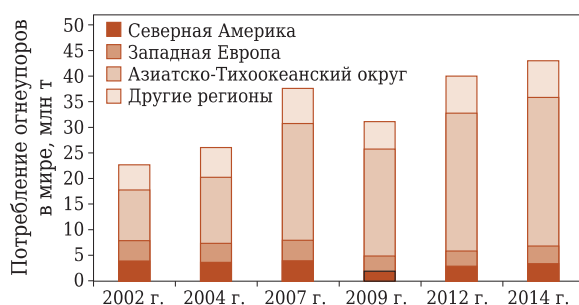


Рис. 2. Изменения в производстве огнеупорных материалов в мире

оптимального вследствие использования значительного количества огнеупоров низкого и среднего качества. В то же время на современных металлургических предприятиях Китая, как и в России, удельный расход огнеупоров приближается к оптимальному (8–10 кг/т стали в зависимости от технологии ее производства). Соответственно ожидается снижение объема производства, но оно не коснется высокотехнологичных огнеупоров — наиболее востребованных видов продукции: углеродсодержащих, из плавящихся порошков и высококачественных неформованных.

Процессы развития в огнеупорной отрасли СНГ аналогичны процессам, протекающим в мире [3]:

- **развивается** процесс консолидации производителей огнеупорных материалов. Фирма RHI сформирована более десяти лет назад в результате слияния фирм «Veitsch», «Radex» и «Didier». Процесс продолжается; в частности, несколько лет назад в состав RHI вошел один из дивизионов фирмы «Fosco»; решен вопрос приобретения 43,6 % акций огнеупорного производства индийской фирмы «Orient Abrasives»; развивается и сырьевая база, имеют место все новые приобретения производств периклаза на территории Турции, Китая, Норвегии и Ирландии. Японская фирма «Krosaki Harima» в 2011 г. стала собственником крупнейшего производителя огнеупоров в Индии — «Tata Refractories» и создает совместные предприятия в Индии и Бразилии. Фирма «Calderys» была сформирована в процессе объединения активов фирмы «Plibrico» (Германия), поглотившей до того фирму «Basalt» (Германия), и фирмы «Lafarge Refractories» (Франция). Этот процесс получил развитие в мире последние 15–20 лет, в том числе и в США [4].

Особенностью консолидации производства огнеупоров в последние 10 лет следует считать интенсивное участие в этом процессе огнеупорных предприятий стран БРИК. Фирма «IFGL Refractories», Ltd приобрела в 2005 г. британскую фирму «Monocor Holding», Ltd с дочерними предприятиями в Китае, США, Бразилии и на Тайване. К 2012 г. производственные предприятия IFGL существовали также в Германии, Чехии, в четырех штатах Индии. Фирма усилила процессы диверсификации производимой продукции и повышения рентабельности производства. Низкорентабельное производство на Тайване в 2008 г. закрыто, а в 2012 г. прекращено производство огнеупоров в Чехии.

Фирма «Magnesita Refractories S. A.» с приобретением ряда производителей огнеупоров, крупнейший из которых фирма LWB (Германия), по мнению аналитиков стала третьим в мире (после RHI и «Vesuvius») производителем огнеупоров для металлургии, стекольной, цементной и других отраслей. Есть информация о создании совместного предприятия фирм «Magnesita» и «Krosaki Harima» по производству функциональных огнеупоров, в первую очередь изостатического формования, для МНЛЗ на территории Бразилии. Сегодня в составе «Magnesita» функционируют 28 производственных и горнодобывающих предприятий в Бразилии, Арген-

тине, США, Германии, Франции, Китае, Бельгии и на Тайване.

ООО «Группа «Магнезит» на Саткинской производственной площадке включает ОАО «Комбинат «Магнезит», ООО «НПК «Магнезит» — производство изделий из огнеупорных бетонов, стартовых смесей, алюмосиликатных сухих смесей и торкрет-масс; ООО «Магнезит Монтаж Сервис» (ООО ММС) — услуги по выполнению футеровки; ООО «Магнезит-торкрет-массы» (ООО МТМ) — производство неформованных материалов; производство каустического магнезита и плавящего периклаза на Нижне-Приангарской производственной площадке Красноярского края, а также несколько совместных предприятий в Китае, среди которых «Laoning Dalmond Refractories Co.», Ltd мощностью более 100 тыс. т углеродсодержащих огнеупоров. В составе Группы «Магнезит» с 2009 г. — компания «Slovmag S. A.» в Словакии и с 2011 г. — ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод» (ПАО ПОЗ) в Украине.

В Украине венчурным фондом «General Investment Resources» (GIR) в 2011–2012 гг. объединены под общее управление Красноармейский, Красногоровский, Кондратьевский огнеупорные заводы и Великоанадольский огнеупорный комбинат, производящие широкий ассортимент динасовых и шамотных огнеупоров. В то же время наблюдается падение объема производства алюмосиликатных изделий на заводах объединения за 9 мес 2012 г. к аналогичному периоду 2011 г. на 23 тыс. т (20,9 %), динасовых на 6,8 тыс. т (17,45 %). Новый менеджмент предполагает осуществить модернизацию и расширить ассортимент выпускаемой продукции; перспективы этого объединения будут определяться обеспечением производства собственным сырьем;

- **снижается** производство огнеупоров основного состава среднего качества. За 9 мес 2012 г. к аналогичному периоду 2011 г. оно снизилось в ПАО 30 и ПАО ПОЗ на 20,0 и 15,5 тыс. т соответственно. Оба предприятия в поиске замены выбывающему объему производства.

В ПАО 30 в 2013 г. вводится в эксплуатацию современное производство высококачественных корундовых и алюмосиликатных неформованных материалов (низкоцементных, бесцементных), что позволит, по мнению менеджмента предприятия, компенсировать потери объема формованных огнеупоров.

В ПАО ПОЗ в первом квартале 2013 г. начато производство высокомагнезиальных флюсов по технологии и из материалов, поставляемых Группой «Магнезит», а во втором квартале 2013 г. по завершении реконструкции действующего производства будет увеличено производство периклазоуглеродистых огнеупоров до 25 тыс. т в год (15–20 % потребности украинских металлургических предприятий) по технологии Группы «Магнезит», имеющей многолетний опыт производства аналогичной продукции в России, Китае и Словакии. На следующем этапе диверсификации производства будет организовано производство неформованных огнеупоров и изделий из

них основного и алюмосиликатного составов по немецким технологиям и технологиям Группы «Магнезит».

Безусловно, вышеупомянутые фирмы не исчерпывают список интегрированных фирм — производителей огнеупоров. Для основной массы огнеупорных предприятий консолидация и интеграция носят горизонтальный характер, но общемировым трендом для предприятий, изготавливающих массовую продукцию (в первую очередь углеродсодержащие огнеупоры для футеровки конвертеров, ДСП, сталеразливочных, а также чугуновозных ковшей «торпедо»), является принцип вертикальной интеграции. Эти фирмы включают в свой контур производство и сырьевых материалов, и огнеупорной продукции во многих государствах. В СНГ вертикально интегрированы ряд металлургических компаний: НЛМК, «Северсталь», ЕВРАЗ, Мечел, «Металлинвест» и «Метинвест» (Украина), в цветной металлургии — РУСАЛ, «Норильский никель». Вертикальная интеграция от добычи сырья до производства продукции с наиболее высокой степенью переработки, оказание потребителям различных услуг предполагают достижение синергетического эффекта за счет концентрации и капитала, и производства, возможности маневрирования капиталом, мощностями, потоками сырья и конечной продукции, что позволяет снизить себестоимость продукции за счет непрерывности производства в общей технологической цепочке. По аналогии с металлургическими предприятиями, для которых вертикальная интеграция рассматривается как способ повышения конкурентоспособности на мировом рынке стали, в огнеупорной промышленности реализуется аналогичный процесс. На территории СНГ вертикально интегрировано ООО «Группа «Магнезит».

Основные мировые тенденции в производстве и применении огнеупорных материалов и их отражение в практике предприятий СНГ:

- обеспечение сырьевыми материалами все чаще является ключевым вопросом для любого огнеупорного производства, и, как следствие, развитие производства огнеупоров смещается в регионы с доступными сырьевыми материалами (Китай, Россия, Турция, Бразилия, Мексика). Есть примеры организации нового огнеупорного производства вблизи рынков сбыта (Индия, США, Бразилия, Россия), обычно это касается функциональных огнеупоров для МНЛЗ и шибберных затворов, реже неформованных материалов;

- комплексные поставки огнеупорных материалов и соответствующего оборудования традиционно являются предпочтительными для потребителя. В случае отсутствия производства, обеспечивающего полную комплектацию, поставщик приобретает необходимую продукцию на рынке и несет ответственность за весь поставляемый комплект огнеупоров. За рубежом достаточно давно получила развитие система сервисного обслуживания потребителя и в Европе, и в США [4], где поставщик осуществляет все этапы обслуживания тепловых агрегатов согласно контракту с потребителем: проектирование футеровки, поставка огнеупорных материалов, хранение их на собственных или арендуемых складах, вы-

полнение футеровочных работ, мониторинг службы футеровок (при необходимости, например, на конвертерах, ДСП, сталеразливочных ковшах выполняется комплекс горячих ремонтов, причем используется оборудование сервисной фирмы). За разборку футеровки по завершении эксплуатации агрегата и утилизацию отработанных огнеупоров также несет ответственность сервисная фирма. На рынке СНГ такие услуги практически для всех агрегатов предлагают Группа «Магнезит» [5], а также «Calderys» (железа в доменном производстве).

Подтверждением компетенции в области проектирования футеровок тепловых агрегатов, включая металлургические, служит то, что Группа «Магнезит» с 2012 г. является членом НП «СПО СПО Южного Урала». Членство в этой организации дает право осуществлять лицензированную проектную деятельность при подготовке конструкторских решений в области работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства, к которым относятся все тепловые агрегаты производства металла, цемента, извести, стекла и т. д.;

- изменение в ассортименте потребляемых огнеупорных материалов: на первый план для металлургов вышли углеродсодержащие изделия (периклазо-, алюмопериклазо-, периклазоалюмо-, алюмо-, алюмокарбидкремнийуглеродистые). Это основная часть огнеупорных материалов, используемых в сталеплавленном процессе; доля алюмосиликатных огнеупоров, включая высокоглиноземистые, неуклонно снижается, что, естественно, сказывается и на объеме производства огнеупорных предприятий. Снижаются потребность и, естественно, производство кремнеземистых и алюмосиликатных изделий (полукислых, шамотных, высокоглиноземистых), огнеупорных материалов основного состава среднего качества (периклазовых, периклазохромитовых, хромитопериклазовых, безобжиговых периклазовых на пековом связующем), мертелей, масс, огнеупорных заполнителей того же состава вплоть до прекращения производства. Закрыты ОАО «Снегиревский огнеупорный завод», ОАО «Внуковский завод огнеупорных изделий», ОАО «Никомогнеупор», ОАО «Константиновский огнеупорный завод» (Украина), ОАО «Домодедовский завод огнеупорных изделий», ОАО «Суворовское рудоуправление»; прекращено производство алюмосиликатных изделий в ОАО «Подольский завод огнеупорных изделий». На ряде предприятий закрыто или значительно снижено производство алюмосиликатных материалов (возможно, на стадии закрытия ряд цехов производства шамотной продукции);

- изменение соотношения в использовании огнеупорных материалов формованных и неформованных в пользу последних. Следует отметить, что если для японских, западноевропейских и американских потребителей уже оптимизировано соотношение формованных и современных неформованных огнеупоров и доля последних составляет от 50 % в США до 60 % в Японии и, очевидно, существенно в ближайшее время не изменится, то для России, Украины, Китая и Индии доля неформованных огнеупоров

будет продолжать расти. По нашим оценкам, в российской металлургии доля неформованных огнеупоров высокого качества достигла 30 % и будет расти до 45–50 % за счет увеличения доли сталеразливочных ковшей с бетонной футеровкой дна и стен, расширения производства и применения масс в футеровке печей прокатного производства, ремонтных масс и торкрет-масс различного назначения, перехода к наливным желобам и т. д.;

– металлургические предприятия постепенно избавляются от непрофильных активов, в том числе от огнеупорных производств. Этот процесс завершается в Европе, начат в Китае; в России уже нет огнеупорных производств в составе НТМК, ЗСМК, НЛМК, но в то же время крупные огнеупорные производства остаются в составе ММК и ЧМК. В Украине в составе металлургических предприятий (ЕМЗ, ДМКД, ММК им. Ильича) остается производство исключительно периклазоуглеродистых брикетов, используемых в качестве подварки в конвертерах, масс для факельного торкретирования и ряда других вспомогательных материалов. В то же время производство обожженной извести входит в металлургический цикл и на данном этапе остается в составе металлургических предприятий. Представляется, что сегодня процесс вывода непрофильных активов и в России, и в Украине будет продолжен.

В то же время в составе дивизиона «Северсталь Российская Сталь» работает предприятие «Северо-Запад Огнеупор», созданное примерно более 10 лет назад для обеспечения металлургического производства (доменного, сталеплавильного и прокатного) неформованными огнеупорами и изделиями собственного производства. Частично задача выполнена сегодня и в «Северстали»; с участием этой структуры формируется сервисная служба для обслуживания тепловых агрегатов основного производства.

Иная ситуация в Японии и Южной Корее, где крупнейшие производители огнеупоров являются фирмами «Krosaki Harima», «Shinagawa» и, соответственно, «Posco Refractories», которые, в свою очередь, являются дочерними по отношению к крупным металлургическим фирмам. Но эти производители огнеупоров могут рассматриваться как самостоятельные вследствие их собственной значительной производственной и клиентской базы, и не только на территории, где размещены металлургические мощности материнской компании (все 3 входят в десятку крупнейших производителей огнеупоров в мире), наличия в их составе крупных исследовательских центров, известной самостоятельности и поведенческой активности. Достаточно сказать, что фирма «Krosaki Harima» в 2011 г. получила контроль над крупнейшим в Индии производителем огнеупоров «Tata Refractories», которая до этого входила в состав промышленной империи «Tata» наряду с «Tata Steel» и другими предприятиями;

– следует отметить расширение производства и применения теплоизоляционных материалов, как волокнистых, так и неформованных (бетоны и торкрет-массы). На фоне усиленного внимания метал-

лургических и иных предприятий к вопросам энергосбережения это направление получило развитие и у производителей огнеупорных материалов. На базе ОАО «Сухоложский огнеупорный завод» организовано с американской компанией совместное предприятие (СП) ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог», где реализованы новые для России технологии производства волокна и изделий из него для применения при температурах до 1400 °С и выше. Волокно муллитокремнеземистого состава с температурой применения до 1150–1200 °С, продукция из него, неформованные теплоизоляционные материалы изготавливаются сегодня многими предприятиями: ОАО БОЗ, ОАО СОЗ, ОАО БКО, ООО «Группа «Магнезит», ООО «Кералит», ООО «Алитер-Акси» и т. д.;

– производство огнеупоров планомерно стимулируется на территории Китая государством: производители огнеупорных материалов длительное время имели льготы в цене на энергоносители, возврат НДС и льготы в налогообложении совместных предприятий; к сегодняшнему дню эти льготы практически упразднены. В результате на территории Китая к 2011 г. работало более 100 СП производства огнеупорных материалов, в том числе совместно с «Vesuvius», RHI, Группой «Магнезит», «Refratechnik» (Германия), «Krosaki Harima», «Chosun», «Morgan Thermal Ceramics» (США) и т. д. Одновременно с организацией СП передавались и современные технологии, что позволило в кратчайшие сроки вывести производство огнеупоров на высокий уровень;

– интенсифицируются научно-исследовательские работы, поиск новых технологических решений в сфере производства огнеупоров, их применения, включая конструирование футеровки агрегатов, и не только для увеличения межремонтного цикла и продолжительности ее службы, но и с целью повышения качества производимого металла;

– усиливается стремление огнеупорщиков к совместному поиску с металлургами щадящих технологий эксплуатации огнеупоров, технологий купирования процессов разрушения футеровки, к своевременному выявлению с последующим горячим ремонтом локальных зон опережающего разрушения; создаются новые материалы и оборудование для реализации необходимых решений.

Рынок огнеупоров развивается весьма интенсивно. Согласно данным R. Schmidt-Whitly [6], из десяти ведущих производителей огнеупоров в мире в 2000 г. в лидерах к 2010 г. остались лишь шесть компаний. Список пополнился Группой «Магнезит», а также немецкой фирмой «Calderys», имеющей производственные и иные мощности во многих странах, и двумя южнокорейскими фирмами «Posco» и «Chosun», контролирующими производство по своим технологиям и за пределами Южной Кореи.

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основная масса огнеупорных производств на территории России и Украины традиционно ориентирована на производство шамотных огнеупоров, мерте-

лей, масс, заполнителей, чему способствуют разрабатываемые запасы огнеупорных глин и каолинов. Недостатка в алюмосиликатном сырье огнеупорные предприятия СНГ (России, Украины, Казахстана) не испытывают. Однако, как было показано выше, потребность в этой продукции, в первую очередь в шамотных изделиях, мертелях и огнеупорных заполнителях, будет снижаться. В этой связи следует упомянуть периклазовые и хромсодержащие огнеупоры среднего качества, производство которых с сокращением мартеновского производства стали также сокращается (см. рис. 1). Неформованные огнеупорные материалы (низко- и бесцементные бетоны, включая желобные массы) получили интенсивное развитие на территории СНГ с 25-летним опозданием.

С появлением возможности приобретения импортных материалов усилиями Санкт-Петербургского и Украинского институтов огнеупоров и не без помощи фирм — производителей специальных сырьевых материалов («Alcoa», ныне «Almatis»; «Lafarge Aluminas», ныне «Kerneos»; «Elkem», Норвегия) с середины 90-х годов создавалось производство низко-, средне- и бесцементных неформованных огнеупорных материалов. В настоящее время десятки российских и украинских предприятий (ОАО БКО, ОАО «Динур», ОАО СОЗ, ООО «Группа «Магнезит», ООО «Северо-Запад Огнеупор», ООО «Алитер-Акси», ООО «Кералит», опытное производство Украинского института огнеупоров и т. д.) изготавливают глиноземсодержащие сухие смеси и торкрет-массы различного состава для футеровки самых разных агрегатов не только в металлургии. На ряде предприятий, в том числе на перечисленных, изготавливаются изделия из сухих смесей: блоки для водоохлаждаемых сводов ДСП (цельные и составные), фурмы десульфурации, горелочные и гнездовые блоки, стаканы-коллекторы шибберных затворов, донные фурмы для сталеразливочных ковшей, перегородки, металлоприемники и иные блочные изделия для футеровки промежуточных ковшей. В ОАО БКО, ТОО «Казогнеупор» и ООО «Консолит» производится высокоглиноземистый цемент, в ОАО БКО освоено также производство активного глинозема.

Одновременно в ОАО «Динур» реализована пионерская для своего времени ВКВС-технология производства масс и изделий, разработанная проф. Ю. Е. Пивинским. В начале 90-х годов в ОАО «Динур» создано производство материалов с использованием регулируемых процессов мокрого помола различных сырьевых материалов. В настоящее время эта технология многократно тиражирована и реализована на многих предприятиях СНГ, в первую очередь малых и производящих огнеупорные материалы для металлургии и других отраслей (кварцевые шликернолитые погружаемые стаканы и трубы для защиты струи металла, желобные массы, высокоглиноземистые изделия, изготавливаемые по оригинальной технологии [7, 8]). Однако и в настоящее время большая часть используемых огнеупорных современных глиноземсодержащих неформованных материалов (для футеровки стен и дна сталеразливочных ковшей, наружной футеровки патрубков ваку-

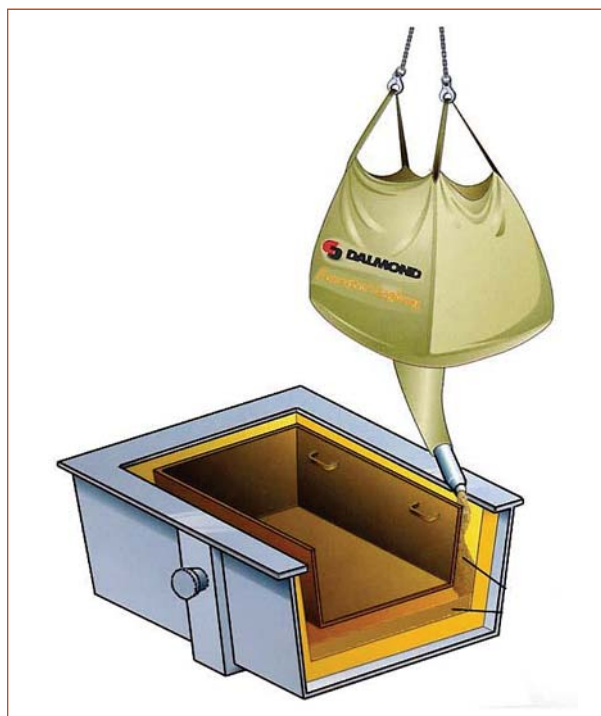


Рис. 3. Схема выполнения рабочего слоя футеровки промежуточного ковша МНЛЗ сухой массой

уматоров, шахты доменной печи и желобов на доменном дворе, постоянного слоя футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ) поставляется из-за рубежа — из Европы и Китая.

Самостоятельным направлением в области неформованных огнеупоров являются огнеупорные материалы основного состава. Шесть лет назад практически 100 % магнезиальных торкрет-масс для промежуточных ковшей МНЛЗ импортировалось из-за рубежа, с появлением в составе Группы «Магнезит» специализированного производства масс в ООО МТМ началось развитие производства магнезиальных торкрет-масс в России. В настоящее время в Группе «Магнезит» объем производства магнезиальных торкрет-масс с использованием периклазовых порошков собственного производства превышает 45 тыс. т в год. Торкрет-массы успешно применяются в промежуточных ковшах, ДСП, конвертерах, сталеразливочных ковшах. С завершением реконструкции производства в 2012 г. (создание еще одной производственной линии в составе мельницы тонкого контролируемого помола фирмы ООО «Урал-Омега», системы грохотов, смесителя фирмы «Eirich», Германия, и установки затаривания) объем производства торкрет-масс достигнет 65 тыс. т. Ассортимент торкрет-масс основного состава для полусухого и мокрого торкретирования [9] в 2011 г. пополнился массой для сухого торкретирования рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей [10] (рис. 3). В настоящее время эта технология усилиями ряда фирм внедрена в ПАО «МК «Азовсталь», ОАО «Ижсталь», ПАО «Электросталь» (Украина). Представляется, что известные преимущества футеровки (низкие затраты энергии на ее разогрев, отсутст-

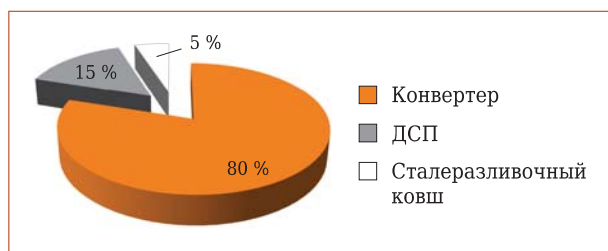


Рис. 4. Области применения высокомагнезиальных флюсов (2012 г.)

вие в составе огнеупорного материала воды и соответственно процесса насыщения непрерывнолитой заготовки водородом и т. д.) будут эффективно использованы и на других предприятиях. Группа «Магнезит» готова поставлять не только любые массы, но и торкрет-машины, специальные шаблоны и оказывать техническую помощь в реализации технологии торкретирования, выполнении футеровочных работ вплоть до организации сервисного обслуживания оборудования, горячего ремонта металлургических агрегатов. Производство изделий из сухих смесей основного состава (перегородки, металлоприемники, пороги и т. д.) организовано в ООО «НПК «Магнезит».

В последнее десятилетие в странах СНГ, как и в Китае, США, Японии, получили развитие два процесса: корректировка состава шлака в конвертере в период выплавки стали и раздув модифицированного шлака по окончании слива металла из конвертера. Для реализации обоих процессов разработано и организовано производство высокомагнезиальных флюсов различного состава на Саткинской производственной площадке Группы «Магнезит». Высокомагнезиальные флюсы не являются огнеупорным материалом, однако эффективны именно в металлургическом процессе. Теоретическое обоснование процессов и активное участие во внедрении технологии на металлургических предприятиях осуществляли сотрудники Уральского института металлургии (г. Екатеринбург). Естественно, внедрение было бы невозможно без участия инженерно-технических служб металлургических предприятий [11]. В последние годы принцип сближения фактической концентрации и концентрации насыщения MgO в шлаке успешно используется и в ДСП [12], и в сталеразливочных ковшах [13]. В 2011 г. объем производства флюсов различного качества и для различных агрегатов в Группе «Магнезит» превысил 445 тыс. т (рис. 4).

Технология применения флюса обычно оригинальна, так как реальные условия эксплуатации агрегатов различаются иногда существенно. Специалистами управления инжиниринга Группы «Магнезит» накоплен значительный опыт, что помогает в короткие сроки подобрать технологию применения флюса, а если необходимо, то и скорректировать состав флюса. Технология повышения стойкости футеровки конвертеров с использованием флюсов (корректировка состава шлака в процессе выплавки и при раздуве) используется практически на всех кон-

вертерах на территории СНГ. Число ДСП, в которых используются высокомагнезиальные флюсы, становится все больше, стойкость футеровки на ряде ДСП (ОАО НКМК, ОАО «Северский трубный завод» и т. д.) превысила 1500 плавов; развивается технология применения флюсов в сталеразливочных ковшах с увеличением стойкости шлаковых поясов на 15–25 %. Следует отметить, что и за рубежом продолжают работы по созданию и отработке технологии применения эффективных флюсов в металлургии [14, 15].

Естественно, для повышения стойкости футеровки конвертеров используют комплекс мероприятий [16, 17], включающий различные меры ухода за футеровкой: подварку; торкретирование наиболее изношенных участков футеровки, которые определяются с использованием инфракрасных и лазерных систем; корректировку состава шлака и его раздув. В 2011 г. максимальная стойкость футеровки 160-т конвертеров ОАО ЧМК превысила 8 тыс. плавов при средней стойкости 6,3 тыс. плавов, в ОАО ММК (375-т конвертеры) 5,6 тыс. плавов и в среднем по отрасли превышает 4500 плавов. В 2004 г. по отрасли стойкость футеровки конвертеров составляла 2,6 тыс. плавов [18]. В перспективе, по нашему мнению, предстоит переход от горячего ремонта с использованием подварки в конвертерах к точечному применению более эффективных саморастекающихся масс.

Основная доля затрат на огнеупоры на металлургических предприятиях приходится на углеродсодержащие огнеупоры для конвертеров, ДСП и сталеразливочных ковшей, а также на огнеупоры для промежуточных ковшей МНЛЗ и функциональные огнеупоры [19]. На территории СНГ сформировался (с опозданием в сравнении с Западной Европой и США на 10 и более лет) подход, обоснованный общемировой практикой, а теперь и практикой применения в отечественной металлургии тех или иных огнеупоров, подобранных в соответствии с условиями эксплуатации.

В дне сталеразливочных ковшей (в рабочем слое футеровки) используют огнеупорный бетон на основе корунда, табулярного глинозема, реже периклазоуглеродистые или иные углеродсодержащие огнеупоры, в стенах — алюмопериклазо- и периклазоалюмо- и периклазоуглеродистые изделия с использованием плавленного испеченного периклаза высокого качества, плавленного корунда, высокоплотного боксита, в шлаковом поясе — периклазоуглеродистые изделия на основе плавленного периклаза. В конвертерах применяют периклазоуглеродистые изделия на основе плавленного периклаза, стеновые изделия для ДСП также периклазоуглеродистого состава с использованием плавленного периклаза, подина выполняется из периклазовых набивных масс или периклазовых порошков. В рабочем слое футеровки промежуточных ковшей используется торкрет-масса периклазового или периклазофорситового состава, а арматурный слой футеровки выполняется из высокоглиноземистого бетона, чаще на основе андалузита. В технологии изготовления

функциональных огнеупорных элементов используют исключительно высококачественное сырье: табулярный глинозем, корунд, высокоплотный боксит, диоксид циркония и т. д. и, конечно, графит, как и во всех углеродсодержащих огнеупорах. Агрегаты типа RH футеруют исключительно высококачественными огнеупорами основного состава, и лишь внешнюю часть патрубка обычно изготавливают из низкоцементных масс на основе корунда (табулярного глинозема). Осуществляется переход к набивным массам в желобах доменного производства; при этом массы изготавливают на основе корунда, боксита, карбида кремния, а шахты доменных печей — все чаще торкретированием массами высокоглиноземистого состава.

В производстве цемента растет роль периклазошпинельных огнеупоров, основа которых — высококачественные периклаз и спеченная или плавная шпинель, причем шпинель не только глиноземистая ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), но и герцинит ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), и галаксит ($\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$); в воздухонагревателях стекловаренных печей растет доля периклазовых изделий на основе спеченного и плавного периклаза (97–98 % MgO) и с добавками $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, ZrO_2 , $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ и т. д. На территории СНГ лидеры в производстве периклазошпинельных огнеупоров — Группа «Магнезит» и ОАО БКО.

Не подтверждается мнение, что только в Китае могут производиться огнеупоры высокого качества, а производство огнеупоров в России находится в упадке [20]. По нашему мнению, помимо успешной Группы «Магнезит», и другие предприятия уверенно занимают определенные ниши в обеспечении металлургии, цементной, стекольной промышленности и других отраслей качественными огнеупорами.

СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для производства огнеупорных материалов необходимы и сырье, и технологии, гарантирующие получение продукции соответствующего качества. Текущие и предстоящие проблемы с сырьевыми материалами для производства огнеупорных материалов в последнее десятилетие постоянно в сфере внимания и производителей огнеупоров, и государственных структур, к сожалению, только за рубежом. Достаточно привести пример Евросоюза. Согласно инициативе CSMI/060 в 2008–2009 гг. проанализирован 41 сырьевой материал с точки зрения поставок, а также их экономической важности для оценки возможности эффективной замены того или иного вида сырья. Графит определен как критический материал с точки зрения надежности поставок; магнезит, хромит и боксит оценены как относительно критичные материалы [21]. Рынок сырьевых материалов давно превратился из рынка покупателя в рынок продавца.

Общеизвестно [22–24], что, обладая значительной долей производства таких материалов, как спеченный высокоплотный и плавный периклаз (70 и 85 % мирового производства), белый и коричневый корунд (70 и 50 %), алюмо- и хромпериклазовая шпинель, графит (до 80 %), а также контролируя 100 %

рынка поставок огнеупорных сортов боксита (месторождения в Китае и через фирму «Bosai Minerals Group») и добычу гайанских бокситов (Гайана, Южная Америка), Китай практически контролирует поставки этого сырья на мировом огнеупорном рынке. Экспортные лицензии на периклаз на 2013 г. ожидаются на уровне 50–70 долл./т. Экспортные квоты на 2012 г. на боксит были снижены на 15,6 %; произошло некоторое снижение квот на магнезиальные материалы при сохранении квот на карбид кремния. Если 10 лет назад возврат налога на добавленную стоимость при экспорте сырья составлял 17 %, то сегодня он равен нулю, т.е. его по факту оплачивает покупатель. Регулирование цены осуществляется с использованием экспортной пошлины: в 2007 г. на графит, магнезиальное сырье и коричневый плавный корунд она составляла 10, 5 и 0 % соответственно, в 2008 г. на те же материалы она составила 20, 10 и 15 % и сохраняется до сих пор.

Интересное сравнение произведено для двух предприятий одной металлургической группы в Европе [21], использующих периклазоуглеродистые огнеупоры в футеровке сталеразливочных ковшей. Одно предприятие («Siegen») приобретает огнеупоры в Китае, затраты на эти огнеупоры с 2006 по 2008 г. возросли на 20 % и стойкость футеровки с 2008 г. стабильна. Другое предприятие («Witten») приобретает аналогичные огнеупоры, производимые в Европе из китайского плавного периклаза, и цена на них за эти же годы не изменилась, но стойкость футеровки снижается. Очевидно, причина этого в том, что если ранее в Европу поставлялся плавный периклаз с содержанием MgO более 97 %, то теперь по той же цене можно приобрести периклаз формально той же марки, но с 96,7 % MgO . Ничего чудного не происходит — это стратегия потребителей огнеупоров на фоне реальной стратегии китайских производителей огнеупоров и сырья.

Руководство Китая говорит о неизбежном снижении тем или иным путем экспорта сырья для производства огнеупоров. Для этого есть и объективные причины: металлургия Китая развивается, необходимо заботиться об охране собственных сырьевых ресурсов; часть месторождений с наиболее качественным сырьем уже исчерпаны; закрываются наиболее экологически неблагополучные производства. Можно говорить о ресурсном национализме, а можно говорить о заботе о собственных производителях металла. Но при этом нет никаких препятствий для экспорта из Китая огнеупорной продукции более глубокой переработки — огнеупорных масс и изделий. Объем экспорта огнеупорной продукции из Китая в 2010 г. составил 5,9 млн т по сравнению с 3,7 млн т в 2009 г.

Предпринимаются усилия по расширению сырьевой базы огнеупорной промышленности за пределами Китая. Наиболее активно осуществляется замена боксита. Расширяется производство андалузита в Южной Африке — фирмы «Damrec» и «Andalusite Resources» (последняя производит андалузит под фирменной маркой Марлузит) и в Перу — фирма

«Andalucita S. A.». Андалузит — высокочистый минерал (59–60 % Al_2O_3), способен заменить боксит и даже имеет преимущество в некоторых технологиях. Расширяется производство табулярного глинозема (99,5 % Al_2O_3), получаемого в процессе высокотемпературного обжига глинозема в шахтных печах. В 2012 г. лидер в производстве табулярного глинозема — фирма «Almatis» ввела в эксплуатацию третью производственную линию, которая позволит увеличить производство глинозема, а также спеченной высокочистой шпинели еще на 75 тыс. т в год. В ООО «Кералит» в 2013 г. начато производство табулярного глинозема мощностью до 25 тыс. т в год. В «Almatis» организовано производство заменителя корундового корунда — продукта марки BSA 96. Результат не замедлил сказаться: в четвертом квартале 2011 г. цены на китайский боксит начали снижаться на фоне избытка экспортных лицензий; далее китайское правительство снизило экспортную квоту на боксит с 830 тыс. т в 2011 г. до 700 тыс. т в 2011 г., пытаясь сбалансировать рынок и поддерживать уровень цены [25]. В ОАО БОЗ производятся высокоглиноземистые огнеупоры высокого качества с использованием отечественных бокситов. Более того, в России на Тимано-Печорском месторождении (Республика Коми) имеются бокситы огнеупорного качества; доказана возможность их использования взамен импортных, и в ближайшее время изделия с использованием российского обожженного боксита, очевидно, займут определенную нишу в металлургии.

В России существуют традиционные технологии производства высокоглиноземистого шамота (от 61 до 90 % Al_2O_3) с использованием глинозема и огнеупорной глины через обжиг валяшки (брикета) во вращающейся печи. В советские времена это производство успешно работало на Семилукском и Богдановичском огнеупорных заводах, на Боровичском комбинате, а также на ряде украинских предприятий. В настоящее время такое производство может быть в России экономически обоснованным вследствие низких цен на природный газ. В Великобритании, как известно, изготавливается аналог высокоглиноземистого шамота под брендом Mulcoa. На территории СНГ существуют два производства белого корунда — ТОО «Казогнеупор» (Казахстан) и ОАО «Бокситогорский глинозем».

Добыча и обогащение графитсодержащих руд с учетом роста цены и перспектив роста потребления в производстве литий-ионных батарей в мире интенсивно развиваются. Анонсированы проекты организации производства графита (процесс обогащения графитсодержащей руды с содержанием графита 12–16 %) на территории Австралии и ряда стран Африки, в Канаде, Бразилии (фирма «Magnesita» — в шахте) и в России (Группа «Магнезит» — открытым способом).

В производстве и поставках динасовых огнеупоров для футеровки воздухонагревателей доменных печей и коксовых батарей существует известная конкуренция поставщиков: ОАО «Динур», двух украинских предприятий — ПАО «Красноармейский динасовый завод» и ПАО «Красногоровский огне-

упорный завод» с китайскими производителями динасовых изделий. Имеется достоверная информация об успешном продвижении индийской динасовой продукции на рынки Европы. Российское и украинские предприятия не испытывают проблем с сырьем (кварцитами) для производства динасовых материалов.

Основа наиболее востребованной огнеупорной продукции — периклаз, источником которого являются природные магнезиты (Россия, Китай, Австралия, Турция), а также магнийсодержащие соли, извлекаемые из морской воды (Ирландия, США, Япония, Норвегия), или бишофит (магнийсодержащая соль), извлекаемый через скважины с глубины 400–600 м (производитель — фирма «NedMag», Нидерланды, 100 тыс. т в год, в перспективе — производство в России и, возможно, в Украине, где есть эксплуатируемые скважины). На территории Украины в советское и постсоветское время производилось значительное количество магнезиальных огнеупоров с использованием российского и северокавказского, турецкого и словацкого обожженного периклаза. Но это производство огнеупоров среднего качества, потребность в которых непрерывно снижается. В Украине имеются магнезиально-силикатные породы, пригодные для производства форстеритовых огнеупоров [26], однако сфера применения их в металлургии весьма ограничена.

Возможен и рост производства на территории СНГ углеродсодержащих функциональных огнеупоров для МНЛЗ и шиберных затворов. В то же время существующие мощности по производству стопоров-моноблоков, труб для защиты струи металла, погружаемых стаканов и стаканов-дозаторов в ОАО «Динур» и ОАО БКО не исчерпаны. Ограничителем производства этих огнеупоров и шиберных плит помимо высоких требований потребителей к качеству изделий может быть то, что в ряде случаев (устройства быстрой замены погружаемых стаканов, плиты для шиберных затворов фирм RHI и «Vesuvius») форма изделий запатентована иными фирмами на территории России и Украины.

В жестких условиях конкуренции основные изготовители периклазоуглеродистых огнеупоров, в первую очередь RHI, «Magnesita», Группа «Магнезит», принимают меры к вертикальной интеграции, а именно приобретают и развивают мощности по добыче магнезиального сырья и производству полуфабрикатов: спеченного и плавленного периклаза, шпинели различного качества. Руководство первых двух компаний считает достаточным самообеспечение огнеупорным сырьем и полуфабрикатами на уровне не менее 80 % [27]. Группа «Магнезит» в последние 4–5 лет интенсифицирует развитие сырьевой базы на территории России, не только расширяя добычу магнезита, в первую очередь высокого качества, но и совершенствуя агрегаты обжига и плавки для снижения пылевых выбросов и затрат на дорожающие энергоресурсы.

Хронология реализованных и планируемых мероприятий в области расширения сырьевой базы Груп-

пы «Магнезит» согласно долгосрочной Инвестпрограмме:

2008 г. — введен в эксплуатацию комплекс оборудования на Саткинской производственной площадке мощностью 50 тыс. т высокоплотного спеченного периклаза. Предварительно восстановлена вращающаяся печь для каустизации магнезита. Печь оборудована эффективной горелкой фирмы «Unitherm Semcon» (Австрия), что позволяет снизить расход природного газа на 5–7 % на 1 т готовой продукции и произвести продукт с фиксированными потерями массы при прокаливании. При реконструкции печь оснащена современной системой газоочистки фирмы «Scheuch GmbH» (Германия). В состав комплекса входят агрегат тонкого помола фирмы «Hosokawa Alpina» (Германия), брикетировочные прессы фирмы «Hosokawa Verex» (Германия), высокотемпературная шахтная печь фирмы RCE (Австрия) и дробильно-сортировочный комплекс фирмы MFL (Австрия);

2012 г. — введены в эксплуатацию Саткинский карьер в Нижнем Приангарье (230 тыс. т сырого магнезита высокого качества с удвоением добычи к 2014 г.), две шахтные печи фирмы «Polysius» (Германия) для каустизации добываемого магнезита (96,5–97,0 % MgO) (рис. 5);

2012 г. — начало проектирования комплекса добычи магнезита высокого качества в открытом карьере Тальского месторождения. Предполагаемый ввод в эксплуатацию в 2015–2016 гг.;

2013 г. — завершается строительство на Саткинской производственной площадке второго комплекса производства высокоплотного спеченного периклаза (мощность 80 тыс. т). В составе: многоподовая (рис. 6) и высокотемпературная шахтная печи фирмы «Polysius», помольный агрегат, брикетировочные прессы;

2013 г. — завершение реконструкции цеха плавящихся порошков с удвоением производственных мощностей (не менее 50 тыс. т плавленного периклаза и периклазохромита, а также до 20 тыс. т плавленной алюмомагнезиальной шпинели); перевод действующего производства от плавки периклаза (пгт. Раздолинск, Красноярский край) на плавку каустического магнезита, что позволит существенно увеличить как объем производства, так и качество плавленного периклаза;

2013 г. — завершение проектирования и начало строительства нового современного цеха плавящего периклаза (50 тыс. т). В качестве плавильных агрегатов будут использоваться печи фирмы «SMS Semag» (Германия); инжиниринг осуществляют специалисты челябинской фирмы «Аконт» и ОАО «Комбинат «Магнезит». Поэтапный ввод в эксплуатацию цеха предполагается в 2014 г.;

с 2013 г. — расширение добычи магнезита в шахте Магнезитовая на Саткинской производственной площадке с вводом в эксплуатацию 100-го горизонта и увеличением добычи до 1,6 млн т магнезита в год;

2014 г. — ввод в эксплуатацию многоподовой печи каустизации магнезита в Нижнем Приангарье (100 тыс. т в год).



Рис. 5. Шахтные печи каустизации магнезита



Рис. 6. Строительство многоподовой печи в ОАО «Комбинат «Магнезит» (август 2012 г.)

Для повышения качества производимой продукции дробильно-сортировочные комплексы на Саткинской и Нижне-Приангарской производственных площадках с 2011 г. оборудуются лазерными анализаторами (спектрометрами) израильской фирмы «Laser Distance Spectrometry» для определения хи-

мического состава магнезита в потоке (на транспортной ленте). Добыча магнезита в открытых карьерах на Саткинской производственной площадке будет продолжена.

Осуществляются доразведка и проектирование карьера и обогатительной фабрики на Дальнем Востоке, где планируется добыча графита, в том числе сортов, пригодных для огнеупорного производства. Группа «Магнезит» развивает также производство плавящихся шпинелей как периклазохромитового, так и алюмопериклазового состава на Саткинской производственной площадке для обеспечения производства на всех предприятиях Группы. Таким образом, Группа «Магнезит» стремится к обеспечению собственного производства в первую очередь углеродсодержащих огнеупоров на Саткинской производственной площадке, в ПАО «Пантелеймоновский огнеупорный завод» и на «Slovmag A. S.» собственным сырьем не менее чем на 80–90 %. Принимаемые меры позволяют не только снять зависимость от слабо прогнозируемых поставок периклаза и графита из-за рубежа, но и иметь продукт гарантированного качества и по прогнозируемым ценам.

Естественно, конкуренты Группы «Магнезит» не стоят на месте. С учетом опережающего роста потребности в огнеупорах на основе плавящихся материалов все фирмы в поиске собственных источников этих материалов. В RHI в 2012 г. введено в эксплуатацию предприятие в Норвегии производительностью 80 тыс. т плавящего периклаза; на предприятии фирмы «Kutmas» (Турция) производство плавящего периклаза увеличено с 17,5 до 52,5 тыс. т. Реализуются соответствующие программы и иными производителями огнеупоров. Однако поколебать позиции мирового лидера — китайских производителей, которые в 2011 г. экспортировали 345 тыс. т плавящего периклаза (в том числе в Россию 21,1 тыс. т и в Украину 1,7 тыс. т) и значительный объем периклазоуглеродистых огнеупоров на основе плавящего периклаза, в ближайшее время затруднительно. Даже с учетом растущего потребления этого продукта китайской огнеупорной промышленностью.

ООО «Кералит» в первом квартале 2013 г. вводит в эксплуатацию высокотемпературную шахтную печь мощностью 25 тыс. т табулярного глинозема. Это позволит предприятию существенно снизить зависимость производства корундовых и корундопериклазовых (корундошпинельных) и других сухих смесей для бесцементных и низкоцементных бетонов от поставок табулярного глинозема из-за рубежа.

В ОАО БКО не первый год производятся высокоглиноземистый цемент марки Cembor и активный глинозем (с размером частиц <2 мкм), что позволяет снизить зависимость производства неформованных огнеупорных материалов и изделий из них от поставок сырья из Европы и Китая.

ЭКОНОМИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вопрос оптимизации стойкости теплового агрегата, футерованного огнеупорами, становится для метал-

лургов все более актуальным. Традиционно критерием экономичности применения огнеупоров является снижение удельного расхода огнеупоров на 1 т стали; в Японии, например, этот показатель с 15 кг/т стали в 1980 г. снизился с учетом импортных огнеупоров до 9,0–10,5 кг/т стали. В настоящее время в Китае за этот же период удельный расход огнеупоров снизился с 55 до 20 кг/т стали. В России и Украине данные, касающиеся экономических выкладок, редко становятся достоянием гласности. По нашим данным, для ряда электросталеплавильных предприятий удельный расход огнеупоров 8–10, а для конвертерного производства 10–12 кг/т стали уже является нормой.

Роль корректной оценки экономической эффективности при балансировании показателей стойкости футеровки (дополнительно произведенный металл) — расход огнеупорных материалов (затраты на тонну стали) плюс трудозатраты и затраты времени на ремонт и т. д. очень важна. Представляется, что, как и в ряде стран за рубежом, при оценке эффективности применения огнеупорных материалов в настоящее время целесообразно использовать методику оценки совокупной стоимости владения (TCO — Total Cost of Ownership), определяемую как сумма прямых, эксплуатационных и косвенных затрат, которые несет владелец футеровки теплового агрегата за период ее жизненного цикла с учетом потерь производства от простоев и выигрыша от дополнительно произведенного металла. Более корректной представляется оценка затрат на огнеупоры на 1 т стали. Доля стоимости футеровки тех или иных агрегатов на металлургических предприятиях, естественно, известна, но относится к материалам, не подлежащим опубликованию в открытой печати.

Экономика процессов ухода за футеровкой, корректное определение безубыточности применения тех или иных огнеупорных материалов и схем футеровки металлургических агрегатов, технологий горячего ремонта требуют системного подхода. Только используя комплексный подход (например, TCO), можно обсуждать реальное соотношение цена : качество огнеупорного материала с учетом суммы факторов, касающихся улучшения условий службы, качества огнеупорных материалов и выполнения футеровки, а также следует учитывать эффективность технологии эксплуатации. При этом детали не следует упускать. Особенно это важно при оценке эффективности применения в технологии обожженных извести и доломита, кое-где сырого доломита, высокомагнезиальных флюсов, в том числе для раздува шлака, подварки, торкретирования и других операций. Например, японские исследователи показали, что использование обожженного доломита и периклазового порошка (обоженного) в качестве флюса для повышения содержания MgO в шлаке (в конвертере) неэффективно, поскольку не препятствует растворению периклазоуглеродистых изделий футеровки в шлаке $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ [28]; эффективен же флюс, содержащий ферриты магния и кальция. Тем самым подтверждены выводы специалистов Уральского института металлов, сделанные ранее.

В конвертерном производстве СНГ присутствуют два подхода: европейский — использование высококачественных дорогостоящих огнеупоров, футеровка подвергается в процессе эксплуатации минимальному уходу, а ее стойкость составляет 3–4 тыс. плавов и американско-азиатский — значительное число операций поддержания футеровки в рабочем состоянии без остановок на перефутеровку при стойкости 5–9 тыс. плавов. По нашему мнению, обе технологии актуальны, но для осознанного выбора нужно выполнить корректные расчеты, в том числе с учетом требований к качеству производимого металла и цены на все используемые материалы, в том числе собственного производства.

На ESI (Канада) стойкость конвертеров экономически обоснована с учетом отработанной системы ухода за футеровкой и четкой работы технологического персонала — одна перефутеровка в год (в цехе 2 конвертера, производительность цеха 3,5 млн т в год) [29]. Оригинальный подход к решению проблем с футеровкой различных агрегатов демонстрирует «Baoshan Iron & Steel Co.», Ltd (Китай) [30], предприятие одного из крупнейших производителей стали в мире — компании «Baosteel». В группе компаний сформулирован режим стратегических контрольных закупок огнеупорных материалов, который предполагает совместное участие заказчика и поставщика огнеупоров в комплексе работ инжинирингового плана, в разработке технологии эффективного применения огнеупорных материалов. Из последних работ: мокрое торкретирование футеровки сталеразливочных ковшей на участках локального износа, использование высокоглиноземистого бетона в арматурном (контрольном) слое футеровки сталеразливочного ковша, использование вместо теплоизоляции на основе волокна в различных агрегатах плит с низкой теплопроводностью, бесхромистые огнеупоры в вакууматорах и т. д.

Цены на огнеупорное сырье растут существенно быстрее, чем на другие материалы, используемые в производстве металла: на железорудное сырье и уголь. Высокие цены на импортный плавильный и высококачественный плотноспеченный периклаз, а также графит предопределили прекращение производства периклазоуглеродистых огнеупоров в ОАО БКО, ОАО «Динур» и ОАО СОЗ. Именно поэтому периклазоуглеродистые огнеупоры высокого качества из китайского сырья, даже с добавкой спеченного периклаза иного происхождения, производимые на предприятиях Украины, вероятно, не будут конкурентоспособны огнеупорам китайского или российского производства аналогичного качества. Исключение — ПАО ПОЗ, который будет работать по технологии Группы «Магнезит» и с использованием периклаза, производимого и поставляемого Группой «Магнезит».

Цены на огнеупорные материалы чувствительны к изменению цен на энергию, железнодорожные перевозки, так как доля последних в калькуляции значительна. Цена на газ и электроэнергию, по данным Высшей школы бизнеса МГУ им. М. В. Ломоносова, демонстрирует уверенный рост на территории Рос-



Рис. 7. Один из энергоблоков мощностью 12 МВт

сии, что позволяет Европейскому банку реконструкции и развития говорить о перспективе 10 % роста цены на энергоресурсы ежегодно до 2020 г. [31]. Группа «Магнезит» в 2012 г. завершает ввод в эксплуатацию двух энергоблоков (газопоршневых электростанций по три в одном блоке) общей мощностью 25 МВт (рис. 7), что на 60 % покрывает потребности в электроэнергии предприятий Саткинской производственной площадки.

В условиях дефицита сырья важно максимально осуществлять рециклинг огнеупоров. Есть два варианта: прямое использование огнеупоров после службы в тепловом агрегате с другой целью и использование при изготовлении нового продукта (формованного или неформованного). В последнем случае обязательны очистка материала от посторонних включений, дробление, фракционирование, смешивание, формование и термообработка; естественно, две последние операции типичны для получения формованных изделий. Первый вариант в металлургии СНГ реализуется часто — например, использование периклазоуглеродистых огнеупоров после службы в качестве подварки в конвертерах. Представляется, что это малоэффективное решение, поскольку в процессе службы огнеупора в агрегате (в конвертере, ДСП, сталеразливочном ковше) связующее уже скоксовано и при попадании на ремонтируемую поверхность агрегата не способно к растеканию по ремонтируемой поверхности. Однако после дробления с добавлением углеродистого, чаще термoplastического связующего огнеупорный материал приобретает пластичность при нагревании и формирует на футеровке слой повышенной стойкости. Часто периклазовые изделия после службы используют в качестве модификатора шлака, огнеупорных засыпок, периклазоуглеродистые — для приготовления стартовых засыпок для ДСП; в качестве компонента торкрет-масс можно использовать дробленый огнеупор фракции 1–5 мм для мокрого торкретирования и мельче 1 мм для сухого.

С эффективностью эксплуатации футеровки, с затратами на ее выполнение неразрывно связаны также вопросы применения того или иного оборудования: торкрет-машин для выполнения рабочего слоя футеровки шахт доменных печей, газоходов, проме-

жуточных ковшей МНЛЗ, для горячего ремонта желобов в доменном производстве, патрубков вакууматоров, футеровки сталеразливочных ковшей, ДСП и конвертеров, а также чугуновозных ковшей и коксовых батарей; смесителей с возможностью подачи массы на бетонируемые участки; бросковых машин для набивки подин (откосов) ДСП; агрегатов сушки и разогрева футеровки. Применение оборудования для контроля остаточной толщины футеровки позволяет ремонтировать наиболее изношенные участки футеровки, тем самым снижаются удельный расход торкрет-масс и время, затрачиваемое на выполнение операции. Применение низкоцементных и ультранизкоцементных огнеупорных бетонов требует тщательного дозирования воды в смеситель и перемешивания компонентов за фиксированное время. В современных агрегатах приготовления огнеупорного бетона влажностью до 4,5 % применяется оборудование, в котором точность дозирования составляет 0,1 % (абс.). Результат: стойкость арматурного слоя футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ превышает 1000 плавов, с использованием корундоперилазовых и корундошпинельных бетонов выполняются футеровка дна и стен сталеразливочного ковша, наружной стенки патрубка вакууматора, а также футеровочные работы в прокатном производстве и т. д. Следует упомянуть также современное оборудование для разрушения футеровки после вывода агрегата из эксплуатации, применение которого снижает трудозатраты и ускоряет процесс. Автоматизированные агрегаты сушки и разогрева футеровки ковшей комплектуются устройствами для дожигания (окисления) органических соединений, выделяющихся из футеровки при повышенных температурах. В последнее десятилетие на металлургических предприятиях осуществляется переход к использованию шиберных затворов с плитами многократного применения; обычно стойкость 3–5 плавов. С увеличением стойкости плит в шиберных затворах также решается задача ускорения оборачиваемости сталеразливочных ковшей.

ЧИСТАЯ СТАЛЬ

Роль огнеупорных материалов в производстве стали не ограничивается защитой металлического корпуса агрегата от воздействия жидкого металла и шлака. Мировая практика развития металлургии демонстрирует все большую важность огнеупорных материалов в достижении экономических преимуществ, в том числе в создании условий производства металла заданного качества. Все чаще рассматривается важность огнеупорных материалов для получения «чистой стали» с пониженным содержанием неметаллических включений, являющихся причиной дефектов конечной продукции [32–34].

Конструкция футеровки и качество используемых в ней огнеупорных материалов рассматриваются как обязательное условие при разработке и реализации технологии производства качественного металла. Например известные требования к автолисту: $\leq 0,003 \text{ \% [C]}$, $\leq 0,0025 \text{ \% [O}_{\text{общ}}]}$, $\leq 0,006 \text{ \% [S]}$, $\leq 0,005 \text{ \% [P]}$.

Выполнение этих требований достижимо при использовании ряда известных технологических приемов: десульфурации чугуна и стали, внепечной обработки стали, предотвращения процессов науглероживания и вторичного окисления компонентов стали на всех этапах ее производства. Процесс десульфурации чугуна в чугуновозных ковшах, ковшах перелива чугуна в конвертеры, в передвижных миксерах «торпедо» реализован с использованием длинномерных фурм, футерованных огнеупорным бетоном; аналогичные изделия используются также в УДМ в сталеплавильных цехах в технологии подогрева стали, а иногда для аргонной продувки. Стойкость фурм на установках десульфурации превышает 1000 мин, что позволяет эффективно использовать эти агрегаты и в России: в ОАО НТМК, ОАО ММК, ОАО НЛМК, а также на украинских предприятиях: ПАО «МК «Азовсталь», ПАО «Алчевский металлургический комбинат». На металлургических предприятиях эксплуатируются более десяти установок RH, несколько десятков агрегатов LF-VD, LF-VOD в конвертерных и электросталеплавильных цехах, а также АКР и ГКР. Наиболее сложным с точки зрения выполнения футеровки представляется агрегат типа RH, причем обычно для глубокого обезуглероживания осуществляется вдувание кислорода в металл во всасывающем патрубке, что способствует снижению стойкости футеровки. При производстве стали без фаз внедрения, например LF, кислород вдувается также через верхнюю фурму в агрегатах как RH, так и LF-VOD.

Вакуумная дегазация, удаление неметаллических включений, углерода, серы, фосфора, кремния, контролируемое раскисление и модифицирование стали требуют использования агрегатов, футерованных высококачественными огнеупорными материалами. Более того, в определенных условиях необходимо применение конкретных видов материалов. Футеровки приобретают вид многослойных, рассчитанных и с точки зрения теплотехнических и механических напряжений, с учетом различных условий, влияющих на агрессивный характер воздействия шлакометаллического расплава на футеровку, в том числе в условиях вакуума, создаваемого в футеровке.

Наиболее изнашиваемая часть агрегата RH — патрубок, футеруемый шлифованными огнеупорными изделиями изнутри и корундошпинельным бетоном снаружи. В процессе эксплуатации вакууматора осуществляется горячий ремонт патрубка как изнутри, так и снаружи торкретированием с использованием высокостойких торкрет-масс. Требуемая стойкость патрубков — 100–200 плавов в зависимости от множества эксплуатационных факторов. Группа «Магнезит» — единственный изготовитель и поставщик комплекса огнеупоров для футеровки агрегатов RH на постсоветском пространстве, включая разнообразные формованные и неформованные материалы, изготавливаемые из отечественного сырья.

Внепечная обработка металла в сталеразливочном ковше также требует решения некоторых технических задач. Например, для производства стали



Рис. 8. Промежуточный ковш МНЛЗ с установленными огнеупорными изделиями для изменения направления потоков металла

глубокого обезуглероживания футеровки сталеразливочного ковша требуются изделия с пониженным содержанием углерода (3–4 % вместо 7–8 % в обычных изделиях для стен сталеразливочных ковшей). Японские исследователи видят перспективу в создании периклазоуглеродистых огнеупоров с заменой графита в составе шихты на наноразмерный углерод, что позволит получить изделия, высокостойкие к воздействию расплава стали и шлака, с содержанием 2,5–3,0 % углерода, но при этом обладающие низкой теплопроводностью, высокой термостойкостью и не оказывающие науглероживающий эффект на транспортируемый и обрабатываемый металл [35, 36].

Рафинирование металла в сталеразливочном ковше включает процессы перемешивания жидкой ванны для ускорения скорости реакций, усреднения химического состава и температуры по объему в процессе рафинировочных процессов. Процесс обычно реализуется с использованием донной продувки в сталеразливочных ковшах. Соответствующие функциональные огнеупоры поставляются на металлургические предприятия из-за рубежа, но уже есть ряд предприятий — производителей донных фурм достойного качества и в России, и в Украине.

Футеровка неизбежно разрушается в процессе эксплуатации всех агрегатов при контакте с жидким металлом и шлаком и является одним из источников неметаллических включений, снижающих чистоту стали; важно удалить максимальное число включений на последней стадии сталеплавильного процесса — во время разливки металла.

Библиографический список

1. **Сигал, Е.** Много шума из ВТО / Е. Сигал // Коммерсант деньги. — № 20, (877), 21.05–27.05.2012. — С. 26–29.
2. **Buchner, H. -J.** Steel consumption and global refractory brick demand — a stagnated markets? / H. -J. Buchner // Refractories Worldforum. — 2013. — Vol. 5, № 1. — P. 29–34.
3. **Аксельрод, Л. М.** Развитие производства огнеупоров в мире и в России, новые технологии / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2011. — № 3. — С. 106–119.
4. **Bolder R.** North American Refractories. All Changes at the Top / R. Bolder // Industrial Minerals. — 1999. — № 1. — P. 25–35.

Наиболее интенсивно прорабатываются конструктивные решения промежуточных ковшей МНЛЗ и функциональных элементов, связанных с процессами, протекающими как в промежуточном ковше, так и в стопорно-дозировочном разливочном узле, в том числе вплоть до распределения металла в кристаллизаторе. Промежуточный ковш давно утратил функцию исключительно распределителя металла в кристаллизаторы; все чаще он применяется как рафинирующий агрегат. Современная футеровка промежуточного ковша сухими массами позволяет избежать перехода в сталь водорода, особенно на первой плавке.

Применение металлоприемников-турбостопов, перегородок, порогов, вдувание аргона через дно, в перегородку или в зону стопорно-дозировочного узла промежуточного ковша (рис. 8) создает условия для всплывания неметаллических включений к сорбирующему покровному шлаку в промежуточном ковше [37, 38]. Разнообразные способы подвода металла в кристаллизатор с использованием особой конструкции погружаемых стаканов [39–41] позволяют создать условия для всплывания неметаллических включений в кристаллизаторе. Особая роль отводится устранению контакта разливаемого металла с кислородом, а иногда и с азотом на всех стадиях перелива металла (герметизация стыков огнеупоров, создание в сталеразливочном канале избыточного давления с использованием аргона и т. д.). Таким образом, сформировалось новое направление: огнеупорные материалы для производства чистой стали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях возрастающей конкуренции при постоянной тенденции к повышению требований к качеству продукции и сокращению издержек работа на рынке становится все более сложной. Развитие отечественной огнеупорной промышленности вообще и каждого предприятия в отдельности определяется комплексом факторов: эффективностью взаимодействия производителей огнеупоров и инженерных служб потребителей огнеупоров, организацией производства огнеупорных материалов мирового уровня с приемлемой себестоимостью, умения оказывать инжиниринговые и сервисные услуги и формировать доказательную базу экономической эффективности применения огнеупоров своего производства.

5. **Токарев, А. В.** Огнеупоры в металлургии: от логистики и обслуживания к инновационному сервису / А. В. Токарев, М. Х. Шаимов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 6. — С. 141–144.
6. **Schmidt-Whitley, R.** The Success Story of European Refractories / R. Schmidt-Whitley // Refractories Worldforum. — 2012. — Vol. 4, № 2. — P. 37–40.
7. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические и огнеупорные материалы. Избранные труды. Т. 2 / Ю. Е. Пивинский. — СПб.: Стройиздат, 2003. — 688 с.
8. **Пивинский, Ю. Е.** Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном

материаловедении / Ю. Е. Пивинский. — СПб.: Политехника, 2012. — 682 с.

9. **Ильянкин, А. В.** Организация производства торкрет-масс различного назначения в ООО «Магнезит-торкрет-массы» / А. В. Ильянкин, Е. Н. Поспелова, А. Н. Амурзаков // Новые огнеупоры. — 2010. — № 4. — С. 32–36.

10. **Аксельрод, Л. М.** Внедрение технологии изготовления рабочей футеровки промковшей «сухими» массами / Л. М. Аксельрод, Н. В. Горелов, Е. М. Сладков // Металл и литье Украины. — 2010. — № 9/10. — С. 11–14.

11. **Демидов, К. Н.** Технология производства высокомагнезиальных флюсов и повышение стойкости футеровки при их использовании в конвертерной плавке (сообщение 1 и 2) / К. Н. Демидов, Л. А. Смирнов, А. П. Возчиков [и др.] // Сталь. — 2011. — № 11. — С. 21–27; № 12. — С. 10–16.

12. **Аксельрод, Л. М.** Повышение стойкости футеровки ДСП путем использования $MgO-CaO$ флюса / Л. М. Аксельрод, М. Б. Оржих, И. В. Кушнерев // Электрометаллургия. — 2009. — № 11. — С. 9–13.

13. **Оржих, М. Б.** Практика применения магнезиальных модификаторов шлака в электрошлаковых печах и сталеразливочных ковшах / М. Б. Оржих, Л. М. Аксельрод, М. Б. Турчин [и др.] // Новые огнеупоры. — 2011. — № 6. — С. 56–58.

14. **Brugman, C.** Contribution to the slagging of MgO in secondary metallurgical slags / C. Brugman // Refractories Worldforum. — 2011. — Vol. 3, № 1. — P. 105–109.

15. **Wohmeyer, G.** The impact of Synthetic slags on steel ladle refractory life time / G. Wohmeyer, T. Elorza-Ricard, R. Joilly [et al.] // 51rd International Colloquium on Refractories, 2008, Aachen, Germany, 15–16 October, 2008. — P. 80–83.

16. **Вислогузова, Э. А.** Повышение стойкости металлургических агрегатов за счет использования новых огнеупоров и схем футеровки / Э. А. Вислогузова, А. В. Шкляев // Труды XI конгресса сталеплавателей, г. Нижний Тагил, 3–8 октября 2010 г. — М.: Черметинформация, 2011. — С. 307–311.

17. **Аксельрод, Л. М.** Повышение стойкости футеровки конвертеров: огнеупоры, технологические приемы / Л. М. Аксельрод, А. В. Лаптев, В. А. Устинов [и др.] // Металл и литье Украины. — 2009. — № 1 / 2. — С. 9–15.

18. **Иванова, И. М.** Работа конвертерных цехов на заводах России / И. М. Иванова // Бюл. Черная металлургия. — 2012. — № 5. — С. 3–10.

19. **Аксельрод, Л. М.** Выплавка стали, применение огнеупорных материалов, корректировка тенденций, прогноз / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 117–131.

20. **Минаев, Д.** Огнеупорный рынок / Д. Минаев, И. Рябов, С. Костюченко // Металлоснабжение и сбыт. — 2012. — Июль – август. — С. 116–121.

21. **Baaske, A.** Refractory Raw Materials — Developments, Trends, Availability / A. Baaske, R. Dubers, J. Fandrich [et al.] // Refractories Worldforum. — 2012. — Vol. 4, № 1. — P. 27–34.

22. **Ming, Xin.** China's refractories production and International trade / Xin Ming, Pan Shangxin, Fu Lili, Li Chaowen // China's Refractories. — 2011. — № 3. — P. 1–5.

23. **Dianli, Hu.** Production and running status of China's refractories and main downstream industries in 2010 / Hu Dianli, Sun Hefei // China's Refractories. — 2011. — № 2. — P. 1–7.

24. **Roberts, J.** Alumina's balancing act // J. Roberts // Industrial Minerals. — 2010. — № 9. — P. 58, 59.

25. **O'Driscoll, M.** China announces export quotas for 2012 / M. O'Driscoll, J. Roberts // Industrial Minerals. — 2012. — № 1. — P. 10.

26. **Примаченко, В. В.** Исследование пригодности магнезиально-силикатных пород Сухохоторского месторождения для изготовления форстеритовых огнеупоров / В. В. Примаченко, В. В. Мартыненко, Ю. А. Спирин [и др.] // Металлургия и горнорудная промышленность. — 2011. — № 5. — С. 60–63.

27. Weighing the alternatives // Industrial Minerals. — 2010. — № 10. — P. 55, 58, 61.

28. **Maruoka, N.** Competitive Dissolution of MgO from Flux and Refractory / N. Maruoka, N. Ishikawa, H. Shibata, S. Kitamura // UNITECR 2011, 30 October – 2 November, 2011, Kyoto, Japan, 1-E-17.

29. **Ugnadpada, K.** Production improvement of N. 2 BOSP at ESAI / K. Ugnadpada, S. Briglio, G. Mohammed // Iron and Steel Technology. — 2010. — № 11. — P. 59–64.

30. **Yiyu, Z.** Research on refractories technology to meet the demands of steel-making process / Z. Yiyu, M. Jining, S. Zhongming // China's Refractories. — 2011. — № 4. — P. 15–21. (перевод ОАО «Черметинформация» № 25937).

31. **Beauman, C.** The Economics of Green Technologies, International Climate Policy and Russian Steel / C. Beauman // Metall Bulletin & Eurasian Metals, 9th Steel Summit, 7–8 June 2011, Moscow.

32. **Lin, Y.** Roles and progress of refractories for clean steel technology / Y. Lin // China's Refractories. — 2011. — Vol. 20, № 2. — P. 8–15.

33. **Choudhary, S. K.** Influence of modified casting practice on steel cleanliness / S. K. Choudhary // ISIJ International. — 2011. — Vol. 51, № 4. — С. 557–565 (Новости черной металлургии за рубежом. — 2011. — № 6. — С. 45–50).

34. **Kunz, G.** Ladle refractories for clean steel production / G. Kunz // RHI Bulletin. — 2010. — № 2. — P. 30–40.

35. **Мацуи, Т.** Характеристики и использование магнезиальноуглеродистых изделий, полученных с применением нанотехнологий / Т. Мацуи, К. Гото, Я. Ямада [и др.] // Новые огнеупоры. — 2006. — № 12. — С. 61–64.

36. **Fukahara, C.** Properties of $MgO-C$ -bricks with added carbon nano-fibers / C. Fukahara, M. Tanaka, J. Yoshitomi [et al.] // Taikabutsu-Refractories, 2010. — Vol. 62, № 3. — С. 136.

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

38. **Вдовин, К. А.** Проектирование рафинирующих устройств современных промежуточных ковшей МНЛЗ / К. А. Вдовин, В. В. Точилкин // Сб. докладов «Международный симпозиум посвященный комплексной переработке техногенных отходов металлургического производства», Москва, 8 октября 2009 г. — С. 324–348.

39. **Пат. 2167031 Российская Федерация**, В 22 Д. Глуходонный погружаемый стакан / Носов С. К., Кузовков А. Я., Ильин В. И. [и др.] ; опубл. 29.02.00.

40. **Смирнов, А. Н.** Погружные стаканы для непрерывной разливки слабов на МНЛЗ / А. Н. Смирнов, А. П. Верзилов // Бюл. Черная металлургия. — 2011. — № 9. — С. 42–51.

41. **Кель, Р.** Улучшение качества специальных сталей в результате использования погружных стаканов FOSULIS конструкции TECHCOM / Р. Кель, В. Эндерс, И. А. Бондаренко // Металлург. — 2012. — № 7. — С. 36–39. ■

Получено 04.02.13
© Л. М. Аксельрод, 2013 г.

К. Т. Н. К. В. Волков, Е. П. Кузнецов, Н. С. Анашкин, О. В. Долгих, С. Н. Смирнов

ОАО ЕВРАЗ ЗСМК, г. Новокузнецк, Россия

УДК 666.364:621.746.329

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЛЮСОВ В 130-Т СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШАХ

Рассмотрен опыт применения обожженного магнезиальноизвесткового флюса (ФОМИ) в 130-т сталеразливочных ковшах. Изучены характер износа футеровки, свойства шлака и гарнисажа после введения флюса.

Ключевые слова: огнеупоры, сталеразливочный ковш, обожженный магнезиальноизвестковый флюс (ФОМИ), магнезиальный шлак, гарнисаж, твердая шлакообразующая смесь (ТШС).

Экономичность производства стали и производительность плавильных агрегатов во многом зависят от стойкости футеровки, подвергающейся не только механическим и тепловым нагрузкам, но и агрессивному воздействию шлака. Разрушающее воздействие шлаков по отношению к основной футеровке определяется содержанием MgO в шлаковом расплаве и массой шлака. Считается, что химический износ футеровки составляет примерно 70 % от общей доли износа огнеупоров.

Для уменьшения химического воздействия шлака на магнезиальную футеровку он должен находиться в области насыщения MgO . Теоретической предпосылкой этого служит известное положение химической термодинамики об отсутствии взаимодействия на поверхности раздела двух фаз в случае равенства концентрации диффундирующего компонента и концентрации насыщения. Шлаки такого состава обладают слабым агрессивным воздействием на футеровку печи и сохраняют достаточно высокие рафинирующие свойства.

Неотъемлемой частью современного сталеплавильного производства является выплавка стали под магнезиальными шлаками. Например, стойкость футеровки конвертеров на предприятиях США удалось довести до 30–35 тыс. плавов, на предприятиях Китая — до 15 тыс. плавов. За счет использования магнезиальных материалов в 50-т электропечи завода «Pacific Steel» продолжительность кампании футеровки печи возросла от 800 до 2614 плавов. При этом были отмечены увеличение срока службы не только кирпичной кладки, но и монолитной футеровки, а также сокращение расхода торкрет-масс. После проведения плавов под магнезиальными шлаками минимальный общий расход огнеупоров снизился с 3,59 до 2,25 кг/т. Такие высокие показатели повышения стойкости футеровки конвертеров и электродуговых печей достигнуты благодаря освоению технологии выплавки стали с использованием магнези-

альных материалов. Важнейшим достоинством этой технологии наряду со снижением износа магнезиальной футеровки является улучшение шлакового режима, так как оксиды магния ускоряют растворение извести, препятствуя образованию тугоплавкой корочки двухкальциевого силиката вокруг частиц извести, а также повышают активность растворенного оксида кальция, «оттягивая» на себя часть оксидов кремния.

Опыт применения флюсов в сталеразливочных ковшах — процесс мало изученный и не имеет широкого применения в России. Исходя из того, что для футеровки конвертеров и электродуговых печей зачастую используют периклазоуглеродистые огнеупоры того же физико-химического состава, что и в сталеразливочных ковшах, применение магнезиальных материалов (флюсов) позволит замедлить износ огнеупорной кладки. Для получения магнезиальных шлаков в отечественной и мировой практике при выплавке стали в качестве магнезиальных материалов чаще всего используют обожженный доломит и доломитизированную известь.

Скорость износа футеровки из периклазоуглеродистых огнеупоров прямо пропорциональна разнице концентраций диффундирующего компонента в твердой и жидкой фазах, т. е. зависит от содержания оксидов железа и магния в шлаке. Чем более насыщен шлак оксидами магния, тем меньше активность оксидов железа. Введение флюса позволяет практически подавить взаимодействие оксидов железа с периклазоуглеродистыми огнеупорами. При концентрации MgO в шлаке выше предела насыщения оксид магния начинает выделяться из шлака.

С другой стороны, чрезмерное насыщение шлака оксидами магния приводит к ослаблению реакционной способности шлака в отношении удаления серы и фосфора из металла вследствие возрастания вязкости шлака и его гетерогенности. При этом хуже усваиваются известь и другие

флюсующие добавки. Поэтому уменьшение активности железа в шлаке только добавками магний-содержащих материалов ухудшает технологические показатели плавки. Кроме того, растворение обожженного доломита в шлаке затруднено вследствие высокой температуры начала его плавления (1800 °С), а также образования тугоплавких составляющих силикатов кальция и магния.

В настоящее время разработан принципиально новый магнезиальный флюс — обожженный магнезиальноизвестковый марки ФОМИ, содержащий не менее 66 % MgO, 12–22 % CaO, 4–8 % Fe₂O₃, не более 5 % SiO₂ и не более 0,01 % S. Флюс ФОМИ получают обжигом сырьевых материалов сухим способом во вращающейся печи. Основным компонентом шихты является сырье, подготовленное для совместного обжига с магнезиально-железистой смесью. Комплексное использование этих материалов и экологически безопасная технология производства ФОМИ выводят этот флюс на новый уровень по сравнению с другой аналогичной продукцией. ФОМИ производится в виде гранул достаточно узкого фракционного состава — 75 % диаметром от 4 до 15 мм, в нем фактически отсутствуют мелкие зерна, что позволяет предотвратить пылевыведение при его применении. Фазовый состав ФОМИ, включающий 88–90 % периклаза, 3–6 % ферритов и 2–6 % силикатов, обеспечивает высокую скорость его растворения в шлаке.

Одна из особенностей производства гранул ФОМИ — образование при обжиге легкоплавких соединений, которые в процессе термического гранулирования блокируют свободный CaO, находящийся в центре гранулы. Это позволяет повысить устойчивость материала к воздействию влаги. Содержащийся в ФОМИ свободный CaO (до 22 %) уменьшает количество подаваемой в сталеплавильный агрегат извести.

В табл. 1 представлена средняя стойкость футеровки рядовых сталеразливочных ковшей, изготовленной из огнеупоров марки RI фирмы «ВПО Сталь». Доля огнеупоров этого поставщика для сталеразливочных ковшей в 2010 г. составила около 65 %. Из табл. 1 видно, что в июле – октябре 2010 г. произошло резкое уменьшение стойко-

сти футеровки сталеразливочных ковшей. Причиной этого было изменение технологии при выплавке полупродукта для рельсовых марок. Минимальное содержание углерода в полупродукте было уменьшено с 0,5 до 0,1 %. Основные причины остановки сталеразливочных ковшей на холодный ремонт: износ рабочего слоя футеровки стен под шлаковым поясом в фурменной зоне, общий износ шлакового пояса и износ шлакового пояса в фурменной зоне.

Уменьшение содержания углерода в металле привело к увеличению износа рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей и стало основной причиной снижения ее стойкости. Особенно обезуглероживание футеровки сталеразливочных ковшей наблюдалось в зонах движения металла, т. е. в фурменных зонах и на границе раздела металл – шлак. Недостаток углерода металл восполнял углеродом рабочего слоя футеровки, что повышало скорость износа кладки.

Первые испытания ФОМИ прошли в сентябре – октябре 2010 г. Для определения влияния флюса на стойкость рабочего слоя футеровки стен и шлакового пояса в опытный сталеразливочный ковш, изготовленный из рядовых огнеупоров марки RI фирмы «ВПО Сталь», в период выпуска металла из печи со шлакообразующей смесью присаживали ФОМИ. При плановом расчете расхода вводимого ФОМИ исходили из того, чтобы содержание MgO в шлаке составляло 9–11 %. Содержание извести в твердой шлакообразующей смеси (ТШС) уменьшали на количество введенного флюса. Расход ФОМИ при эксплуатации сталеразливочного ковша составлял 46–156 кг/плавку, средний расход ФОМИ на сталеразливочный ковш за кампанию 100,5 кг/плавку. Опытный сталеразливочный ковш был остановлен при стойкости 82 плавки. Присадка ФОМИ в сталеразливочный ковш со шлакообразующей смесью при выпуске металла из печи в количестве 100,5 кг/плавку привела к образованию защитного гарнисажа на поверхности стен и снижению износа шлакового пояса. После получения положительного результата перешли на массовое использование ФОМИ на всем сортаменте.

За период ноябрь 2010 г. – июнь 2011 г. закончили эксплуатацию 96 комплектов рядовых

Таблица 1. Стойкость футеровки сталеразливочных ковшей из огнеупоров RI фирмы «ВПО Сталь» в 2010 г. (январь – октябрь)

Показатели	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Средняя стойкость, плавки	83,1	85,7	87,3	85,5	82,6	86,5	75,3	74,7	77,7	75,9
Стойкость за период, плавки	85,2						75,7			
Число кампаний	8	3	9	4	8	11	12	10	6	8

огнеупоров марки RI фирмы «ВПО Сталь», в которых использовали ФОМИ. Средний расход флюса составил 110,5 кг/плавку, средняя стойкость 84,2 плавки, средняя стойкость футеровки сталеразливочных ковшей за период июль – октябрь 2010 г. (см. табл. 1) составила 75,7 плавки (36 комплектов). Увеличение средней стойкости футеровки при использовании ФОМИ составило 8,5 плавки (табл. 2).

Во всех остановленных на холодный ремонт сталеразливочных ковшах отмечено образование на поверхности рабочего слоя футеровки стен защитного гарнисажа. При наблюдении за опытными сталеразливочными ковшами установлено, что в тех случаях, когда по каким-либо причинам ФОМИ в сталеразливочный ковш не поступал, гарнисаж на его стенах отсутствовал. Таким образом, ФОМИ не образует стойкого гарнисажа, способного служить весь период эксплуатации сталеразливочного ковша. Формирование гарнисажа на поверхности стен требует постоянной присадки флюса на каждой плавке для поддержания защитного слоя. Освидетельствование сталеразливочных ковшей с применением ФОМИ выявило следующий характер износа футеровки:

- равномерный износ по всей поверхности рабочего слоя футеровки стен;
- отсутствие разгаров, трещин, снижения прометалливания;
- остаточная толщина рабочего слоя футеровки стен 90–110 мм;
- остаточная толщина футеровки шлакового пояса 70–90 мм.

Таким образом, при увеличении средней стойкости футеровки на 8,5 плавки сталеразливочные ковши не остановлены с остаточной толщиной менее 70 мм, т. е. применение ФОМИ снизило скорость износа огнеупоров в рабочем слое футеровки стен и шлакового пояса. Уменьшение скорости

износа футеровки в шлаковом поясе позволило сократить объем заменяемой кладки на горячем ремонте на 1 т (приблизительно на 2,5 ряда). Замену футеровки шлакового пояса начали производить в основном в зонах максимального износа (фурменная зона справа от кантователя). В сталеразливочных ковшах отмечено снижение проникновения металла в горизонтальные швы кладки.

В ходе испытаний исследовали состав шлака и гарнисажа. Оказалось, что присадка ФОМИ с ТШС в количестве 110,5 кг/плавку привела к изменению химического состава шлака. В табл. 3 представлен сравнительный анализ первичных шлаков на агрегате ковш-печь (АКП). Из табл. 3 видно, что содержание MgO в шлаке возросло на 5 %, FeO — на 0,5 %, содержание CaO сократилось на 0,7 %, SiO₂ — на 1,7 %. С введением флюса в состав ТШС произошло насыщение шлака оксидом магния, что снизило его взаимодействие с магнезиальной футеровкой сталеразливочного ковша. Изменение состава не сказалось на основных свойствах шлака, рафинирующие свойства остались на прежнем уровне. Увеличение содержания MgO загустило шлаки и сделало их менее жидкоподвижными.

Введение флюса привело не только к изменению физико-химического состава шлака, но и к образованию защитного гарнисажа на поверхности рабочего слоя футеровки стен. В результате наблюдения за состоянием футеровки было установлено, что образование гарнисажа происходит в период разливки металла на МНЛЗ, т. е. во время прямого контакта магнезиального шлака с периклазоуглеродистой футеровкой стен сталеразливочного ковша. Огнеупорность гарнисажа составляет 1670 °С, что свидетельствует о том, что гарнисаж представляет собой совокупную среднеплавкую систему. Образование подобных соединений стало возможным благодаря увеличе-

Таблица 2. Стойкость футеровки сталеразливочных ковшей из огнеупоров RI фирмы «ВПО Сталь» за период ноябрь 2010 г. – июнь 2011 г.

Показатели	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Средняя стойкость, плавки	84,5	83,1	86,4	81,5	85,8	83,2	84,1	83,9
Стойкость за период, плавки	84,2							
Число кампаний	11	10	14	10	13	12	12	14
Расход ФОМИ, кг/плавку	101	109	112	116	117	110	111	108

Таблица 3. Химический состав шлака на АКП в разный период испытаний, %

Период	FeO	CaO	SiO ₂	MgO
Июль – октябрь 2010 г., без ФОМИ	1,92	53,56	21,56	7,60
Ноябрь 2010 г. – июнь 2011 г., с ФОМИ	2,37	52,80	19,85	12,68

нию содержания MgO в шлаке. Толщина гарнисажа 3–5 мм; по мере приближения к дну ковша она увеличивается. В табл. 4 представлен химический состав измененной (гарнисаж) и наименее измененной зон огнеупоров разных производителей после эксплуатации. Из табл. 4 следует:

- гарнисаж, образованный на стенах и шлаковом поясе из всех огнеупоров, представлен главным образом MgO, CaO и SiO₂;

- снижение содержания MgO в гарнисажном слое по сравнению с наименее измененной зоной составляет в среднем 16,5 % при среднем увеличении суммы CaO и SiO₂ на 18,1 %;

- в гарнисаже, образованном на шлаковом поясе из огнеупоров фирмы «Майертон», содержится двухкальциевый силикат 2CaO·SiO₂, что неизбежно может привести к осыпанию гарнисажа при охлаждении сталеразливочного ковша до 600 °С. Гарнисаж всех остальных огнеупоров имеет устойчивую форму, двухкальциевого силиката не выявлено. Таким образом, проведенный анализ состава гарнисажа показал, что он является продуктом взаимодействия шлака, обогащенного MgO, с огнеупорами.

Наблюдение за образованием гарнисажа показало, что его формирование на стенах сталеразливочного ковша на разном сорimente стали не-

одинаково. При выплавке рельсовых марок стали Э76Ф, НЭ76Ф и других на стенах сталеразливочного ковша образуется гарнисаж толщиной 3–5 мм. При выплавке рядовых марок стали Ст3, Ст4 и других образуется гарнисаж меньшей толщины (1–2 мм). Для изучения влияния сортамента выплавляемых сталей на формирование гарнисажа исследовали химический состав и основность шлаков на АКП (табл. 5). Из табл. 5 видно, что содержание MgO в конечных шлаках при выплавке рельсовых марок стали на 1,5–2,3 % больше, чем при выплавке рядовых. Несмотря на большее содержание MgO в шлаках рельсового сортамента определяющими факторами образования гарнисажа являются температура разливки металла на МНЛЗ и скорость разливки. Установлено, что при разливке рядовых марок стали гарнисаж образуется на стенах в меньшей степени. Температура разливки рядовых марок стали составляет 1605–1612 °С, длительность разливки 55–60 мин. При разливке металла рельсовых марок температура разливки составляет 1535–1539 °С, длительность разливки 70 мин. Из этого следует, что формирование гарнисажа лучше происходит при более низких температурах и меньшей скорости разливки. В этих условиях магнезиальные шлаки лучше взаимодействуют с фу-

Таблица 4. Химический состав измененной и наименее измененной зон огнеупоров различных марок после эксплуатации, %

Участок отбора проб	Измененная зона (гарнисаж)					Наименее измененная зона				
	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
<i>Огнеупоры RI («ВПО Сталь»)</i>										
Стены	60,0	14,0	10,0	3,0	1,5	83,0	1,6	0,3	1,0	0,8
	53,0	17,0	16,0	1,0	1,0	82,0	1,9	1,2	0,9	0,7
ШП*	64,0	11,0	5,8	1,0	5,6	81,0	1,4	1,9	0,9	5,1
Стены	65,0	10,0	7,0	1,4	4,0	84,5	1,3	2,0	1,0	2,0
	68,0	10,4	5,7	1,4	3,0	81,0	1,0	1,3	0,7	3,7
ШП*	69,0	9,0	6,6	1,0	4,7	84,0	1,3	1,8	1,0	2,2
Стены	56,0	13,0	13,0	0,7	0,5	87,0	1,0	0,5	0,7	0,5
<i>Огнеупоры Dalcra (Группа «Магнезит»)</i>										
Стены	59,0	13,0	10,0	1,0	3,0	87,0	1,0	1,0	1,0	0,5
<i>Огнеупоры ВМС (ТД БКО)</i>										
Стены	57,5	14,0	15,0	1,2	3,0	86,5	1,5	2,5	1,0	0,1
<i>Огнеупоры Маускарб («Майертон»)</i>										
Стены	70,0	7,0	5,0	1,2	1,2	83,0	1,4	0,8	0,9	0,8
ШП*	75,0	5,0	2,5	1,0	1,2	80,0	1,3	1,0	1,4	0,8
<i>Огнеупоры DSA («Dufenco»)</i>										
Стены	59,0	13,0	8,0	1,0	5,0	84,0	1,0	1,0	0,8	3,0
	66,0	9,5	8,5	1,0	2,0	87,0	1,5	1,0	0,8	0,6

* Шлаковый пояс.

Таблица 5. Характеристика шлаков на АКП в зависимости от сортамента выплавляемых сталей

Показатели	Марка стали					
	Ст3	Э76Ф	09Г2С	НЭ76Ф	Ш2	28С
Проба № 1						
Массовая доля, %:						
CaO	48,3	52,6	43,6	52,1	48,2	46,6
SiO ₂	21,3	20,8	20,1	20,7	23,2	23,8
MgO	13,0	15,1	15,1	16,1	13,3	15,9
Основность	2,32	2,56	2,16	2,53	2,10	1,97
Проба № 2						
Массовая доля, %:						
CaO	50,5	53,6	47,5	53,6	48,9	48,5
SiO ₂	21,2	21,5	19,1	21,8	23,0	23,2
MgO	12,5	14,9	15,7	16,4	13,3	14,6
Основность	2,41	2,49	2,50	2,47	2,14	2,10
Проба № 3						
Массовая доля, %:						
CaO	53,0	54,0	49,9	54,3	52,5	52,1
SiO ₂	23,4	22,3	22,8	22,4	23,1	23,5
MgO	11,1	13,4	11,7	13,4	11,7	11,9
Основность	2,27	2,43	2,19	2,43	2,27	2,22

теровой сталеразливочного ковша и образуют более толстый слой гарнисажа на поверхности рабочего слоя футеровки.

Экономический эффект от применения ФОМИ в сталеразливочных ковшах складывается из трех составляющих: увеличения стойкости, снижения расхода огнеупоров при проведении горячего ремонта, экономии извести в ТШС. Расходной частью применения флюса является то, что стоимость ФОМИ в 2 раза выше стоимости заменяемой извести. Экономический эффект от применения ФОМИ в 130-т сталеразливочных ковшах в условиях ЭСПЦ составил 18,61 руб./т стали.

Библиографический список

1. **Оржих, М. Б.** Повышение эффективности эксплуатации электросталеплавильных печей при использовании магнезильного флюса / М. Б. Оржих, Б. Б. Либа-

нов, М. А. Чашкин [и др.] // Черная металлургия. — 2009. — № 10. — С. 55, 56.

2. **Демидов, К. Н.** Использование ожелезненного известково-магнезильного флюса в конвертерной плавке / К. Н. Демидов, С. М. Чумаков, С. Д. Зинченко [и др.] // Сталь. — 2000. — № 11. — С. 46–48.

3. Отработка технологии выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах с использованием магнезильных флюсов производства ОАО «Комбинат «Магнезит»: отчет о НИР / ОАО «Уральский институт металлов»; рук. А. А. Бабенко, С. А. Спирин; исполн.: Л. М. Аксельрод [и др.]. — Екатеринбург, 2007.

4. Отработка технологии выплавки стали в ДСП под шлаками с повышенным содержанием MgO: отчет о НИР / ОАО «Уральский институт металлов»; Кузнецов Е. П., Дмитриенко В. И. — Екатеринбург. ■

Получено 19.10.12

© К. В. Волков, Е. П. Кузнецов, Н. С. Анашкин, О. В. Долгих, С. Н. Смирнов, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



RIO 2013

CARBON

14-19 JUL, 2013

COPACABANA, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

Первая всемирная конференция по углероду (CARBON RIO 2013)

14-19 июля 2013 г.

г. Рио-де-Жанейро, Бразилия

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.

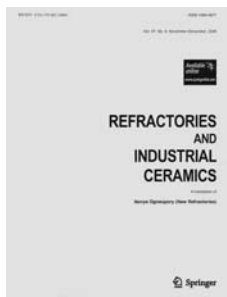
Technical requirements to advertising in the journal «New Refractories» (for every page)

- 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!



Springer



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:

www.springerlink.com/content/1083-4877.

Редакция

К. Т. Н. Э. А. Вислогузова¹, Д. Т. Н. И. Д. Кашеев², К. Г. Земляной²¹ ОАО ЕВРАЗ НТМК, г. Нижний Тагил, Россия² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 666.762.32:66.041.498.043.1

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ НА СТОЙКОСТЬ ФУТЕРОВКИ КОНВЕРТЕРОВ

Приведены результаты сравнительного анализа заявленных физико-химических и физико-керамических свойств периклазоуглеродистых изделий различных фирм-производителей. Дополнительными исследованиями определены свойства компонентов шихты периклазоуглеродистых изделий (чистота и размер зерен периклаза и графита, прочность до и после коксующего обжига и другие параметры). Приведен анализ остаточной толщины стен и дна конвертера при сопоставимых условиях эксплуатации.

Ключевые слова: конвертер, футеровка, периклазоуглеродистые огнеупоры, антиоксиданты, дифференциация футеровки.

Вопросам качества периклазоуглеродистых огнеупоров в настоящее время уделяется значительное внимание. Это связано с тем, что в агрегатах черной металлургии объем использования этих огнеупоров достаточно велик. От их качества зависит стойкость футеровки. При наличии достоверной информации о качестве изделий, используемых в металлургических агрегатах, можно с большей вероятностью прогнозировать стойкость агрегата и выбирать наиболее оптимальные варианты эксплуатации, а следовательно, и поставщика огнеупорных материалов. Периклазоуглеродистые изделия используются в наиболее ответственных агрегатах черной металлургии (конвертеры, сталеразливочные ковши), поэтому в ОАО ЕВРАЗ НТМК изучают любое предложение, касающееся этих агрегатов.

В существующих российских нормативных документах приводятся показатели, из которых наиболее достоверным является химический состав сырьевых материалов и, следовательно, огнеупора, из которых он изготовлен. Остальные показатели являются производной от технологических параметров производства, оборудования, как производственного, так и лабораторного, наличия независимого контроля, квалификации работников и т. д. Особенно необходима подробная информация о качестве применяемых огнеупоров в связи с ростом внедрения инноваций в производстве чугуна и стали и соответственно с ужесточением условий службы огнеупоров. Огнеупоры для футеровки конвертеров являются достаточно валютоёмкими. Рынок предложений по этим материалам достаточно обширен, поэтому выбор наиболее качественных огнеупоров, адаптированных к определенным условиям эксплуатации, очень важен для экономики предприятия.

В настоящее время в ОАО ЕВРАЗ НТМК реализуется программа по увеличению производства стали в конвертерах до 4,5 млн т в год против про-

ектной 3,5 млн т. Определенные организационные и технологические шаги по этой программе реализованы ранее, что позволило повысить производство стали, но полностью решить поставленную задачу планируется в первую очередь за счет увеличения стойкости футеровки конвертеров до 7000 плавов и более против 4000 до принятия программы, т. е. путем сокращения числа перефутеровок. Увеличение объема производства и повышение стойкости футеровки конвертеров, на первый взгляд, несовместимые проекты, поскольку для повышения стойкости необходим определенный ресурс времени для ухода за футеровкой, что неизбежно связано с простоями и потерями объема производства.

Особенностью конвертерного производства ОАО ЕВРАЗ НТМК является выплавка стали с применением дуплекс-процесса, на первой стадии которого производится деванадизация чугуна с исключением полученного шлака, как товарной продукции, из дальнейшего процесса. В связи с этим выплавка стали на второй стадии процесса осложнена малым количеством шлака, который приходится не только модифицировать магниевыми добавками, но и искусственно увеличивать его количество для дальнейшего раздува и защиты футеровки. В реализации проекта по повышению стойкости футеровки приняли участие девять фирм, которые представили предложения о качестве огнеупоров и материалов для ухода за футеровкой, а также о логистике проведения ремонтов.

Все предложенные огнеупорные изделия для футеровки конвертера были изготовлены в Китае на основе китайского плавного периклаза, графита, фенольных смол и антиоксидантов с применением высокотехнологичного оборудования по общеизвестной технологии производства углеродсодержащих огнеупоров, производство которых основывается на соблюдении следующих основных условий [1, 2]:

- использование химически чистого плавного периклазового порошка с минимальным содержанием примесей оксидов кремния и железа;
- применение высокого давления прессования для получения плотной структуры изделий;
- применение комплексного углеродсодержащего компонента, включающего связку определенного химического состава.

В процессе тендера были изучены качественные показатели и логистика ремонтов и выбрана продукция нескольких фирм, за испытанием которой проводилось тщательное наблюдение.

Результаты испытаний показали значительное расхождение в стойкости футеровки. Все анализируемые изделия были разделены на 3 группы в зависимости от предполагаемой их стойкости в футеровке конвертера: низкая стойкость (первая группа изделий), удовлетворительная (вторая группа изделий) и высокая (третья группа изделий). Высокая стойкость футеровки — не менее 7000 плавов за кампанию, удовлетворительная — выше уровня, достигнутого на момент реализации проекта (5500–6500 плавов), низкая стойкость соответствовала уровню стойкости футеровки до начала разработки проекта (4000–5500 плавов). Были проведены также дополнительные исследования огнеупоров по этим группам. Анализ показателей огнеупорных изделий по группам, приведенных в сопроводительной документации, представлен в табл. 1. По условиям конфиденциальности не приводятся ни названия фирм, ни принадлежность их к той или иной проверяемой продукции, а также некоторые показатели, которые являются особенностями технологии изготовления огнеупоров. Но главные характеристики изделий, которые, как правило, присутствуют в рекламных материалах фирм, не являются коммерческой тайной и приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что по заявленным показателям приоритет имеют изделия третьей группы,

которые обеспечивают дифференцированный подход к дизайну футеровки конвертера по отдельным зонам. Показатели огнеупоров остальных фирм различаются друг от друга незначительно. Применяемая связка практически у всех производителей комбинированная — на основе синтетической смолы с добавлением пека. Добавка пека в связку повышает высокотемпературную прочность периклазоуглеродистых изделий. Во всех группах изделий используются комплексные антиоксиданты: металлический алюминий или смесь алюминия с кремнием, а также сплав алюминия с магнием, карбиды кремния и бора.

В настоящее время появилась тенденция к исключению антиоксидантов из шихты периклазоуглеродистых изделий. Теоретическое обоснование этому в литературе пока нет, но практика использования таких огнеупоров (по устной информации специалистов некоторых фирм) показала определенное преимущество их при эксплуатации. По-видимому, сложные окислительно-восстановительные реакции антиоксидантов, происходящие в углеродистом изделии, сопровождаются газообразованием и могут вызвать ослабление его структуры. Но присутствие антиоксиданта необходимо, с нашей точки зрения, в таких зонах, как верхний конус, где влияние кислорода на футеровку особенно ощутимо как за счет интенсивной кислородной продувки, так и за счет кислорода атмосферы при различных остановах работы конвертера.

Введение антиоксидантов в шихту периклазоуглеродистых изделий широко используется с самого начала их применения, еще до внедрения азотирования при раздуве шлака. В дальнейшем в связи с широким внедрением азотирования стали наблюдаться проникновение азота в поры, микротрещины, швы кладки, и появилась информация о приоритетном взаимодействии антиоксидантов с образованием нитридов, которые в дальнейшем

Таблица 1. Качественные показатели изделий, заявленные в предложениях

Показатели	Изделия со стойкостью		
	низкой (<5000 плавов)	удовлетворительной (>5500 плавов)	высокой (>7000 плавов)
Сырье: периклаз	Плавленный	Плавленный	Плавленный
Содержание, мас. %:			
MgO	96,5–98,0	>97	97–98
Графит	8–16	9–15	9–17
Связка	Пекосвязанные	Смола + пек	Углеродистая + пек
Антиоксидант	Al, (Al + Si + SiC), (AlMg + B ₄ C)	(Al + Si), B ₄ C	(Al + SiC), AlMg, Al
Количество типов изделий в футеровке, различающихся по свойствам	3–4	5	6
Предел прочности при сжатии, МПа	>40* ¹	41–42* ¹	35–65* ²
Открытая пористость, %	<4,0	<4,0	1,0–4,0
Кажущаяся плотность, г/см ³	>3,0* ¹	2,98* ²	2,94–3,18* ²
* ¹ Для всех изделий.			
* ² Для разных марок изделий в зависимости от зоны футеровки.			

разлагались под действием углерода. Однако достоверных данных по влиянию азота на эксплуатацию периклазоуглеродистых изделий, содержащих антиоксиданты, пока нет.

Изготовление изделий без антиоксидантов производители объясняют тем, что алюминиевая пудра является взрывоопасным веществом, а пассивированный алюминий является менее активным компонентом, чем пудра. Исключение антиоксидантов рассматривают и с экономической стороны производства, так как при выплавке специальных сталей с ультранизким содержанием алюминия необходимо использовать изделия, не содержащие алюминий.

В литературе по углеродистым огнеупорам [3, 4] присутствие алюминия в периклазоуглеродистых изделиях связывают с образованием карбида алюминия, но количество антиоксиданта в объеме изделия невелико (в основном <3 %), и карбидообразование не может кардинально влиять на служебные свойства изделий. Если карбид алюминия и образуется, то только точечно и локально. Установлено [5], что металлический алюминий в составе шихты является не только антиоксидантом, но и определяет протекание газотранспортных химических реакций образования карбидных и оксинитридных фаз, которые изменяют структуру огнеупорного изделия в процессе эксплуатации, увеличивая долю пор радиусом от 0,005 до 4,5 мкм. В связи с этим исследование влияния антиоксиданта на структуру периклазо-

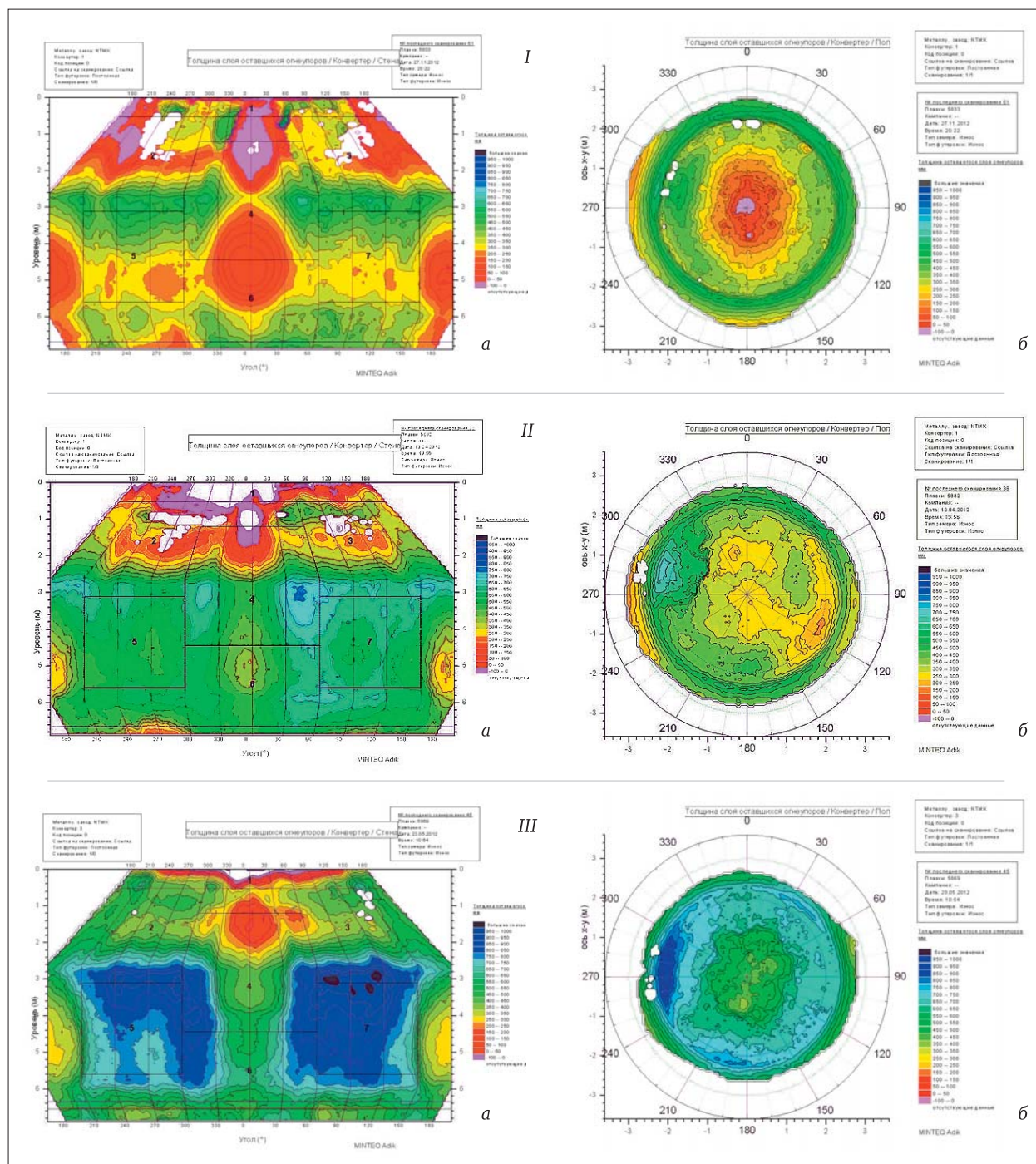
углеродистых изделий при условии постоянного нанесения гарнисажа на футеровку и отсутствии прямого воздействия кислорода представляет отдельный научный интерес, так как в каждом случае введение более стабильного оксида (Al_2O_3) в шихту увеличивает устойчивость менее стабильного (MgO), снижая энергию Гиббса [6, 7]. Термодинамическая устойчивость оксидных огнеупоров в строго восстановительных условиях становится все более важным фактором в последние годы.

Следующим отличием является степень дифференциации футеровки, которая наименьшая у первой группы изделий и наибольшая у третьей. Дифференциация футеровки предусматривает более равномерный износ футеровки по зонам и в целом повышает ее ресурс работы. В связи с этим первый вариант футеровки является наименее выгодным.

Предел прочности при сжатии изделий всех групп имеет практически одинаковое значение, однако в зонах повышенного износа прочность изделий третьей группы составляет более 50 МПа, что превосходит показатели изделий первой и второй групп. Наиболее низкую пористость имеют изделия третьей группы. Анализ представленных свойств периклазоуглеродистых изделий показал, что наилучшим вариантом для футеровки являются огнеупоры третьей группы. Несмотря на некоторые различия в свойствах все они должны были показать стойкость, плавно возрастающую от

Таблица 2. Некоторые свойства компонентов шихты периклазоуглеродистых изделий

Показатели	Изделия со стойкостью		
	низкой (<5000 плавов)	удовлетворительной (5500–6500 плавов)	высокой (>7000 плавов)
Периклазовый порошок	Плавленный	Плавленный	Плавленный $MgO + \sim 5,0\%$ спеченного с кристаллами размерами 80–100 мкм
Размер кристаллов плавленного периклаза, мкм	300–500–580–600–740–760–800–900–1500–1800	1500–2000	800–1000–1100–1200–1300–1500–1600
Пористость зерен, %	3,0–6,0	1,5–2,0	3,0–5,0
Примеси в периклазовом порошке	Недоплав (5–8 %) Рыхлые зерна периклаза (100–120 мкм). Карбонат магния, монтичеллит (1,5–2,5 %). Двухкальциевый силикат	Нет <1,0 (форстерит)	Недоплав (<3 %) <1,0 (оксиды железа и силикаты)
Размер чешуек графита, мкм	(50–90) (150–250)	150–250	60–100–150
Количество антиоксиданта, %	3,0–5,0	2,0–3,5	0,5–3,0
Снижение предела прочности при сжатии после коксования	В 1,5 раза	В 1,4 раза	В 1,3 раза
Пористость (факт.), %:			
до коксования	2,7	2,3	2,0
после коксования	8,3	7,2	7,0
Выявленные замечания	Засоренность плавленного периклаза недоплавом в количестве 5–8 %. Некоторые марки изделий не соответствовали требованиям НТД	Отдельные марки не соответствовали требованиям НТД	Нет



Остаточная толщина стен (а) и дна конвертера (б), футерованного изделиями третьей (III), второй (II) и первой (I) группы

изделий первой группы к третьей. Фактически изделия показали стойкость от менее 5000 плавов до более 7000.

Для установления причин колебаний стойкости футеровки проведены петрографические и термогравиметрические исследования, оценены микроструктура и шлакопротитка огнеупоров, а также физико-механические свойства образцов. Было подтверждено, что основной составляющей периклазоуглеродистых огнеупоров является

плавленный периклаз, качество которого оценивали по следующим параметрам: химический состав, т. е. периклаз должен содержать максимальное количество MgO и, соответственно, минимальное количество примесных оксидов; размер кристаллов, пористость и плотность зерен.

Известно, что чем больше размер кристаллов периклаза, тем он более устойчив против коррозии и эрозии, имеет меньшую пористость и большую плотность [1]. Результаты приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, основное различие периклазоуглеродистых огнеупоров заключается в качестве исходного периклазового порошка: содержание примесей и наибольший размер кристаллов. Наименьший средний размер кристаллов периклаза у изделий первой группы, наибольший — у изделий второй группы. Но в данном случае большой размер кристаллов оказался не технологичным при изготовлении огнеупоров, поскольку из-за высокого давления прессования в них появлялись трещины и дефекты, по которым происходило разрушение кристаллов, несмотря на то что пористость оставалась на уровне 1,5–2,0 %. В шихту третьей группы изделий периклаз вводили с различным размером кристаллов так же, как и графит, что свидетельствует о более сложной технологии изготовления изделий и их дифференциации при выполнении футеровки.

В производстве изделий первой группы вместе с плавненным периклазом использована непроплавленная корка блока, содержащая карбонат магния, наличие которого подтверждается дериватографическими и петрографическими исследованиями. С коркой в состав шихты привносятся легкоплавкие силикаты, которые снижают итоговое качество периклазового заполнителя. В шихте периклазоуглеродистых изделий третьей группы был отмечен также непроплавленный периклаз, но он содержался в меньшем количестве и вносил в изделия меньше примесей.

В ОАО ЕВРАЗ НТМК осуществляется обязательный входной контроль углеродсодержащих огнеупоров по физическим свойствам до и после коксующего обжига. Этим тестом оценивается качество используемой связки: чем больше содержание коксового остатка, тем выше предел прочности при сжатии огнеупора после коксующего обжига. Показатели прочности изделий после коксующего обжига, как правило, ухудшаются, но в разной степени для продукции разных фирм. Но в некоторых случаях она даже увеличивается, что представляет наибольший интерес для практики (это характерно для шпинельноуглеродистых огнеупоров). В данном случае предел прочности при сжатии снижается, а пористость возрастает от первой группы изделий к третьей. Эти зависимости однозначно коррелируются со стойкостью футеровки конвертера.

Результаты исследования металло- и шлакоустойчивости образцов изделий показали, что образцы первой группы в большей степени обезуглероживаются при испытании, а обезуглероженный слой имеет меньшую прочность, что обуславливается, по всей вероятности, большим содержанием в шихте мелкочешуйчатого графита с высокой степенью окисляемости. На рисунке показан износ футеровки конвертера из изделий трех групп при одной и той же стойкости футеровки.

Безусловно, на износ футеровки и, соответственно, ее стойкость влияют параметры эксплуата-

ции и качество кладки. Что касается последнего, монтаж футеровки конвертеров и сталеразливочных ковшей ведется квалифицированными специалистами ОАО ЕВРАЗ НТМК под контролем представителей фирм — поставщиков изделий.

Относительно условий эксплуатации можно утверждать, что по мере приближения к стойкости 4500 плавов параметры изделий (как негативные, так и положительные) усредняются. В ближайшее время будут подготовлены материалы, позволяющие оценить влияние как качества работ, так и условий эксплуатации на стойкость футеровки конвертера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ показателей качества периклазоуглеродистых огнеупорных изделий, изготовленных различными поставщиками. По результатам эксплуатации футеровки изделия различных поставщиков были разделены на 3 группы по количеству отработанных конвертером плавов.

Для уточнения причин разрушения футеровки проведены дополнительные физико-химические и физико-керамические исследования изделий, что позволило объяснить расхождения в стойкости футеровки и выявить эмпирические зависимости, позволяющие предсказывать стойкость футеровки конвертера.

Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Оксидноуглеродистые огнеупоры / И. Д. Кащеев. — М.: Интермет Инжиниринг, 2000. — 265 с.
2. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М.: Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
3. **Кащеев, И. Д.** Взаимодействие алюминия с компонентами периклазоуглеродистых изделий / И. Д. Кащеев, Л. В. Серова // Новые огнеупоры. — 2006. — № 4. — С. 118–120.
4. **Kashcheev, I. D.** Interaction between aluminum and periclase-carbon components / I. D. Kashcheev, L. V. Serova // Refractories and Industrial Ceramics. — 2006. — Vol. 47, № 2. — P. 125–127.
5. **Porier, J.** The effects of fine and ultra-fine particles on the design of refractory ceramics / J. Porier, P. Prigent, M. L. Bouchetou // Refractories Worldforum. — 2011. — Vol. 3, № 2. — P. 99–109.
6. **Серова, Л. В.** Формирование коррозионно-устойчивой структуры корундопериклазоуглеродистых огнеупоров для сталеразливочных ковшей / Л. В. Серова : дис. ... канд. техн. наук, Екатеринбург, 2011. — 153 с.
7. **White, J.** Термодинамическая устойчивость оксидных огнеупоров / J. White // J. Australian Ceram. Soc. — 1974. — Vol. 10, № 1. — P. 1–4.
8. **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев. — М.: Металлургия, 1996. — 608 с. ■

Получено 11.01.13

© Э. А. Вислогозова, И. Д. Кащеев,
К. Г. Земляной, 2013 г.



 ПОЛИПЛАСТ®
ИДЕЯ. КАЧЕСТВО. МАТЕРИЯ

**Специализированные добавки
в производстве огнеупорных изделий:**

- повышают механическую прочность
- улучшают формовочную способность
- улучшают однородность микроструктур
- снижают энергозатраты
- увеличивают живучесть массы

ООО "Полипласт Новомосковск"
301661, Тульская обл.,
г. Новомосковск,
ул. Комсомольское шоссе, д. 72
(48762) 2-11-04, 2-11-19
sekretar@polyplast-nm.ru

ООО "Полипласт - УралСиб"
623109, Свердловская обл.,
г. Первоуральск, ул. Заводская, д. 3,
а/я 766 (3439) 27-35-00,
27-35-17
info@ppus.org

ООО "Полипласт Северо-запад"
188480, Ленинградская обл.,
г. Кингисепп,
промзона "Фосфорит"
(81375) 2-69-98, 9-61-00
sekretar@polyplast-nw.ru

КАК ЭФФЕКТИВНО СНИЗИТЬ ЗАТРАТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

В последнее время основным направлением исследований в области огнеупорных материалов является поиск нового сырья, позволяющего как уменьшить себестоимость материала, так и улучшить его характеристики. Помимо оптимизации минерального состава, огромное значение имеет правильный выбор органических составляющих, обеспечивающих снижение энергозатрат и издержек на амортизацию оборудования при значительном улучшении физико-механических свойств готовой продукции. Таким образом, введение добавок является ключевым компонентом в производстве и реализации современных огнеупорных материалов.

Компания «Полипласт» совместно с ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» является разработчиком и производителем добавок, применяемых в огнеупорной промышленности для интенсификации помола, регулирования реологических свойств шамотных масс, улучшения формовочной способности, а также для изготовления огнеупорных смесей.

Для обеспечения интенсификации помола шмота, корунда, периклаза, кварцита, угля, глинозема, доломита рекомендованы ПАВ серий **Литопласт И** и **Литопласт АИ**. Введение этих добавок в небольшом количестве (0,02–0,035 %) обеспечивает увеличение тонины помола на 30–37 %, благодаря чему повышается реакционная способность компонента, улучшается гранулометрия смеси, что в совокупности позволяет добиться однородности технологических параметров последующей реакции смешения, сокращает продолжительность помола до заданной дисперсии, увеличивает производительность мельниц и уменьшает себестоимость продукции.

Добавки для регулирования реологических свойств шамотных масс представлены комплексом ПАВ направленного синтеза серии **Литопласт М**. Введение добавок этого типа позволяет повысить пластичность массы с одновременным уменьшением влажности при заданных реологических и технологических параметрах и, соответственно, снизить затраты на производство. Уменьшается также водопоглощение, благодаря чему повышается предел прочности при сжатии готовых изделий на 20–25 % и снижается общая пористость матрицы на 25–30 %.

Комплексные добавки для регулирования реологических свойств, улучшения формовочной способности при изготовлении бетонных, монолитных футеровок, ремонта огнеупорной кладки, производства наливных огнеупорных смесей представлены ПАВ

серии **Термопласт**. Так, при их введении длительность смешения шамотных масс снижается с 11 мин (для контрольной шихты) до 7 мин, т. е. на 30–35 %. Однако более важным, по нашему мнению, является снижение давления прессования шихт на 15–50 %. Увеличивается также предел прочности при сжатии образцов шамотных масс от 9 до 25 МПа (на 178 %), а открытая пористость после обжига снижается на 15 %. Добавки серии **Термопласт** выступают в виде компонентов, выравнивающих давление, что позволяет снизить давление в процессе прессования, тем самым продлевая срок службы форм.

Для различного вида сырья на стадии промышленного применения рекомендуются следующие добавки:

- для шамотных масс — **Термопласт тип 3, Термопласт тип 4, Термопласт тип 5;**
- для высокоглиноземистых масс — **Термопласт тип 1, Термопласт тип 3, 1МБ;**
- для корундовых масс — **Термопласт тип 1, Термопласт тип 4, Термопласт тип 5.**

Производство этих материалов в сухом и жидком состоянии позволяет подобрать составы для различных производственных условий и технологических режимов.

Помимо разработки и производства высококачественных добавок компания «Полипласт» особое внимание уделяет технической поддержке потребителя. Для этого сотрудники компании постоянно повышают свой профессиональный опыт на конференциях, выставках, семинарах. В состав научно-технического центра «Полипласт» входят аккредитованные химические и строительные лаборатории, оснащенные необходимым оборудованием и позволяющие проводить испытания по подбору необходимых рецептур и дозировок соответствующих добавок. При необходимости инженеры отдела технической поддержки готовы оказать услуги как при выборе необходимых добавок, так и при проведении лабораторных и промышленных испытаний в производственных условиях.

Политика предприятия в области предоставления услуг позволяет постоянно совершенствовать качество выпускаемой продукции, разрабатывать инновационные материалы для рынка как огнеупорных, так и других материалов для различных отраслей народного хозяйства, занимая ведущие позиции на рынке специализированных комплексных добавок на всей территории Российской Федерации. ■

К. Т. Н. К. А. Васин¹, К. Т. Н. А. Р. Мурзакова², Д. Т. Н. У. Ш. Шаяхметов²¹ ГУП «БашНИИСтром», г. Уфа, Россия² ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», г. Уфа, Россия

УДК 666.762.1+666.762.81]:621.746.328.3.047

БЕЗОБЖИГОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШАМОТНОГРАФИТОВЫХ СТОПОРНЫХ ПРОБОК ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Представлена безобжиговая технология производства шамотнографитовых пробок на основе неорганического связующего для непрерывной разливки стали.

Ключевые слова: безобжиговая технология, неорганическое связующее, шамотнографитовые стопорные пробки (ШГСП), непрерывная разливка стали.

Производство высококачественных сталей и увеличение вместимости сталеразливочных ковшей удлиняет процесс разливки металла, а следовательно, повышаются требования к качеству огнеупорных керамических шамотнографитовых стопорных пробок (ШГСП). Традиционно исходными материалами для производства глинистографитовых изделий для разливки стали являются огнеупорная глина, шамот и графит [1]. При этом глина должна быть высокопластичной, низкоспекающейся и тонкоизмельченной, шамот — высокообожженный (водопоглощение 4–5 %) и отсортированный от включений железа. Для производства ШГСП могут быть использованы различные разновидности графита зольностью не выше 10 %. Технология изготовления шамотнографитовых стопорных пробок требует особого режима сушки, который продолжается 20–25 сут, что связано с мелкозернистостью составных частей шихты и конфигурацией изделия. Обжиг осуществляется при 1300–1320 °С. Проблема изготовления ШГСП заключается в длительной сушке, которая удорожает процесс их изготовления; более того, неправильный режим сушки вызывает значительный брак. Кроме того, возникают сложности в технологическом оформлении процесса при использовании различных видов сырья с разным качественным и количественным составом.

Для упрощения изготовления ШГСП для разливки стали разработана безобжиговая технология керамических композиционных материалов на неорганических связках. Особенность этой технологии заключается в том, что в отличие от традиционной технологии спекание и образование прочной структуры в композитах осуществляется при более низких температурах [2, 3]. Это

дает значительную экономию энергетических ресурсов при производстве высокотехнологичной специальной огнеупорной керамики. В технологии получения эффективной композиционной керамики в системе неорганический наполнитель — связующее на этапе ее сушки за счет связующего обеспечиваются отверждение и упрочнение текущей массы, что облегчает заполнение сложных пресс-форм, а затем упрочнение и сохранение формы получаемой заготовки. Последующая термообработка заготовки (при температурах, значительно более низких, чем аналогичная керамика, получаемая по традиционной технологии) приводит к приобретению изделием требуемых свойств.

Разработаны сырьевые смеси для изготовления шамотнографитовых стопорных пробок для разливки стали, включающие шамот, корундовую крошку, глину, неорганическое связующее, таурит марки ТС; химический состав таурита представлен ниже:

Компонент	Содержание, %
C	3,5–10,0
SiO ₂	50–85
CaO	0,35
MgO	0,67
Fe ₂ O ₃	3,67
Al ₂ O ₃	12,80
K ₂ O	2,00
Na ₂ O	0,25

Сначала были определены оптимальный гранулометрический состав, влажность и давление прессования. Для расчета гранулометрического состава порошка, имеющего наибольшую плотность, использовали уравнение Фуллера

$$A = 100\sqrt{d/D},$$

где A — содержание фракции мельче данного размера частиц; d — диаметр частиц порошка; D — максимальный размер частиц в порошке.

На рис. 1 показана кривая, построенная по этому уравнению для максимального размера частиц 3 мм.

Технологическая схема процесса изготовления ШГСП методом полусухого прессования показана на рис. 2. Технология изготовления стопорных трубок включала следующие этапы. В лопастной смеситель загружали сначала зернистые наполнители — шамот, корундовую крошку, затем вводили связующее, разведенное технической водой. При постоянном перемешивании добавляли глину и таурит. После тщательного перемешивания массу дозировали и засыпали в пресс-форму. Прессование осуществлялось на гидравлическом прессе с плавным нарастанием давления до 10–40 МПа. Далее изделие извлекали из формы и направляли на предварительную сушку до 90 °С. Дальнейшую термообработку осуществляли в сушильном шкафу до 350 °С, а затем в камерной печи электросопротивления до

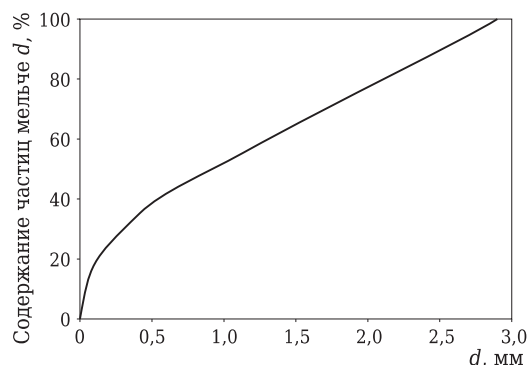


Рис. 1. Гранулометрический состав порошка, рассчитанный по уравнению Фуллера

700 °С. На рис. 3 показан режим термообработки отпрессованных изделий. Изделия охлаждали до комнатной температуры, проводили их технический контроль, упаковывали и складировали. Изготовленные изделия (рис. 4) имели следующие физико-технические характеристики: содержа-

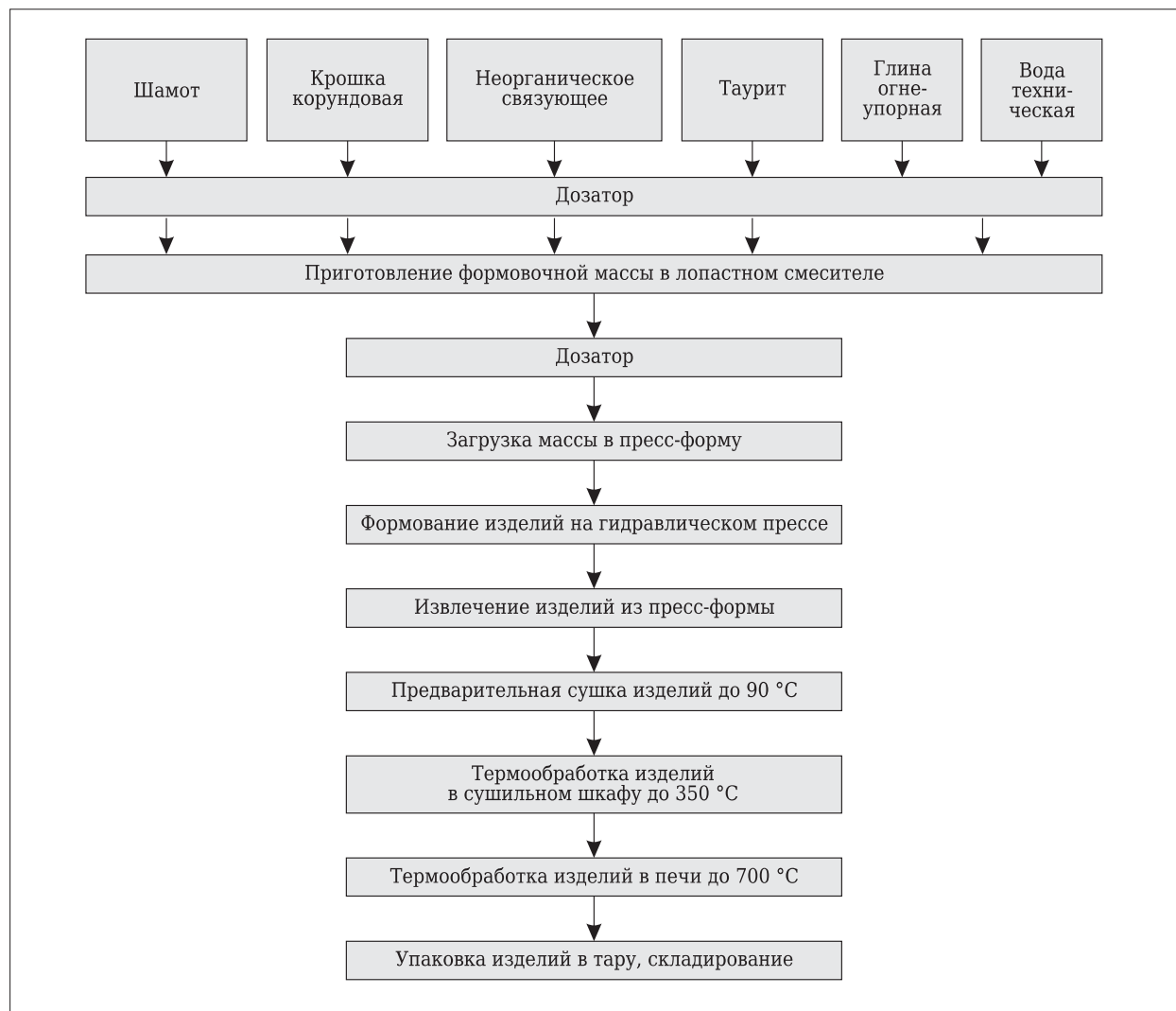


Рис. 2. Технологическая схема получения шамотнографитовых стопорных пробок для непрерывной разливки стали методом полусухого прессования

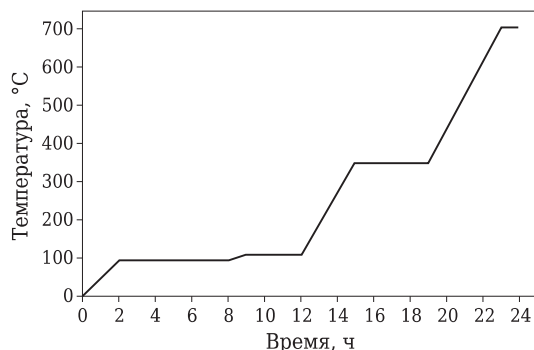


Рис. 3. Режим термообработки отпрессованных изделий



Рис. 4. Шамотнографитовые стопорные пробки для непрерывной разливки стали

ние углерода более 20 %, огнеупорность выше 1730 °С, открытая пористость 22,9 %, предел прочности при сжатии 200 МПа, кажущаяся

плотность 1,82 г/м³, температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа 1500 °С.

Таким образом, разработана технология изготовления шамотнографитовых стопорных пробок для непрерывной разливки стали по безобжиговой технологии на неорганическом связующем. Технология заключается в получении из выбранного материала порошка с определенным зерновым составом, синтезе соответствующих неорганических связок, смешивании порошка со связующим в определенном соотношении, заполнении массой требуемой формы, трамбовании, сушке для отверждения заготовки, ее извлечении из формы с последующей термообработкой. Испытания изделий на производстве показали их высокие технические характеристики.

Библиографический список

1. **Будников, П. П.** Технология керамики и огнеупоров / П. П. Будников, А. С. Бережной [и др.]. — М.: ГИЛАСМ, 1962. — С. 368–371.
2. **Шаяхметов, У. Ш.** Керамические материалы сегодня и завтра / У. Ш. Шаяхметов, Р. А. Амиров // Сб. научных трудов ГУП «БашНИПИСтром». — 2003. — Вып. 1. — С. 47–50.
3. **Бакунов, В. С.** Оксидная керамика: спекание и ползучесть : учеб. пособие по курсу «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» / В. С. Бакунов, А. В. Беяков, Е. С. Лукин, У. Ш. Шаяхметов ; под ред. В. С. Бакунова. — М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. — 584 с. ■

Получено 21.08.12
© К. А. Васин, А. Р. Мурзакова,
У. Ш. Шаяхметов, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

56th INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON REFRACTORIES 2013



September, 25th and 26th 2013 · EUROGRESS, Aachen, Germany

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

25–26 сентября 2013 г.
г. Аахен, Германия

Тематика:

- | | | |
|-------------------------|---|---------------------------|
| ■ Стекло | ■ Огнеупорное сырье | ■ Износ и коррозия |
| ■ Цемент, известь, гипс | ■ Формованные и неформованные огнеупоры | ■ Рециклинг |
| ■ Керамика | ■ Управление качеством | ■ Охрана окружающей среды |
| ■ Обжиг | ■ Служба огнеупоров в футеровке | |
| ■ Химические процессы | | |

www.feuerfest-kolloquium.de/kolloquium-2013

Д. Т. Н. С. Я. Давыдов¹, Д. Т. Н. Н. П. Косарев¹, Д. Т. Н. Н. Г. Валиев¹,
К. Т. Н. Д. И. Симисинов, Д. Т. Н. Г. Г. Кожушко², Д. А. Панов³

¹ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия

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

³ ЗАО «РОСМАШИНЖИНИРИНГ», г. Екатеринбург, Россия

УДК 621.674:666.123.22

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОВИНТОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Приведен анализ работы пневмовинтовых насосов на Березниковском содовом заводе для перемещения легкой соды по заданной трассе и использования сопловой секции для увеличения надежности работы насосов. Предложены конкретные рекомендации для увеличения пропускной способности и надежности работы пневмовинтовых насосов. Дана оценка по замене на длинных трассах винтовых насосов на камерные.

Ключевые слова: пневмовинтовой насос (ПВН), производительность, легкая сода, транспортный трубопровод, сжатый воздух, сопла, модернизация.

Пневмовинтовые насосы (ПВН) непрерывного действия предназначены для подачи по трубопроводу сухих пылевидных или мелкозернистых материалов при помощи сжатого воздуха. Пневмовинтовые насосы используют в качестве питателей пневмотранспортных установок внутризаводского транспорта цемента на цементных заводах, заводах железобетонных изделий и домостроительных комбинатах. Они широко применяются на предприятиях химической, металлургической, стекольной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности в пневмосистемах для транспортирования кальцинированной соды, сульфата натрия, глинозема, хлористого калия, фосфатов, золы, каменноугольной пыли, порошкообразных руд, удобрений и многих других материалов. Конструкция выпускаемых в настоящее время в России ПВН обеспечивает приведенную дальность транспортирования 230–430 м, в том числе 30 м по вертикали [1–3].

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются 4 основных типоразмера этих насосов производительностью от 10 до 100 т/ч. Первоначально конструкция отечественных ПВН в точности повторяла конструкцию насосов фирмы «Fuller», США, а в дальнейшем конструкция основных рабочих органов отечественных насосов была модернизирована, что значительно улучшило эксплуатационные показатели, а также долговечность и надежность этих машин.

Пневматические винтовые насосы в нормальных условиях эксплуатации и при квалифицированном обслуживании работают надежно в течение многих лет. В среднем долговечность таких

насосов составляет более 10 лет. К числу быстроизнашивающихся деталей ПВН в первую очередь относится быстроходный напорный шнек, долговечность которого в зависимости от типа применяемых электродов составляет 50–1000 ч непрерывной работы. Значительно меньше изнашиваются бронева гильза и тарелка обратного клапана. Долговечность сальниковой набивки в последних конструкциях уплотнения вала шнека составляет в среднем 300–350 ч непрерывной работы. Для обеспечения оптимальных сроков службы быстроизнашивающихся деталей необходимо систематически проверять состояние соответствующих узлов.

Износ шнека определяется путем периодического замера зазора между шнеком и гильзой. При увеличении этого зазора до 5 мм шнек должен быть заменен новым, а изношенный шнек восстанавливается наплавкой его витков электродами ВСН-6. При отсутствии таких электродов могут применяться электроды Т-590 или Т-620, но в этом случае долговечность шнека уменьшится почти в 2 раза. Наплавка должна выполняться квалифицированным сварщиком. Наплавленный шнек на специально приспособленном токарном станке обрабатывается на требуемый диаметр. Периодичность профилактического ремонта и восстановления шнека устанавливается в процессе эксплуатации насоса. Износ гильзы определяется путем замера ее диаметра. Допускается износ 3–4 мм на сторону, а вместе со шнеком — не более 6 мм. Время перенабивки сальника уплотнения вала определяется визуально путем наблюдения за работой насоса. При обнаружении легкого пыления сальник должен быть подтянут и в

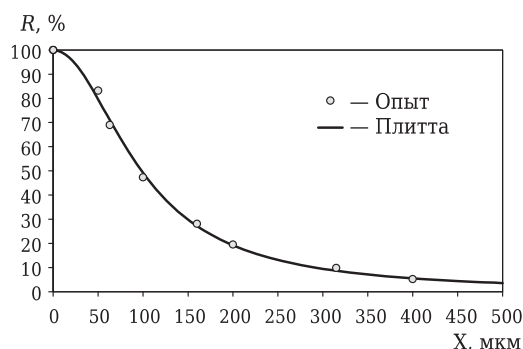


Рис. 1. Кривая полных остатков

дальнейшем набивка сальника должна быть заменена. При износе тарелки обратного клапана, не имеющей резиновой прокладки, тарелка должна быть проверена совместно с седлом на станке и обработана соответственно износу. Если резиновая прокладка имеется, при износе она заменяется.

В последние годы в связи с освоением новых составов износостойчивых наплавов, а также значительным улучшением конструкции напорного шнека для снижения его износа предел дальности подачи может быть увеличен до 500–800 м.

Недостатком известных устройств пневмотранспорта является то, что при повышении давления в смесительной камере возрастают сопротивление перемещению напорным шнеком материала и перетекание воздуха через шнек в загрузочную камеру. При обратном движении смеси материала и газа происходит забивание сопел. В этом случае уменьшается надежность работы всей системы пневмотранспорта. Дополнительная продувка пневмотранспортной установки требует значительного количества сжатого воздуха.

На Березниковском содовом заводе были проведены опытно-промышленные испытания пневмотранспортной системы по линии ПВН № 6 для

повышения ее производительности на 20 % и более. При транспортировании легкой соды марки Б из отделения кальцинации цеха № 1 в отделение по производству кальцинированной соды марки А на заводе использовали ПВН отечественных и зарубежных конструкций, которые работали с частыми остановками и не давали желаемой производительности по материалу. Гранулометрический состав легкой соды, мас. %: крупнее 0,315 мм 10,5, 0,2–0,315 мм 9,0, 0,16–0,2 мм 7,4, 0,1–0,16 мм 21,3, 0,063–0,1 мм 20,9, 0,045–0,063 мм 14,8, мельче 0,045 мм 16,2. Технические параметры пневмотранспорта приведены ниже:

Давление подводимого сжатого воздуха, МПа.	0,35
Температура подводимого сжатого воздуха, °С.	15
Диаметр транспортного трубопровода, мм.	250
Температура загружаемой соды, °С.	160
Плотность частиц соды, кг/м ³	1606
Насыпная плотность соды, кг/м ³	550
Температура двухфазного потока в установившемся режиме, °С.	130
Нормативная производительность по материалу, т/ч.	15
Допустимое предельное давление в камере ПВН, МПа.	0,15
Длина транспортного трубопровода, м.	280
Высота подъема транспортного трубопровода, м.	40
Производительность по перекачиваемому материалу, т/ч.	5,4–7,4

По данным гранулометрического ситового анализа максимальная крупность частиц легкой соды достигает 0,5 мм. Гранулометрический состав и интегральная кривая распределения частиц по размерам показаны на рис. 1 и приведены в таблице.

После вскрытия и тщательного обследования одного из насосов ПВН на промышленном предприятии была дана рекомендация на изменение

Гранулометрический состав соды

Сита, X _с , мкм	Среднее X _{ср} , мкм	Остаток R, %	Фракция r, %	Проход D, %	Аппроксимации кривой полных остатков R = f(X)		
					Плитта	Розина – Раммлера	норм.-логарифм.
400	450	5,20	5,20	94,80	5,54	1,81	4,29
315	358	9,82	4,62	90,18	8,68	5,30	7,83
200	258	19,54	9,72	80,47	19,22	19,69	19,66
160	180	28,12	8,59	71,88	27,19	29,67	28,04
100	130	47,32	19,20	52,68	49,13	51,76	49,45
63	82	69,00	21,68	31,01	71,07	69,73	70,69
50	57	83,21	14,21	16,80	79,67	76,58	79,55
0	25	100,00	16,80	0,00	100,00	100,00	100,00
Показатель крутизны кривой P					2,021	1,303	0,024
Средний размер X ₅₀ , мкм					98,284	104,010	98,860
Среднеквадратичное отклонение S					22,436	98,496	25,537

трассы и использование аэроднища [5] в камере смешения этого насоса, которое способствует интенсивному аэрированию сжатым воздухом транспортируемого материала. Камера смешения ПВН была оборудована модернизированной сопловой вставкой. Вместо одиннадцати цилиндрических сопел диаметром 10 мм были установлены в камере десять сверхзвуковых сопел диаметром 12 мм. Камера смешения ПВН рассматривалась как эжекторное устройство, из которого сыпучий материал направляется в трубопровод. Движущей силой эжекторного устройства является струя воздуха, вытекающая из активного сопла. Для получения максимальной тяги использованы сопла с высокой скоростью истечения (звуковые и сверхзвуковые). Схема модернизированной сопловой секции показана на рис. 2.

Сопловая секция состоит из трубопровода 1 подвода сжатого воздуха, распределительного патрубка 2, несущей панели-фланца 3, сопловых труб 4, 5 и сопел 6, расположенных в два ряда по высоте по 5 шт. в каждом, перегородки 7. Функциональные особенности предлагаемой конструкции показаны на рис. 3. Сопловая секция позволяет повысить разгонное воздействие на транспортируемый материал за счет увеличения длины сопловых труб и разделения их на две секции по высоте. При этом верхний ряд сопел придает начальный импульс падающему от шнека материалу. Затем нижний ряд, отделенный горизонтальной перегородкой от верхнего и имеющий большую длину труб, придает дополнительный импульс материалу и направляет его в транспортный трубопровод. Перегородка препятствует быстрому смещению струй из сопел верхнего и нижнего рядов и потере энергии.

Сверхзвуковые сопла могут быть профилированными (например, в виде сопла Лаваля) или коническими. Потери давления в сопле составляют незначительную часть общих потерь, поэтому наибольшее распространение в эжекторных устройствах имеют конические сверхзвуковые сопла [4], так как они более просты в изготовлении. На рис. 4 показано сверхзвуковое коническое сопло. Газ в сечении 1–1 имеет параметры торможения, в узком сечении 2–2 — критические параметры. В выходном сечении 3–3 газ имеет параметры, соответствующие сверхзвуковому режиму течения.

Наиболее часто при работе ПВН в зазор между шнеком и гильзой попадают инородные предметы (остатки мелющих тел, гвозди, болты и т. п.), встречающиеся в поступающей цементной массе. Это неизбежно приводит к заклиниванию шнека и остановке насоса. Необходимо срочно выключить электродвигатель и удалить заклинившийся предмет. Не менее часто встречаются случаи за-

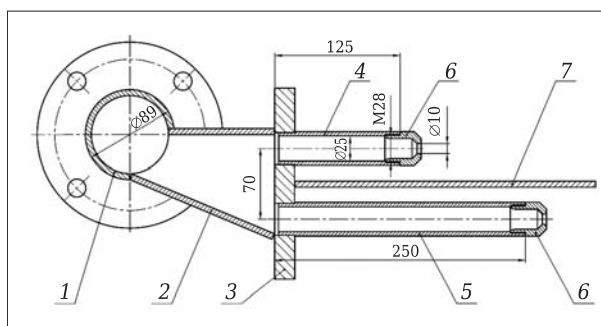


Рис. 2. Конструкция двухрядной сопловой секции

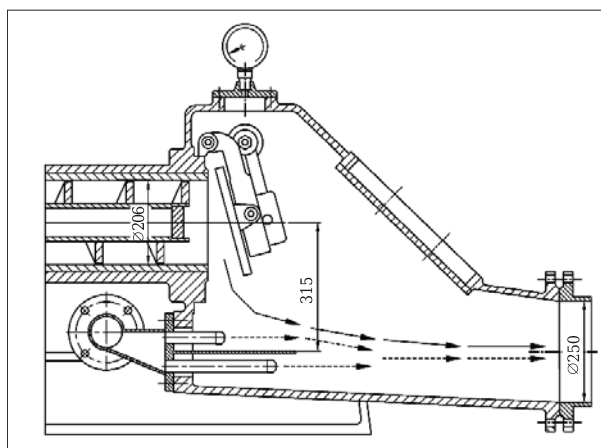


Рис. 3. Установка сопловой секции в камере ПВН

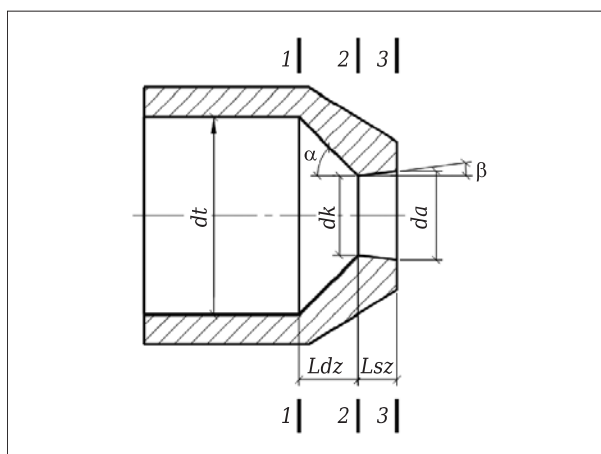


Рис. 4. Схема сверхзвукового конического сопла

купорки транспортного трубопровода вследствие неравномерной подачи цемента в смесительную камеру или перерывов в подаче сжатого воздуха. Обнаруживается это быстрым ростом рабочего давления в смесительной камере, фиксируемым манометром. Необходимо немедленно остановить напорный шнек и продуть трубопровод до получения минимального давления в смесительной камере ($0.2-0.3 \text{ кг/см}^2$).

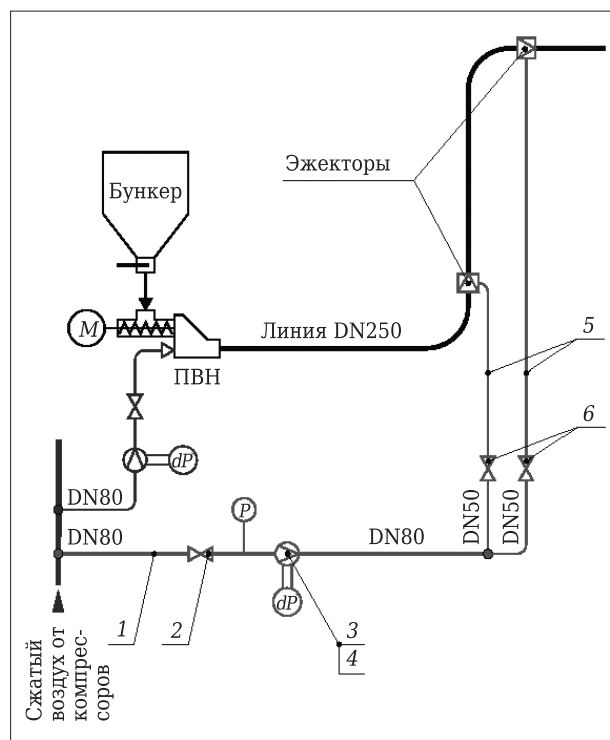


Рис. 5. Схема установки эжекторов: 1 — воздуховод DN80; 2 — шаровый кран DN80 PN10; 3 — расходомерная диафрагма DN80; 4 — дифференциальный манометр; 5 — воздуховод DN50; 6 — шаровый кран DN50 PN10

Кроме того, при недостаточно квалифицированном обслуживании насосов и несвоевременных профилактических ремонтах шнека, гильзы и обратного клапана, а также несвоевременной перенабивке сальника могут быть случаи вынужденной остановки работы машины. Схема установки эжекторов показана на рис. 5. Установка сверхзвуковых сопел в виде эжекторов № 1 и 2 по трассе показана на рис. 6.

Исследования, проведенные на промышленном предприятии, позволили предложить следующую модернизацию ПВН (рис. 7) с учетом ближайших прототипов [1–6]. Пневмовинтовой насос сыпучих материалов содержит приемную 1 и смесительную 2 камеры, соединенные между собой кожухом 3 с расположенным внутри него напорным шнеком 4. Обратный клапан 5 установлен в смесительной камере 2. Регулируемое сопло 6 для подвода сжатого воздуха размещено на кожухе 3 между концом приводного шнека 4 и обратным клапаном 5 смесительной камеры 2. Второе регулируемое сопло 6 смонтировано на транспортном трубопроводе 7. Регулируемое сопло 6 содержит конфузную обечайку 8 на опорном фланце 9. Поверх обечайки 8 установлена конусная насадка 10. Внутренняя поверхность конусной насадки 10 снабжена внутренней кольцевой выточкой 11, сообщающейся с воздухоподводящим трубопроводом магистрали 12 подачи сжато-

го воздуха. При этом конусная насадка 10 имеет внутреннюю конфузную поверхность 13. Кольцевой зазор 14 образован поверхностями обечайки 8 и поверхностью 13 конусной насадки 10. На воздухоподводящем трубопроводе магистрали 12 установлен клапан 15. На выходе конусной насадки 10 поверхность 13 выполнена со смещенной осью 16 вниз на величину δ относительно оси 17 обечайки 8 с образованием серповидного зазора 14. Толщина серповидного зазора 14 может быть отрегулирована винтовым устройством 18. Для исключения попадания частиц материала в клапан 15 и магистраль 12 подачи сжатого воздуха кольцевая выточка 11 снабжена пористой перегородкой 19 с малым сопротивлением для прохода сжатого воздуха (например, беспровальной металлической сеткой). Пористая перегородка 19 является аэрирующим устройством.

Пневмовинтовой насос работает следующим образом. Транспортируемый сыпучий материал поступает в приемную камеру 1 и подается напорным шнеком 4 в кожух 3. Попадая в конфузную насадку 10 регулируемого сопла 6, расположенный после последнего витка шнека 4 сыпучий материал спрессовывается до образования пробки. Эта пробка из сыпучего материала обеспечивает надежное уплотнение между приемной и смесительной камерами 1 и 2. Кроме того, спрессованный материал не позволяет проникнуть сжатому воздуху в обратную сторону в случае образования противодавления в пневмотранспортном трубопроводе.

После выхода из регулируемого сопла 6 спрессованный материал подхватывается многочисленными струями сжатого воздуха из серповидного щелевого отверстия 14 и подается через смесительную камеру 2 в транспортный трубопровод 7. Многочисленные струи сжатого воздуха образуются в результате наличия в кольцевой выточке 11 пористой перегородки 19. Струи сжатого воздуха хорошо аэрируют транспортируемый материал. При обратном движении материаловоздушной среды в случае возникновения противодавления в транспортном трубопроводе 7 пористая перегородка второго сопла 6 не пропускает частицы материала в магистраль 12. В этом случае сопло 6, установленное на кожухе 3, перекрывается обратным клапаном 5.

Наличие серповидного щелевого отверстия 14 позволяет пропускать сжатый воздух в большей степени по нижней внутренней части трубопровода, предохраняя его стенку от абразивного износа. В этом случае уменьшается расход сжатого воздуха и увеличивается дальность подачи материала. Возможность регулирования толщины серповидного зазора отражается также как на энергозатратах, так и на дальности транспортирования. Регулируемое сопло 6 предназначено для создания пробки из спрессованного материала,

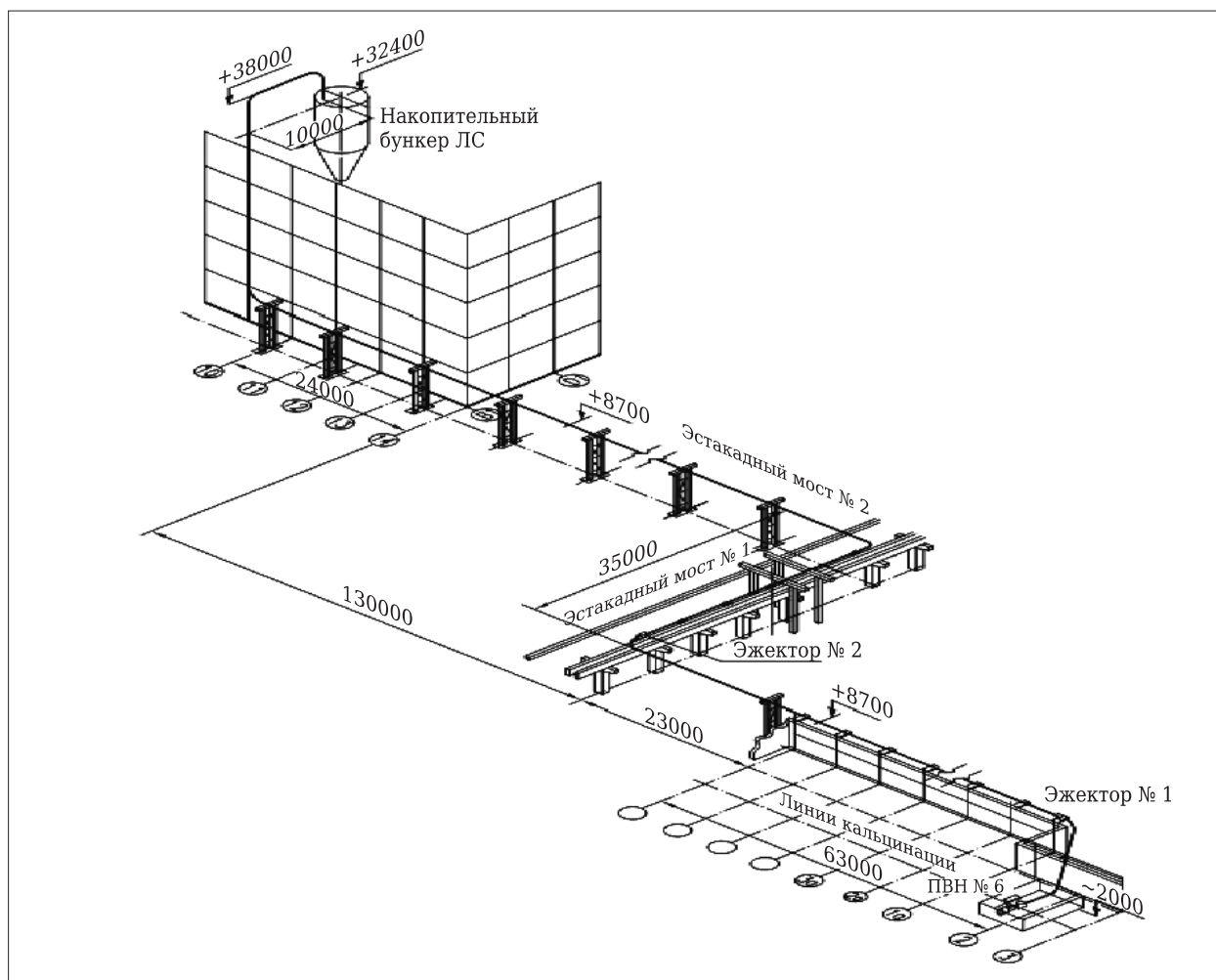


Рис. 6. Схема транспортной линии ПВН № 6

подвода основного материалонесущего сжатого воздуха, аэрации транспортируемого материала и его перемещения по трубе, защиты от попадания материала в воздухоподводящую трубу при возникновении противодействия в транспортном трубопроводе.

Таким образом, при установке регулируемого сопла перед обратным клапаном и по длине транспортного трубопровода уменьшаются энергозатраты на перемещение транспортируемого материала, увеличивается производительность пневмотранспорта и дальность подачи материала, уменьшается абразивный износ транспортного трубопровода, повышаются надежность и стабильность работы пневмотранспорта. Однако на длинных трассах все-таки винтовые насосы необходимо заменять на камерные.

Экспансия иностранных производителей на рынке оборудования для промышленности РФ не нуждается в специальных комментариях. Декларируемые иностранными производителями технические характеристики оборудования, как правило, подкупающе действуют на потенциального клиента и сулят определенные выгоды. Одной из

декларируемых фирмами-поставщиками выгод является снижение энергозатрат от внедрения нового оборудования. Экономический анализ затрат на приобретение и эксплуатацию ПВН фирмы «IBAU», Германия, и пневмокамерного насоса (ПКН) российского производства со встроенными энергосберегающими устройствами (ВЭУ) [7–14], которые успешно были внедрены на предприятиях России, показал следующее:

- замена ПВН на ПКН с ВЭУ позволяет в течение 1 года окупить затраты за счет экономии электроэнергии, которая ранее тратилась на привод шнека, и сократить потребление сжатого воздуха на транспортировку сыпучих материалов. При этом не требуется менять диаметры транспортных трубопроводов;
- ПКН с ВЭУ экономичнее ПВН, так как не имеет электромеханических устройств для проталкивания перекачиваемого продукта в смешительную камеру;
- трудозатраты персонала на обслуживание ПКН значительно ниже, чем ПВН. Нормы амортизационных отчислений на капитальный ремонт ПКН ниже, чем для ПВН, в 2,4 раза;

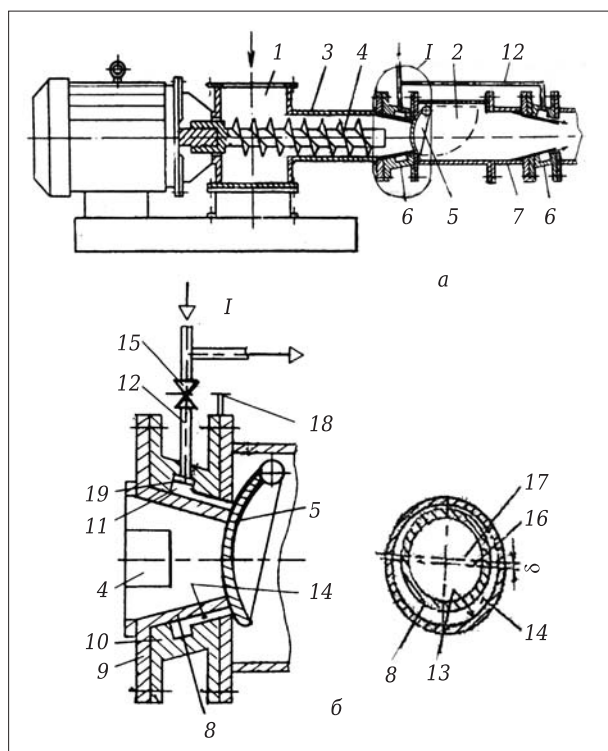


Рис. 7. Модернизированный ПВН сыпучих материалов: *а* — общий вид ПВН; *б* — серповидное щелевое отверстие

— ПКН имеет более высокий коэффициент использования в сравнении с ПВН прежде всего из-за отсутствия быстро изнашиваемых узлов: шнека, гильзы, обратного клапана и электромеханического привода;

— режим пневмотранспорта плотного слоя с минимальным удельным расходом воздуха возможен только при использовании пневмотранспортных насосов с высоким давлением воздуха — ПКН;

— при одинаковой производительности насосов по материалу ПВН имеет расход воздуха в 2 и более раз выше, чем ПКН, при работе ПКН в режиме плотного слоя — в 4–5 раз;

— основная причина неэффективной работы ПВН — рабочее давление часто более 0,15 или 0,1 МПа, хотя обычно декларируется 2 МПа. Это вызвано проходом сжатого воздуха сквозь клапан и винт в противоположную сторону. ПКН использует рабочее давление компрессора практически полностью, в камере может быть давление от 0,4 до 0,6 МПа.

В 2011 г. в ОАО «Березниковский содовый завод» успешно проведена модернизация ПВН с увеличением производительности на 36 %. В 2012 г. компания «РОСМАШИНЖИНИРИНГ» совместно с компанией «RUD Ketten» (конвейеры, элеваторы) и ООО ЗПТО (пневмокамерные насосы) выполнила проект, успешно прошла экспертизу промышленной безопасности по модернизации трех транспортных линий в ОАО «Березниковский содовый завод» с учетом вышеуказанных рекомендаций.

Библиографический список

1. **Евтюков, С. А.** Пневмотранспортное оборудование в строительной индустрии и строительстве / С. А. Евтюков, М. М. Шапунов; под ред. С. А. Евтюкова. — СПб.: ДНК, 2005. — 360 с.
2. **Калинушкин, М. П.** Пневмотранспортное оборудование: справочник / М. П. Калинушкин [и др.]. — Л.: Машиностроение, 1986. — 286 с.
3. **Малевич, И. П.** Транспортировка и складирование порошкообразных строительных материалов / И. П. Малевич, В. С. Серяков, А. В. Мишин. — М.: Стройиздат, 1984. — 184 с.
4. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
5. **А. с. 509505 RU.** Пневматический винтовой насос для транспортирования порошкообразных материалов / М. А. Кошель, И. П. Малевич, В. В. Питулько, М. М. Шапунов. — № 2000947/27-11; заявл. 28.02.74; опубл. 05.04.76, Бюл. № 13.
6. **Пат. 2252908 RU.** Устройство для пневматического транспортирования сыпучих материалов / Давыдов С. Я., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2003120338; заявл. 02.07.03; опубл. 27.01.05, Бюл. № 15.
7. **Давыдов, С. Я.** Пути повышения пропускной способности пневмотранспорта / С. Я. Давыдов, Г. Г. Кожушко, И. Д. Кащеев, В. А. Матафонова // Новые огнеупоры. — 2011. — № 4. — С. 26–30.
8. **Пат. 1437320 SU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Павлухин М. А., Бызов П. С., Вебер Г. А., Сидоренко С. П., Маричев В. Т., Бюл. № 42.
9. **Пат. 1676970 SU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Павлухин М. А., Сидоренко С. П., Маричев В. Т. — № 4725468; заявл. 01.08.89; опубл. 15.09.91, Бюл. № 34.
10. **Пат. 2083458 RU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Пономарёв А. В., Азенко Г. Г., Павлухин М. А. — № 94038134; заявл. 10.10.94; опубл. 10.07.97, Бюл. № 19.
11. **Пат. 2189931 RU.** Способ транспортирования сыпучих материалов с повышенной концентрацией в газовой смеси / Давыдов С. Я., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2000103119; заявл. 08.02.00; опубл. 27.09.02, Бюл. № 27.
12. **Пат. 2190569 RU.** Камерный питатель нагнетательный пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2000103120; заявл. 08.02.00; опубл. 10.10.02, Бюл. № 28.
13. **Пат. 2255889 RU.** Камерный питатель пневмотранспортной установки / Давыдов С. Я., Катаев А. В., Рукомойкин А. А., Пономарёв А. В. — № 2003120339; заявл. 02.07.03; опубл. 10.07.05, Бюл. № 19.
14. **Давыдов, С. Я.** Совершенствование пневмотранспорта порошкообразных материалов / С. Я. Давыдов, Г. Э. Вебер // Изв. вузов. Горный журнал. — 2000. — № 3. — С. 198–202. ■

Получено 13.12.12

© С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев, Н. Г. Валиев, Д. И. Симисин, Г. Г. Кожушко, Д. А. Панов, 2013 г.

Д. Т. Н. Ю. Е. Пивинский¹, П. В. Дякин², Д. В. Горбачёв³, К. Э. Н. С. А. Стрельцов³

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

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

³ ООО «ВКВС-Технологии», г. Липецк, Россия

УДК 666.762.1:66.063.62

ПОЛУЧЕНИЕ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА СПЕЧЕННОЙ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ВКВС. Часть II*

Изучены процесс спекания и некоторые свойства образцов тонкой алюмосиликатной керамики, полученной на основе ВКВС из боя электрофарфора и перлита. После обжига при 1000–1150 °С керамика характеризуется открытой пористостью 1–8 %, пределом прочности при изгибе и сжатии 45–65 и 350–500 МПа соответственно. По сравнению с традиционными тонкокерамическими материалами, такими как фарфор, полуфарфор, твердый фаянс, майолика, в новой технологии сопоставимые свойства достигаются при значительно (в 3–5 раз) меньшей общей усадке и пониженной (на 150–200 °С) температуре обжига. Обозначены возможные направления реализации ВКВС-технологий в области производства не только традиционной тонкой керамики, но и тонкозернистой строительной и архитектурно-художественной керамики.

Ключевые слова: ВКВС, отливки, спекание, пористость, усадка, прочность, тепловое расширение, тонкая керамика, архитектурно-художественная керамика.

СПЕКАНИЕ И НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Основные исследования проведены с использованием образцов, изготовленных из двух раздельно полученных суспензий — на основе боя керамики и перлита. Отливки для исследований были получены как из исходных суспензий (ВКВС), так и из бинарных смесей с содержанием перлита (по твердому) от 10 до 75 мас. %. Изучены характеристики исходных суспензий или отливок на их основе и материалов после обжига существенно различаются. Отдельные опыты проведены на отливках, полученных на основе смешанных ВКВС совместного помола с введением затравочной суспензии перлита.

Термообработку и обжиг образцов-отливок после их предварительной сушки при 110–150 °С проводили в электрической лабораторной печи по скоростному режиму с изотермической выдержкой 1 ч при 400, 600, 800, 900, 950, 1000, 1050, 1100 и 1150 °С со скоростью нагрева 300 °С/ч. Общая продолжительность регулируемого процесса обжига даже для максимальных температур не превышала 5 ч. После 1-ч выдержки при максимальной (заданной) температуре образцы самопроизвольно охлаждались в печи. За-

тем определяли: потерю массы, открытую пористость $P_{отк}$, кажущуюся плотность $\rho_{каж}$, пределы прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ и сжатии $\sigma_{сж}$ термообработанных (400–800 °С) и обожженных (900–1150 °С) образцов.

Закономерно, что основные свойства образцов всех изученных составов определяются прежде всего показателями их усадки при термообработке (обжиге). Величина усадки зависит от состава и температуры обжига образцов. Кроме этих характеристик изучали также показатель теплового расширения и структуру полученных материалов.

На рис. 1 представлены сопоставительные данные об изменении линейной усадки Δl при неизотермическом нагреве отливок на основе перлита и смешанного состава. Для отливки на основе перлита заметная усадка отмечается при температуре выше 200 °С, при 600–700 °С она достигает 0,8–0,9 %. Было установлено, что нагрев отливок перлита в интервале 200–800 °С сопровождается значительной (3,5–4,0 %) потерей их массы в результате удаления химически связанной воды. При нагреве выше 800 °С начинается усадка, обусловленная спеканием материала. Особенно интенсивно она проявляется в интервале 900–1000 °С. Полное спекание отливки, соответствующее линейной усадке около 7,0 %, происходит при 1100 °С.

* Часть I статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 2 за 2013 г., с. 30–41.

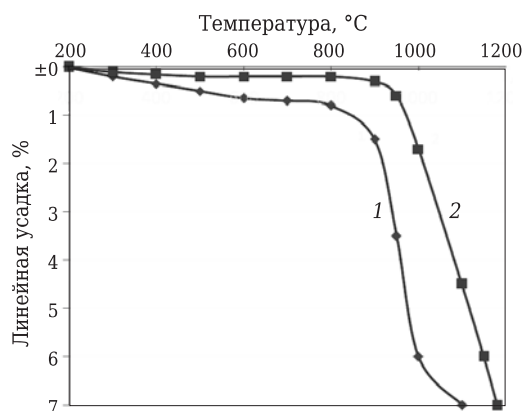


Рис. 1. Линейная усадка при неизотермическом нагреве (5 °С/мин) отливок на основе перлита (1) и смешанного состава с 20 % перлита (2) в зависимости от температуры

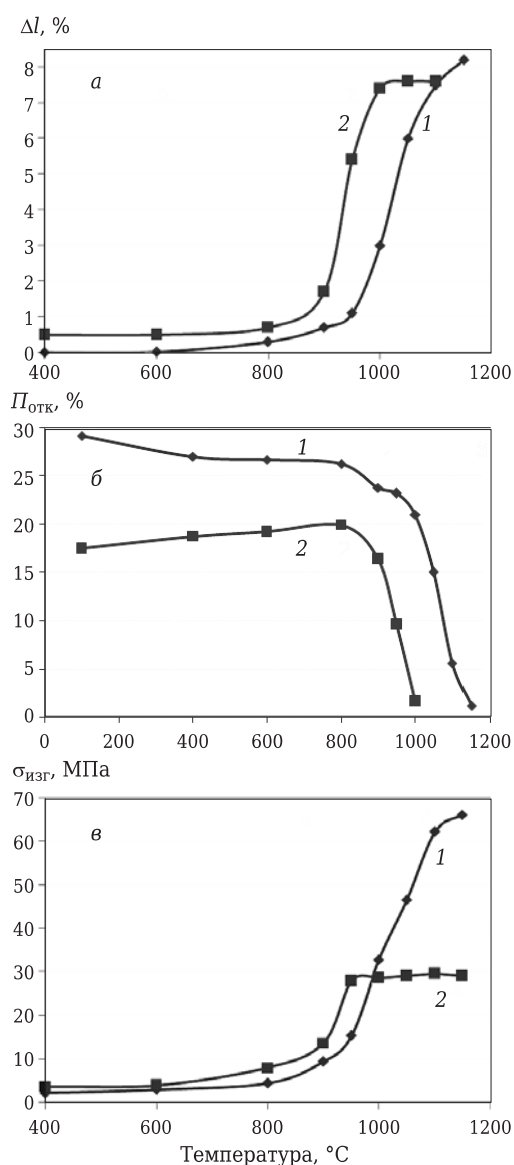


Рис. 2. Влияние температуры обжига (выдержка 1 ч) на Δl (а), $P_{отк}$ (б) и $\sigma_{изг}$ (в) отливок на основе ВКВС из боя керамики (1) и перлита (2)

Рассмотренный характер изменения усадки отливки на основе перлита в определенной степени определяет показатели свойств отливки смешанного состава, содержащей 20 % перлита. В частности, для нее тоже характерна усадка в интервале 200–800 °С, которая составляет 25–30 % от аналогичных значений усадки для отливки перлита. Усадка, определяемая спеканием материала, проявляется при температурах, превышающих 900 °С. Интенсивное спекание и основная усадка происходят в интервале 1000–1150 °С. Максимальная усадка при этом достигает 7 %. Влияние температуры обжига на показатели Δl , $P_{отк}$ и $\sigma_{изг}$ образцов на основе базовых ВКВС — из боя керамики и перлита показано на рис. 2.

По аналогии с данными рис. 1 для образцов перлита уже при 600 °С отмечается усадка около 0,6 %. Выше 900 °С происходит ее резкий рост. Закономерно, что пропорционально увеличению усадки снижается $P_{отк}$ и увеличивается $\sigma_{изг}$ образцов (см. рис. 2). Для образцов на основе ВКВС из боя керамики аналогичный рост усадки смещается на 80–100 °С по сравнению с образцами для перлита. При этом максимальные значения усадки для кривых 1 и 2 рис. 2 сопоставимы (7,5 и 8,0 %). Некоторый рост пористости образцов перлита в области температур до 900 °С обусловлен его дегидратацией (удалением химически связанной воды). Если для образцов на основе ВКВС из боя керамики отмечается значительный рост прочности и при максимальных температурах обжига, то для образцов на основе ВКВС перлита рост $\sigma_{изг}$ достигает максимальных значений (~30 МПа) при 1000 °С. Значительная разница в показателях прочности образцов в области повышенных температур обусловлена различием структуры сравниваемых материалов — стекло-видной для перлита и в определенной мере кристаллической (с содержанием стеклофазы) — для керамики.

Данные о влиянии состава исходных отливок на их Δl , $P_{отк}$, $\rho_{каж}$ и $\sigma_{изг}$ после обжига при различных температурах представлены на рис. 3. Введение 10 % перлита способствует уже заметному повышению усадки и понижению открытой пористости отливок после спекания при температурах, превышающих 900 °С. В то же время при температурах обжига 1000–1150 °С показатели прочности материалов с содержанием перлита до 50 % понижаются. Для образцов, содержащих 75 % перлита и 25 % боя керамики, характерны значения $\sigma_{изг}$, которые достигают 50 МПа, что более чем в 1,5 раза выше аналогичных значений $\sigma_{изг}$ у образцов перлита. Судя по данным рис. 3, наиболее существенное падение пористости образцов керамики после обжига при 1000–1100 °С

наблюдается при содержании перлита 20–30 % (см. рис. 3, б, кривые 5, 6 и 7). Так, для образцов, соответствующих кривой 5 (обжиг при 1050 °С), более чем двойное уменьшение $P_{отк}$ (с 15 до 6,5 %) отмечается для состава с 20 % перлита. Еще более значительный эффект для образцов аналогичного состава был достигнут при совместном мокром измельчении компонентов с предварительным введением затравочной суспензии перлита. Данный аспект будет рассмотрен в заключительной части настоящей статьи.

Для материалов, формируемых методом шликерного литья, одним из факторов, влияющих на пористость полуфабриката, а соответственно, и на свойства керамики после обжига, является концентрация (или влажность) исходной суспензии. Применительно к данному процессу формирования кварцевой керамики было установлено, что для относительно крупнодисперсных суспензий понижение их плотности посредством разбавления водой от 1,9 до 1,7 г/см³ сопровождалось уменьшением плотности отливки от 1,98 до 1,85 г/см³ [20, с. 130]. В то же время для суспензий кварцевого стекла со средней или высокой дисперсностью уменьшение концентрации исходной суспензии в довольно широких пределах на плотность отливки заметного влияния не оказывало. Данное различие обусловлено эффектом седиментации крупнодисперсных суспензий [20, с. 129].

С целью исследования влияния рассматриваемого фактора методом смешивания были получены предельно концентрированные ВКВС бинарного состава, содержащие 20 % перлита, с $C_V = 0,70$. Отливки получали как из ВКВС этой концентрации, так и после ее разбавления до C_V 0,65, 0,60 и 0,55. Было установлено, что независимо от C_V значения кажущейся плотности и открытой пористости отливок находились в достаточно узких пределах: 1,90–1,94 г/см³ и 20,5–22,5 % соответственно.

После обжига отливок при 1000 и 1100 °С определяли их $\rho_{каж}$, $P_{отк}$ и $\sigma_{изг}$. Было установлено, что для спеченных образцов значения этих характеристик также не зависят от C_V исходных ВКВС (рис. 4). С повышением температуры обжига образцов разброс соответствующих значений показателей уменьшается. Так, для $P_{отк}$ и $\sigma_{изг}$ образцов после обжига при 1100 °С (см. рис. 4, б) их разница не превышает 0,5 % и 3 МПа соответственно.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что понижение исходной концентрации ВКВС в изученных пределах не оказывает отрицательного влияния на структуру полуфабриката и керамики после спекания. Обусловлено это высокой седиментационной устойчивостью исходных

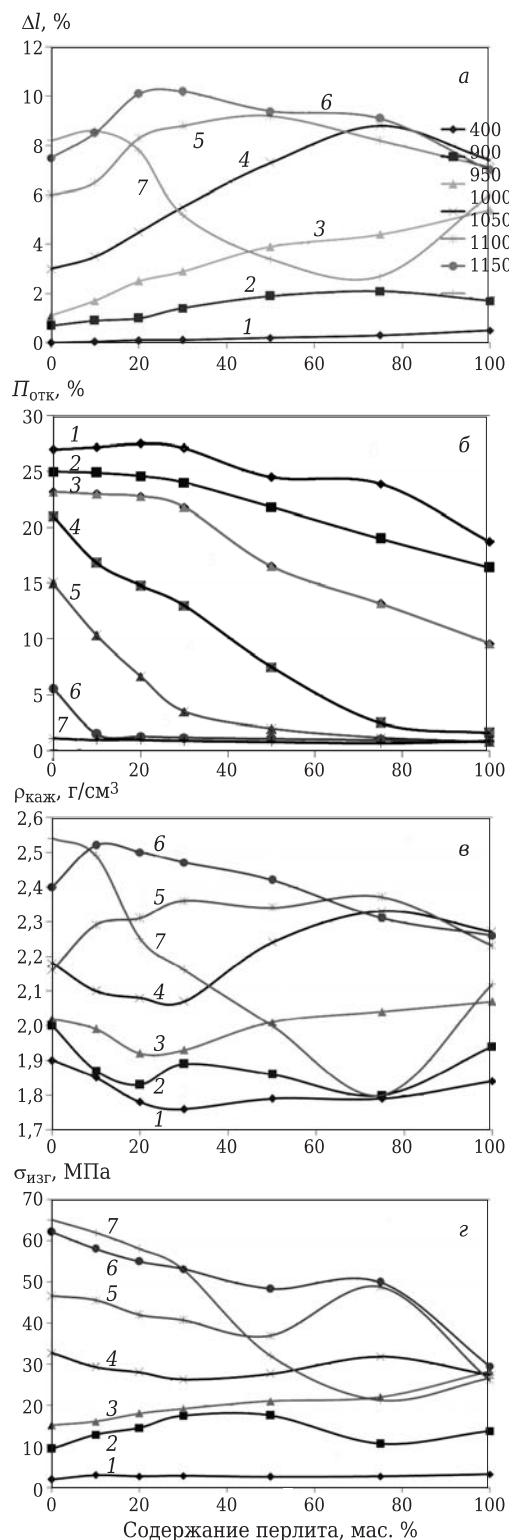


Рис. 3. Влияние содержания перлита в ВКВС на показатели Δl (а), $P_{отк}$ (б), $\rho_{каж}$ (в) и $\sigma_{изг}$ (г) отливок после термообработки и обжига при температуре, °С: 1 — 400; 2 — 900; 3 — 950; 4 — 1000; 5 — 1050; 6 — 1100; 7 — 1150 °С (выдержка 1 ч)

ВКВС, которая характерна для ВКВС с тиксотропно-дилатантным характером течения. Следует отметить, что в том случае, когда пониженные

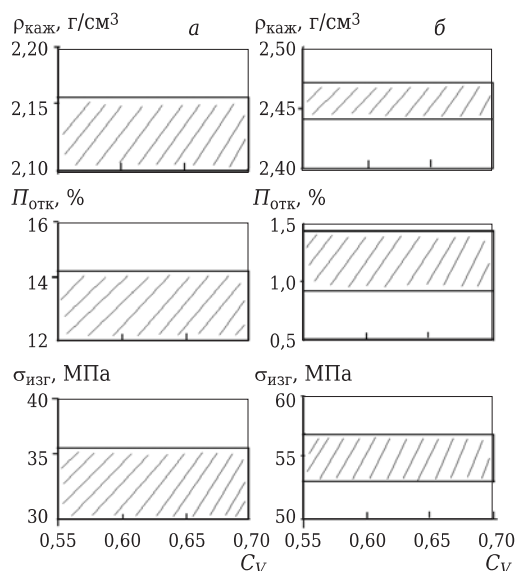


Рис. 4. Область значений $\rho_{\text{каж}}$, $P_{\text{отк}}$ и $\sigma_{\text{изг}}$ образцов керамики с 20 % перлита после обжига (выдержка 1 ч) при 1000 (а) и 1100 °С (б)

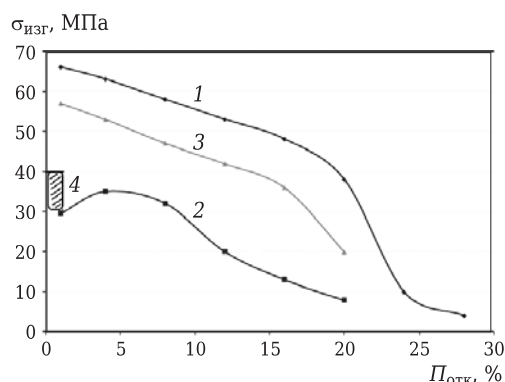


Рис. 5. Зависимость $\sigma_{\text{изг}}$ от $P_{\text{отк}}$ образцов на основе ВКВС из боя керамики (1) и перлита (2), смешанной ВКВС с 20 % перлита (3) и исходной электроизоляционной керамики (4)

значения C_V ВКВС задаются непосредственно в процессе их получения (мокрого помола и стабилизации), отливки и керамика по показателям свойств значительно уступают материалам, полученным из более концентрированных суспензий [3, с. 41].

На рис. 5 показана зависимость $\sigma_{\text{изг}}$ от $P_{\text{отк}}$ образцов, изготовленных на основе исходных ВКВС из боя керамики (1) и перлита (2) и смешанной ВКВС с содержанием 20 % перлита (3), полученной совместным измельчением. Там же представлены $\sigma_{\text{изг}}$ для образцов электрокерамики производства ООО «КДС-Липецк», т. е. материала, на основе боя которого получена ВКВС, соответствующая кривой 1 рис. 5. С этой целью из глазурованных и неглазурованных изделий вырезали об-

разцы размерами 8×8×50 мм, на которых определяли $P_{\text{отк}}$ и $\sigma_{\text{изг}}$.

Максимальными показателями прочности при сопоставимой пористости характеризуются материалы, полученные из боя керамики (см. рис. 5, кривая 1). При этом в интервале значений $P_{\text{отк}}$ 1–15 % наблюдается практически прямолинейная зависимость прочности от пористости. Материалы на основе ВКВС перлита во всем интервале значений $P_{\text{отк}}$ по значениям $\sigma_{\text{изг}}$ значительно уступают образцам на основе ВКВС из боя керамики. Столь существенная разница обусловлена стеклообразной структурой перлита. При этом максимальные значения $\sigma_{\text{изг}}$ отмечаются при открытой пористости 5 %. Весьма высокий уровень прочности характерен для материалов на основе ВКВС смешанного состава (см. рис. 5, кривая 3). В интервале пористости 1–10 % различие в показателях $\sigma_{\text{изг}}$ по сравнению с кривой 1 при сопоставимых значениях $P_{\text{отк}}$ не превышает 15 %. Весьма примечательно, что значения $\sigma_{\text{изг}}$ для базового материала — традиционной электроизоляционной керамики, полученной пластическим формованием (см. рис. 5, область 4), значительно уступают аналогичным показателям материалов, соответствующих кривым 1 и 3. Следует отметить, что объем испытуемых образцов базового материала был в 3,0–3,5 раза меньше, чем образцов, соответствующих кривым 1–3. Между тем влияние масштабного фактора на показатели прочности весьма значительно [2]. Кроме того, поверхность части образцов из базового материала была глазурованной, а остальных образцов (кривые 1–3) — неглазурованной. Между тем известно, что предел прочности при изгибе для глазурованных образцов существенно (на 30–40 %) выше, чем образцов без глазури [10, 11]. Например, показатели $\sigma_{\text{изг}}$ неглазурованного твердого фарфора пластического формования 40–78 МПа, глазурованного 52–119 МПа [10, с. 234]. Приведенные данные свидетельствуют о том, что прочностные свойства материалов, полученных на основе ВКВС, значительно выше аналогичных показателей такой же керамики, изготовленной по традиционной технологии. Вполне возможно, что $\sigma_{\text{изг}}$ образцов на основе ВКВС в случае уменьшенных размеров и глазурованной поверхности могут достигнуть 100–120 МПа.

Одной из важных характеристик тонкокерамических материалов является их термическое расширение, оцениваемое обычно температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) для заданной температуры α или относительным линейным удлинением Δl в процессе нагрева. На рис. 6 представлены данные об относительном тепловом расширении обожженных об-

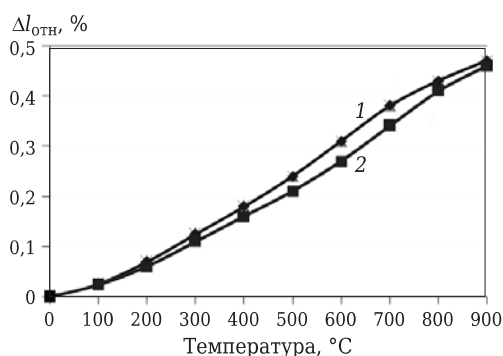


Рис. 6. Относительное тепловое расширение $\Delta l_{отн}$ образцов на основе ВКВС из боя керамики (1) и перлита (2)

разцов, полученных на основе ВКВС из боя керамики и перлита. Рассматриваемые материалы характеризуются близкими значениями теплового расширения. Значения α при 500 и 700 °C составляют $5,34 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и $5,87 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для образца из керамики и $5,28 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и $5,64 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для образца перлита. Согласно литературным данным, значения α при 700 °C для фарфоровых и фаянсовых изделий различных составов находятся в пределах $(4,0-6,5) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и $(7,0-8,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ соответственно [10, 11]. Следовательно, α полученных материалов сопоставимо или даже ниже, чем у традиционного фарфора и фаянса. Кроме того, значения ТКЛР керамики на основе ВКВС только на 17–22 % превышают этот показатель для весьма термостойкой керамики чисто муллитового состава, которая при 500, 700 и 1000 °C характеризуется значением α , равным $4,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и $5,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [25, с. 199].

В результате предварительных рентгеноструктурных исследований установлено, что образцы на основе ВКВС перлита даже после обжига при 1000 °C имеют аморфную (стеклообразную) структуру (рис. 7). Образцы из керамики на основе смешанных ВКВС после обжига при 1100 °C содержат фазы, %: протоэнстатит MgSiO_3 7, метанатролит $\text{Na}_{1,82}(\text{Al}_2\text{SiO}_{10})$ 6, анортотлаз $(\text{Na}, \text{K})(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$ 7, β -кварц 10, остальное (~70 %) — стеклофаза. В материале вопреки предположениям отсутствует муллит. Хотя, судя по данным

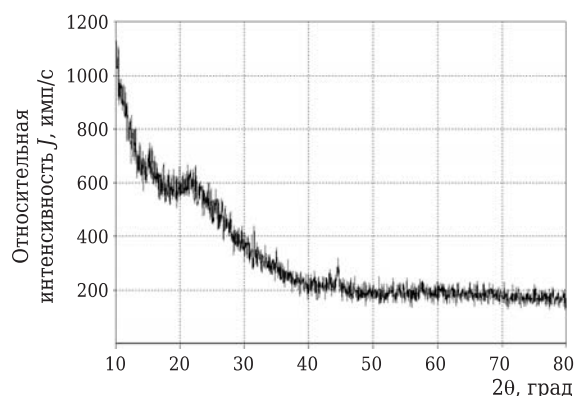


Рис. 7. Рентгенограмма образца на основе ВКВС перлита после обжига при 1000 °C

[10, 11], это характерно для керамики группы мягкого фарфора.

Структура спеченных образцов керамики была изучена на японском растровом электронном микроскопе (РЭМ). На электронных снимках (рис. 8) с различным увеличением видны полидисперсный состав исходных частиц в спеченном материале (а) и наличие в нем значительного количества ультратонких частиц (б) и наночастиц размерами 50–80 нм (в).

СОПОСТАВИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТРАДИЦИОННЫМИ

В заключительной части настоящей статьи представляется целесообразным проанализировать свойства полученных материалов в зависимости от их состава и технологических особенностей получения, провести сопоставительную оценку свойств и технологических характеристик с ближайшими аналогами. В качестве аналогов приняты традиционные тонкокерамические материалы (см. таблицу). Выбор аналогов обусловлен их химико-минеральным составом (все они из группы полукислых) и методом формования (из пластичных масс или методом литья).

В качестве сравниваемых технологических характеристик и параметров приняты температура обжига, потери массы в процессе обжига $m_{\text{п}}$ и общая линейная усадка, а в качестве критериев, ха-

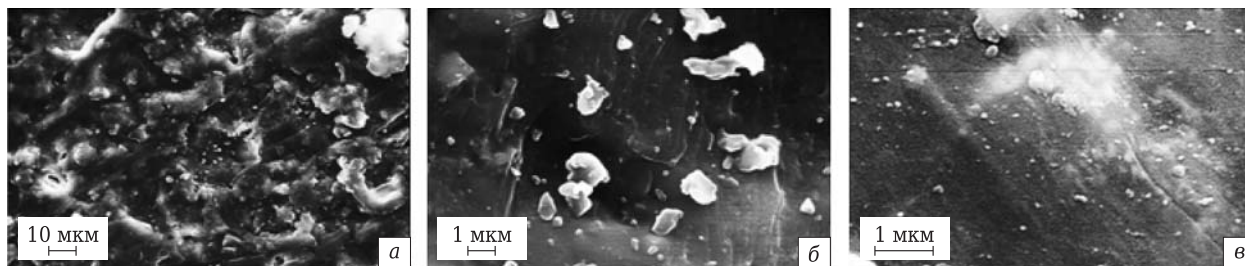


Рис. 8. Электронные снимки структуры керамики на основе смешанной ВКВС после обжига при 1100 °C с различным увеличением: а — $\times 1000$; б — $\times 10000$; в — $\times 20000$

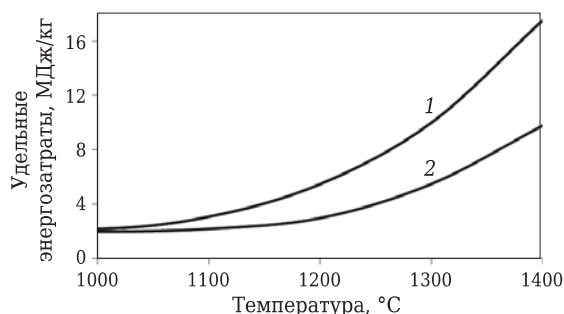


Рис. 9. Зависимость максимальных (1) и минимальных (2) энергозатрат от температуры обжига керамических изделий

рактизирующих свойства материалов, — водопоглощение, кажущаяся плотность, пределы прочности при сжатии и изгибе. Для всех аналогов перечисленные параметры и свойства приведены в соответствии с показателями, указанными в весьма авторитетных изданиях [10, 11, 22–25].

Из полученных в настоящей работе новых материалов в таблице представлена керамика, полученная без добавки перлита (состав 1), а также керамика смешанного состава с 20 % перлита (составы 2 и 3). Исходные ВКВС для состава 2 были получены методом смешивания предварительно полученных индивидуальных суспензий, для состава 3 — совместным мокрым помолом с предварительным введением в состав мелющей загрузки 20 мас. % «затравочной» суспензии перлита.

Из сопоставления характеристик обожженных при 1000 °C материалов составов 2 и 3 очевидно значительное влияние технологии исходных ВКВС на свойства полученной из них керамики. Материалы из ВКВС совместного помола (состав 3) характеризуются значительно меньши-

ми (практически в 2 раза) показателями пористости и водопоглощения. Их усадка при обжиге на 0,8 % ниже, пределы прочности при сжатии и изгибе на 45 и 60 % выше соответственно. Такая существенная разница обусловлена двумя основными факторами — повышенным содержанием наночастиц в ВКВС, полученных совместным мокрым помолом, и пониженной пористостью отливки на их основе (20 %). При повышении температуры обжига образцов смешанного состава до 1150 °C их свойства оказываются достаточно близкими к показателям образцов состава 1.

В отличие от аналогов (см. таблицу, составы 4–8) характерной особенностью материалов, полученных на основе ВКВС (1–3), является существенно меньшая температура обжига, требуемая для достижения сравнимой пористости или водопоглощения. Так, температура обжига фарфора (состав 8) на 170–300 °C выше, чем у керамики на основе ВКВС (состав 1). Уровень показателей водопоглощения, характерный для полуфарфора (4–5 %), для керамики состава 3 достигается при 1000 °C, что на 200–300 °C ниже по сравнению с требуемой для аналогов. Исключительная значимость этого фактора с технико-экономической точки зрения проиллюстрирована рис. 9, на котором показана область энергозатрат в зависимости от конечной температуры обжига различных керамических материалов [4, с. 205]. При повышении температуры обжига с 1000 до 1400 °C энергозатраты увеличиваются в 8–10 раз.

Максимальная разница между полученными в настоящей работе керамическими материалами и традиционными отмечается при сопоставлении показателей потерь массы при обжиге. Высокие значения $m_{\text{п}}$ аналогов (7,0–7,8 %) обусловлены

Сопоставляемые характеристики свойств алюмосиликатной керамики

Со- став	Материал	Температура обжига, °С	Водопо- глоще- ние, %	Потери массы при обжи- ге, %	Общая линейная усадка, %	Кажущая- ся плот- ность, г/см ³	Открытая порис- тость, %	Предел прочности, МПа	
								при сжатии	при изгибе
На основе ВКВС:									
1	из боя электрокерамики, смешанной с 20 % перлита:	1150*	0,5–0,8	1,4	8,2	2,52	1,0–1,5	500	65
2	раздельного помола	1000*	7,2	1,6	4,5	2,10	15	240	28
3	совместного помола	1000*	3,3	1,6	3,7	2,28	7,8	350	45
Аналоги:									
4	шамотированный фаянс	1250–1280	10–16	4–5	7–10	1,8–1,9	12–25	15–30	4–8
5	майолика	1020–1060	8–15	6,2–6,8	10–12	1,85–1,95	10–20	60–90	10–20
6	твердый фаянс	1220–1280	10–12	7,0–7,8	12–15	1,92–1,96	9–15	70–100	15–30
7	полуфарфор	1200–1300	4–5	6,3–7,5	18–22	2,0–2,2	6–8	120–300	30–45
8	фарфор	1320–1450	0,2–0,5	7,0–7,5	23–27	2,4–2,5	0,5–1,0	350–600	55–80
* Продолжительность выдержки 1 ч.									

* Продолжительность выдержки 1 ч.

тем, что пластичные компоненты формовочных систем для получения тонкокерамических материалов алюмосиликатного состава (глины и каолины) по своей природе являются гидроалюмосиликатами. Вследствие этого они характеризуются высоким содержанием удаляемой при обжиге химически связанной воды — преимущественно в пределах 8–13 % [10, 11, 22]. Содержание глинистых (пластичных) компонентов в составе формовочных систем различного назначения колеблется от 40 до 67 % [10, 11, 22–25].

Значительная разница отмечается в показателях общей линейной усадки. При сравнении материалов с минимальным водопоглощением (составы 1 и 8) видно, что усадка фарфора примерно в 3 раза превышает этот показатель для керамики. Значительно большая разница (в 5–6 раз) отмечается для составов 3 и 7 при сопоставимых степенях спекания материалов (водопоглощения). Существенное различие в уровнях усадки суммируется из ее разниц на стадии как сушки, так и обжига. Если для керамики на основе ВКВС усадка при сушке значительно меньше 0,1 % (часть I статьи), то для фарфоровых масс она достигает 7,2 % [10, с. 445], что обусловлено большой величиной усадки пластичных компонентов в составе масс (10–13 %). С другой стороны, усадка фарфора при обжиге достигает 17,0–20,5 % [10, с. 445], что в 2,0–2,5 раза выше, чем в случае керамики на основе ВКВС (см. таблицу, состав 1). Вследствие этого в производстве традиционных фаянсовых, полуфарфоровых и фарфоровых изделий объем свежесформованного (до сушки) полуфабриката в 1,5–2,0 раза превышает объем конечного изделия. Поэтому показатель общей линейной или объемной усадки является не только важнейшей технологической характеристикой, но и основным фактором, определяющим точность размеров конечного изделия. Кроме того, он кардинально влияет на продолжительность процессов сушки и обжига.

Принципиальное различие уровней суммарной технологической усадки сравниваемых групп материалов логично проиллюстрировать сопоставлением не только показателей влажности свежесформованного полуфабриката, но и содержанием в нем химически связанной воды. Для традиционного фарфорового полуфабриката общее содержание свободной (удаляемой при сушке) и связанной воды достигает 27 %, а для такового на основе ВКВС — 10–11 %, т. е. в 2,5 раза меньше. По этим показателям, определяющим исходную пористость материала, можно прогнозировать и их полную линейную или объемную усадку. Таким образом, эффект в данном случае обусловлен тем, что благодаря высокой объемной концентрации

ВКВС на их основе возможно получение отливок пористостью в 2,5–3,0 раза меньшей, чем у пористости традиционного керамического полуфабриката.

Значительное различие между сравниваемыми материалами состоит и в показателях водостойкости высушенного полуфабриката. Если для такового на основе ВКВС характерна абсолютная водостойкость (отсутствие разрушения даже после многосуточного пребывания в воде), то сырец, полученный по традиционным технологиям (составы 4–8), диспергируется даже после кратковременного насыщения в воде. Этот эффект объясняется увеличением объема пластичных компонентов в составе сырца вследствие их набухания. Известно, например, что увеличение объема каолинов и глин при их набухании в водной среде составляет 12–22 и 40–44 % соответственно [26, с. 143]. Известно также, что фактор размокания (неводостойкости) керамического сырца определяет необходимость проведения первичного (утильного) обжига тонкостенных фарфоровых или фаянсовых изделий с целью придания им прочности и неразмокаемости для последующего покрытия глазурными составами и конечного обжига [10, 11, 25]. Применительно к полуфабрикатам, полученным на основе ВКВС, необходимость такой весьма энергозатратной технологической операции исключается ввиду того, что не только массивные и толстостенные изделия, но и тонкостенные при нанесении глазурной суспензии будут сохранять целостность и весьма высокую механическую прочность.

Все приведенные сопоставительные данные относились к тонкокерамическим материалам, формуемым на основе пластичных или жидкотекучих (литейных) формовочных систем. Между тем в области производства тонкой или тонкозернистой строительной керамики успешно применяются различные процессы статического и изостатического (или гидростатического) прессования [9, 23]. При этом изделия из пластифицированных порошков формуют как методом полусухого прессования под давлением 50–80 МПа из пресс-порошков влажностью 6–12 %, так и штампованием. Для последнего способа влажность массы 13–17 %, давление 6–20 МПа [9, 64]. Современный способ подготовки пресс-порошков основан на частичном (до 9 %) обезвоживании в распылительных сушилках керамических суспензий соответствующего состава исходной влажностью 35–55 % [9, 22, 23]. Применительно к аналогичной технологии эффект использования ВКВС может состоять не только в пониженных энергозатратах на обезвоживание суспензий, но и в повышенной плотности получаемых на их основе

прессовок. Это, в свою очередь, способствует уменьшению усадки при сушке и обжиге изделий соответствующего состава.

В определенных случаях, связанных с получением крупногабаритных и толстостенных тонко-керамических изделий, получаемых на основе ВКВС, интерес могут представить относительно новые методы формования — криогенное [6, с. 490] и коагуляционное литье [4, с. 210]. В отличие от шликерного или центробежного литья особенность этих процессов состоит в том, что относительная плотность формируемого полуфабриката практически соответствует объемной концентрации исходной ВКВС.

Не исключена возможность получения тонко-керамических материалов алюмосиликатного или высокоглиноземистого состава по безобжиговой технологии, предусматривающей упрочнение посредством химического активирования контактных связей — УХАКС-керамика [1–3, 5–7, 15, 18]. Подобная керамика практически безусадочна. При ее сушке и упрочнении линейная усадка или рост составляет 0,05–0,10 %. Несмотря на это прочность керамики достаточно высокая.

О ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ВКВС-ТЕХНОЛОГИЙ

Исходя из вышеизложенного, можно сделать обоснованное предположение о том, что применительно к производству многих традиционных видов тонкой керамики технологическое направление, основанное на получении и применении ВКВС алюмосиликатных составов, может оказаться весьма перспективным. При этом в качестве исходного материала для получения ВКВС рассматриваются бой традиционных керамических изделий и спек соответствующего состава. В качестве спека целесообразно изучить возможность применения шамота (28–35 % Al_2O_3). В связи с многократным снижением в России производства огнеупоров на его основе за последнее десятилетие образовался значительный парк неиспользуемых производственных мощностей по выпуску шамота, исчисляемых сотнями тысяч тонн в год. Такой исходный материал, являясь относительно дешевым (3–4 тыс руб. за 1 т), с технико-экономической точки зрения может оказаться вполне применимым в производстве многих видов тонкой керамики, изготавливаемой по ВКВС-технологиям.

Кроме того, вполне вероятно, что температура обжига как индивидуального алюмосиликатного шамота, так и в сочетании его с другими компонентами, входящими в состав тонкокерамических масс, например с доломитом или диопсидом, может быть значительно понижена по сравнению с обычным интервалом 1300–1400 °С. Примени-

тельно к получению ВКВС результаты приоритетных исследований дегидратационной термообработки высокопластичной часовоярской глины при 800–900 °С опубликованы в 1990 г. [3, с. 314]. В рассматриваемом аспекте представляют также интерес исследования получения предварительного спека (шамота) из масс фарфоро-фаянсового состава для последующего получения на их основе ВКВС [27, 28]. Массы на основе каолина (50 %), полевого шпата (25 %) и кварцевого песка (25 %) брикетировали, сушили и подвергали термической активации при 950 °С (30 мин). В процессе термообработки происходили разложение каолинита и гидрослюдистых минералов, а также полиморфные превращения кварца, приводившие к разрыхлению структуры, что способствовало ускорению процесса мокрого помола. На основе спеков рассмотренного состава получены ВКВС с $C_V = 0,58$ [27].

Аналогичные исследования по термообработке спека, предназначенного для получения тонкой керамики по ВКВС-технологии, проведены в работе [29]. Смесь из 50 % каолинит-гидрослюдистой глины и 50 % кварцевого песка подвергали обжигу при 950–1000 °С и резкому охлаждению. На основе спека (шамота) получены ВКВС плотностью 2,05 г/см³ с $C_V = 67$ и содержанием коллоидных частиц 3,9 %. По сравнению с аналогичным заводским шликером полученная ВКВС имела существенно меньшую влажность — 17,5 % против 31 %. После обжига при 1100 и 1180 °С материалы на основе ВКВС характеризовались значительно меньшей усадкой и повышенной механической прочностью по сравнению с аналогичными материалами, полученными по традиционной технологии.

Касаясь аспекта промышленной реализации рассматриваемой технологии, следует проанализировать и дать технико-экономическую оценку нескольким вариантам ее осуществления. Наименее затратный и реально реализуемый из них состоит в том, что на действующем предприятии значительная или вся доля производственного боя изделий перерабатывается по ВКВС-технологии. При этом можно использовать бой как неглазурованных, так и глазурованных изделий благодаря тому, что состав глазури, как правило, близок к составу фарфора или фаянса [30]. О наличии на керамических заводах значительного количества боя косвенно свидетельствует информация одного из отечественных производителей крупногабаритных фарфоровых изоляторов о том, что выход годных изделий при изготовлении подобной продукции не превышает 40 %.

По второму варианту технологии обжигу при оптимизированной температуре подвергают смесь

алюмосиликатных пластичных компонентов (каолин, глина) совместно с непластичными (доломит, тальк, диопсид и др.) с целью их предварительной дегидратации, декарбонизации. Другие сырьевые компоненты (кварцевый песок, пегматит, перлит) подвергают мокрому помолу без предварительной термообработки. При этом в качестве «затравочной» добавки для получения ВКВС можно применять предварительно полученные суспензии не только на основе перлита (как в настоящем исследовании), но и на основе кварцевых или полевошпатовых песков. Последние в технологии материалов на основе ВКВС рассматриваемых составов могут оказаться весьма эффективными, так как скорость их мокрого измельчения примерно в 2 раза выше, чем у ВКВС кварцевых песков [10, 11, 25]. Отмеченный эффект, по-видимому, обусловлен тем, что показатель твердости по шкале Мооса у полевого шпата значительно ниже, чем у кварца — 4 против 7 [22, с. 39].

Выбор оптимальной номенклатуры изделий, производимых на основе ВКВС, определяется технологическими и технико-экономическими аспектами. Следует учитывать, что в качестве возможных методов формования изделий можно рассматривать не только шликерное или центробежное литье, но и литье под давлением в пористые формы, а также метод статического или изостатического прессования. Наиболее перспективными при этом могут быть изделия, имеющие форму тел вращения. Для них наиболее эффективен центробежный метод формования. В качестве примера на рис. 10 показаны электрокерамические изделия четырех размеров (высотой до 300 мм), полученных в настоящей работе на основе ВКВС алюмосиликатных и кордиеритовых составов.

Представляется, что рассматриваемые технологии могут оказаться эффективными применительно не только к тонкокерамическим материалам, приведенным в таблице, но и к тонкозернистой строительной керамике — плиткам для пола, фасадной и облицовочной глазурованной плитке, санитарных изделий [24]. Известно, например, что использование ВКВС на основе кварцитопесчаника в составе масс вместо кварцевого песка, части глинистого сырья и плавней оказалось эффективным при получении керамической плитки для пола, обжигаемой по скоростному режиму [27].

С учетом рассмотренных кардинальных технологических преимуществ ВКВС-технологий они могут оказаться высокоэффективными при создании архитектурно-художественной керамики и в области декоративно-монументального искусства. Перспективным может оказаться изготовление объемных и массивных керамических изде-

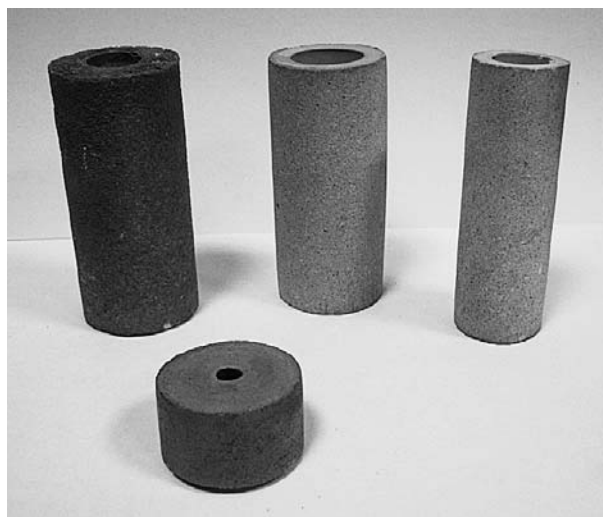


Рис. 10. Электрокерамические изделия, сформованные методом центробежного литья

лий — декоративных и напольных ваз, сосудов, чаш, скульптуры, интерьерной и ландшафтной керамики. Одно из исключительных преимуществ новой технологии состоит в том, что при изготовлении подобных изделий вместо традиционных способов шликерного литья или пластического формования в рассматриваемых случаях возможно применение несопоставимого по производительности и экономическим преимуществам центробежного метода.

Относительно направлений реализации рассматриваемых технологий отметим еще один весьма важный аспект. Разработанные нами составы ВКВС смешанного состава характеризуются высокой устойчивостью реотехнологических свойств в процессе даже длительного хранения в покое (речь идет о месяцах, а возможно, и о годах). Это позволяет организовать централизованное производство ВКВС и их поставку на предприятия, специализирующиеся на выпуске различной тонкокерамической продукции. При этом на заводах — потребителях ВКВС непосредственно перед операцией формования требуется их относительно непродолжительное гравитационное перемешивание и регулирование pH. Аналогичным образом могут быть организованы производство и поставка ВКВС для нанесения глазури.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований показана принципиальная возможность изготовления высокоплотной алюмосиликатной керамики по технологии, основанной на получении и применении ВКВС соответствующих составов. Предлагаемая технология кардинально отличается от традиционных, основанных на применении природных пластичных компонентов. По разработанной

технологии можно производить высококачественные материалы со значительно меньшими усадками при сушке и обжиге и существенно меньшими энергозатратами при спекании. Благодаря этому реализация новой технологии предполагает достижение значительного технико-экономического эффекта при производстве многих типов тонкой керамики, а также тонкозернистой строительной и архитектурно-художественной керамики. Это позволит значительно расширить сферы применения ВКВС-технологий в области силикатного материаловедения.

Библиографический список

22. **Мороз, И. И.** Справочник по фарфоро-фаянсовой промышленности. Т. 1 / И. И. Мороз, Т. С. Комская, М. Г. Сивчикова. — М.: Легкая индустрия, 1976. — 296 с.
23. **Булавин, И. А.** Технология фарфорового и фаянсового производства / И. А. Булавин, А. И. Августиник, А. И. Жуков [и др.]. — М.: Легкая индустрия, 1975. — 448 с.
24. Химическая технология керамики; под ред. И. Я. Гузмана. — М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. — 496 с.
25. **Гузман, И. Я.** Химическая технология тонкой керамики / И. Я. Гузман. — М.: МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1985. — 194 с.
26. **Земятченский П. А.** Глины СССР. Общая часть / П. А. Земятченский // М.—Л.: АН СССР, 1935. — 360 с.
27. **Морева, И. Ю.** Искусственные керамические вяжущие на основе активированных материалов в технологии тонкой керамики: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Белгород, 2008. — 17 с.
28. **Евтушенко, Е. И.** Искусственные керамические вяжущие суспензии на основе кремнеземсодержащих материалов / Е. И. Евтушенко, И. Ю. Морева, В. А. Дороганов [и др.] // Строительные материалы. — 2007. — № 8. — С. 16, 17.
29. **Евтушенко, Е. И.** Фарфоро-фаянсовые изделия на основе двухкомпонентных связующих / Е. И. Евтушенко, И. Ю. Морева, В. И. Бедина [и др.] / Сб. докладов II семинара-совещания «Керамика и огнеупоры: перспективные решения и технологии». — Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2009. — С. 246–249.
30. **Барзаковский, В. П.** Физико-химические свойства глазурей высоковольтного фарфора / В. П. Барзаковский, С. К. Дуброво. — М.—Л.: АН СССР, 1953. — 276 с. ■

Получено 11.12.12

© Ю. Е. Пивинский, П. В. Дякин, Д. В. Горбачёв,
С. А. Стрельцов, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Unitecr 2013

**13-й Всемирный конгресс
и объединенная международная конференция
по огнеупорам**

г. Виктория, Канада • 10–13 октября 2013 г.



Тематика:

- Расширенные испытания огнеупоров
- Передовые методы исследований и оборудование
- Монолитные огнеупоры
- Огнеупоры для черной промышленности
- Сырьевые материалы
- Огнеупоры для стекольной промышленности
- Огнеупоры для цементной промышленности
- Моделирование огнеупоров
- Огнеупоры для нефтехимии
- Переработка лома огнеупоров
- Экономия энергии за счет дизайна футеровки
- Системы бескислородных огнеупоров
- Огнеупоры для химических процессов
- Развитие основных огнеупоров
- Образование в области огнеупоров
- Огнеупоры для цветной металлургии
- Безопасность, защита окружающей среды, рециклинг огнеупоров

<http://www.expoclub.ru>

УДК 666.762.1-494:621.365.5

ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ НАГРЕВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Приведены результаты, касающиеся совершенствования технологии изделий из волокнистых композиционных материалов для индукционных установок нагрева металлических заготовок за счет использования в составе изделий ВКВС. Новые изделия по сравнению с обычно используемыми для этих целей изделиями АКБФ обладают улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: индукционные печи нагрева металлических заготовок, волокнистые композиционные материалы (ВКМ), изделия АКБФ, ВКВС (высококонцентрированные вяжущие суспензии).

Одной из областей применения изделий из волокнистых композиционных материалов (ВКМ) является их использование в индукционных установках нагрева металлических заготовок. Основными требованиями, предъявляемыми к таким видам изделий, являются:

- малая теплопроводность, которая позволяет снизить тепловые нагрузки на водоохлаждаемые катушки индуктора и одновременно сохранить большее количество тепловой энергии в канале для прогрева заготовки;

- высокая термостойкость, поскольку футеровка индуктора (а иногда в этих индукторах применяют обмазки либо готовые огнеупорные изделия) подвергается термоударам за счет высокой скорости индукционного нагрева заготовки и, соответственно, большой скорости изменения температуры в рабочем пространстве.

В течение уже более чем 25 лет этим требованиям удовлетворяют изделия АКБФ, которыми футеруют индукторы. Одной из особенностей технологии изготовления изделий АКБФ является то, что она позволяет легко формировать изделия практически любой конфигурации и различных размеров. Изделия АКБФ выпускаются только в ОАО «Динур» по ТУ 1590-024-00190495–2004 и соответствуют требованиям, указанным в ниже:

Массовая доля, %:

SiO ₂	26–42
Al ₂ O ₃	25–40
MgO	16–32
P ₂ O ₅	5–8
Открытая пористость, %	30–43
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	5

До определенного времени изделия АКБФ вполне соответствовали требованиям потребителя и нашли широкое применение в установках нагрева заготовок в России, Украине, Белоруссии, Казахстане. Однако совершенствование оборудования и технологии нагрева потребовало улучшения служебных свойств этих изделий, а именно:

- повышения предельной температуры эксплуатации (до 1300–1400 °С вместо 1000–1100 °С, допускаемой для изделий АКБФ);

- устранения охрупчивания изделий в течение длительной службы при предельных температурах эксплуатации, что ускоряет их механический износ;

- увеличения механической прочности. Это требование потребителями ранее всерьез не предъявлялось, но тем не менее оно постоянно стояло на повестке дня. Как показал опыт, при работе на длинных заготовках их концевые участки могут механически повреждать футеровку вследствие бияния. Ремонт поврежденных участков (например, замена обмазки) требует времени, что сказывается на производительности агрегата.

В этой связи в существующую технологию производства изделий АКБФ было решено внести некоторые изменения, которые позволили бы сразу улучшить служебные свойства изделий АКБФ. Технология изделий АКБФ, описанная в ряде публикаций [1, 2], заключается в том, что путем намотки ВКМ (в виде стеклосетки специального переплетения) с промазкой каждого слоя огнеупорным наполнителем с фосфатной связкой получают изделия, которые впоследствии проходят стадии сушки и обжига. Именно ВКМ придает изделиям теплоизоляционные свойства, высокую термостойкость, а огнеупорный наполнитель со связкой обеспечивает сохранение формы при эксплуатации и керамические характеристики изделий. За счет увеличения количества фосфатной связки можно обеспечить повышение механической прочности при комнатной температуре, но не при требуемой температуре эксплуатации (>1000 °С), поскольку будет происходить оплавление рабочей поверхности изделия, вызванное превышением сверх допустимого предела легкоплавких фосфатных стекол. При этом, снизив охрупчивание базового ВКМ, можно увеличить также теплопроводность изделия, что нежелательно. Поэтому поднять предельную температуру эксплуатации таким способом невозможно.

Рассмотрев все вышеизложенные аспекты, пришли к выводу о необходимости замены состава огнеупорного наполнителя и фосфатного свя-

Физико-химические показатели изделий из ВКМ на ВКВС

Показатели	ВКВС-1	ВКВС-2
Открытая пористость, %, после обжига при температуре, °С:		
600	31–33	—
1000	32–34	32–34
1200	33–35	31–33
1300	34–35	30–31
1400	34–36	28–30
Предел прочности при сжатии, МПа, после обжига при температуре, °С:		
600	10–15	—
1000	10–15	10–15
1200	17–18	16–17
1300	17–18	22–25
1400	20–25	28–30
Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре, °С:		
400	0,8	0,8
600	0,7	0,7
800	0,6	0,6

зующего. В качестве комплексного компонента решили использовать суспензии ВКВС, которые разработаны и освоены в ОАО «Динур» Ю. Е. Пивинским. Этим материалам посвящено много публикаций [3–5], но почти все они рассматриваются применительно к огнеупорным бетонам, в которых в качестве наполнителя используется зерновая основа (кварц, боксит и т. п.).

Использование ВКВС применительно к технологии ВКМ предполагало выведение из состава изделий легкоплавких связующих, что автоматически повышает огнеупорность, а следовательно, и температуру предельной эксплуатации, сохраняя при этом высокую пористость и за счет этого теплоизоляционные свойства. При этом использование ВКВС в качестве связующего позволяет создать однородную физико-химическую основу изделий, что также ведет к повышению огнеупорности изделий.

Одновременно, как показал опыт работ Ю. Е. Пивинского, ВКВС является отличным связующим материалом для керамики, что позволяло ожидать и значительного улучшения прочностных характеристик. В процессе исследований выяснилось, что без добавки активатора получить хорошую адгезию ВКВС к ВКМ очень трудно, поэтому пришлось дорабатывать и эту позицию.

Отработанная в ОАО «Динур» технология производства ВКВС позволила провести работу с двумя их видами. В таблице приведены характеристики изделий ВКМ с применением ВКВС.

Как видно из таблицы и сопоставления ее с ранее приведенными данными, удалось сохранить весьма близкие результаты открытой пористости, что определяет основу показателя теплопроводности. Прочность изделий при комнатной температуре возросла в 2–4 раза.

Обжиг в течение длительного времени при температуре 1400 °С показал, что новые изделия

не теряют своей формы и не меняют размеров, в то время как изделия АКБФ при 1200–1250 °С уже полностью оплавляются (поэтому их температура эксплуатации и определяется уровнем 1000–1100 °С). Эксперимент подтвердил, что изделия из ВКМ на ВКВС позволяют повысить температуру их эксплуатации до 1300–1400 °С, что и являлось одной из основных задач настоящей работы.

Установлено, что теплопроводность изделий при повышении температуры снижается и при 800 °С достигает 0,6 Вт/(м·К), т. е. практически той же величины, что и у изделий АКБФ (0,5–0,6 Вт/(м·К)). Такой показатель позволяет предположить, что тепловые нагрузки на индукционные катушки даже при более высоких, чем в настоящее время температурах, не должны отрицательно сказываться на их состоянии и работоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплекс исследований по совершенствованию технологии изделий из ВКМ для индукционных установок нагрева металлических заготовок позволил получить новый вид изделий, который по сравнению с изделиями АКБФ обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками, а именно:

- повышенной предельной температурой эксплуатации (1300–1400 °С вместо 1000–1100 °С);
- в 2–3 раза увеличенной прочностью при комнатной температуре;
- теплопроводностью на уровне теплопроводности изделий АКБФ, что вполне обеспечивало требования потребителя по этому показателю.

Библиографический список

1. **Козмец, Н. А.** Керамические композиты и их применение при разливе металлических расплавов / Н. А. Козмец, Д. С. Рутман, Е. Я. Гимпельман // Огнеупоры. — 1984. — № 10. — С. 52–55.
2. **Сизов, В. И.** Огнеупоры для футеровки печей и линий разливочного тракта алюминиевого производства / В. И. Сизов, Н. А. Козмец, В. Н. Тонков, Л. А. Карпец // Новые огнеупоры. — 2004. — № 8. — С. 27–29.
3. **Пивинский, Ю. Е.** Основы технологии керамобетон / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры. — 1978. — № 2. — С. 34–42.
4. **Пивинский, Ю. Е.** Керамические вяжущие и керамобетоны / Ю. Е. Пивинский. — М.: Металлургия, 1990. — 274 с.
5. **Пивинский, Ю. Е.** Керамобетоны — заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов / Ю. Е. Пивинский, Е. В. Рожков // Новые огнеупоры. — 2002. — № 4. — С. 96–101.
- Pivinskii, Yu. E.** Ceramic Castables — Final Stage in the Evolution of Low-Cement Refractory Castables. Part 3 / Yu. E. Pivinskii, E. V. Rozhkov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2003. — Vol. 44, № 3. — P. 134–140. ■

Получено 17.01.13
© В. И. Сизов, 2013 г.

УДК 666.762.7:666.1.031

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТЕКЛОВАРЕНИИ

Приведены результаты исследования фазового состава композитной керамики на основе титаната алюминия и добавок, синтезированных плавлением в солнечной печи. Улучшение механических свойств керамики на основе титаната алюминия достигнуто за счет снижения роста зерен исходного материала. Установлено положительное влияние добавок муллита, шпинели, эвтектики $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$ на механические свойства керамики. Исследована устойчивость керамических охранных колец на основе титаната алюминия в стекловаренном процессе.

Ключевые слова: термостойкость, керамика на основе титаната алюминия, большая солнечная печь (БСП), стекловарение.

Анализ свойств различных композиций на основе высокотемпературных оксидов показал, что перспективной основой для создания термостойкой керамики с требуемыми механическими и специальными свойствами могут быть системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$. Образующиеся в этих системах титанат алюминия (Al_2TiO_5), муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$), эвтектические составы в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$ характеризуются низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР), высокими температурами плавления, удовлетворительными термомеханическими характеристиками. Однако каждый из указанных материалов наряду с положительными свойствами обладает и определенными недостатками [1–4]. Их устраняют путем введения добавок, стабилизацией требуемой полиморфной модификации, созданием ультрадисперсной структуры, используя новые технологии. Привлекают внимание технологии, предусматривающие использование возобновляемых источников энергии в связи с проблемой энергодефицита. Синтез неорганических материалов с использованием солнечной энергии показал ряд преимуществ такой технологии, определяющей повышение комплекса физико-химических свойств материалов и керамики на их основе [3–7].

Одним из многообещающих из перечисленных выше материалов является титанат алюминия. Интерес к титанату алюминия, обладающему практически нулевым ТКЛР и достаточно высокой температурой плавления (1860°C), вызван перспективой его использования для деталей камер сгорания двигателей адиабатного типа как коррозионно-стойкого изолирующего и тигельного материала при контакте с расплавами активных металлов. Его используют также для термо-

стойкой керамики в металлургических процессах, для футеровки индукционных печей, специального оборудования в ядерной технике и др. [6, 8].

Решение проблемы получения керамики на основе титаната алюминия с улучшенными механическими свойствами включает несколько аспектов, связанных как с необходимостью изменения свойств титаната алюминия, так и с созданием многофазного керамического композита с требуемыми фазовым составом и морфологией определенного строения [4, 6, 7, 9].

Так как одной из проблем стекловаренного производства являлся износ металлических деталей мешалки, предполагалось их изолировать керамическим кожухом в виде кольца. Такая керамика должна иметь высокие коррозионную стойкость и термомеханические показатели. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяют титанат алюминия и композиционная керамика на его основе. Известно, что практическое применение титаната алюминия ограничено из-за его неустойчивости и низкой механической прочности. Устранить эти негативные факторы можно двумя путями. Первый предусматривает стабилизацию β -формы Al_2TiO_5 за счет введения добавок, второй — регулирование морфологии керамики и создание многофазной системы при введении фаз-добавок с низким ТКЛР, представленных аморфной либо ультрадисперсной структурой. Результаты [6] указывают на возможность стабилизации титаната алюминия путем «выравнивания» его кристаллической структуры за счет введения добавок с ионным радиусом, близким к Ti^{4+} , и с определенным электронным строением [10]. На стабилизацию титаната алюминия положи-



Рис. 1. Большая солнечная печь

тельно влияют добавки SiO_2 , MgO , MgTi_2O_5 , Fe_2O_3 , Fe_2TiO_5 , $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, MgAl_2O_4 , $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3) - \text{Al}_2\text{O}_3$ [9–12]. Выбор состава фаз-добавок был осуществлен на основе анализа их свойств. Были приняты во внимание данные о высоких механических параметрах керамики на основе шпинели и стабилизированного диоксида циркония, а также о сочетании высокой термостойкости и механической прочности керамики муллитового состава.

Материалы на основе титаната алюминия и фазы-добавки (шпинель, муллит, $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3) - \text{Al}_2\text{O}_3$) синтезировали плавлением с последующей закалкой под воздействием солнечного излучения в большой солнечной печи (БСП) мощностью 1000 кВт (рис. 1) [13]. Составы материалов, которые были использованы для получения керамики, и их обозначения представлены в табл. 1. Композитную керамику, составы которой приведены в табл. 2, получали по стандартной керамической технологии. Прессование керамических охранных колец представляло более сложный процесс, чем прессование керамических образцов прямоугольной формы. Принцип приложения давления — одноосное нагружение. Следует отметить, что при прессовании процесс уплотнения плавляемых порошков отличается от уплотнения обычных материалов. При прессовании плавляемых материалов отсутствует «перемещение — перетекание» частиц, из-за чего трудно достигнуть равномерного распределения порошка в объеме пресс-формы при приложении нагрузки. Поэтому для устранения локальных нарушений плотности заготовки порошок в пресс-форме, повторяющей форму кольца, распределяли как можно более равномерно. Давление прессования составляло 200 МПа. Выпрессовку производили выталкива-

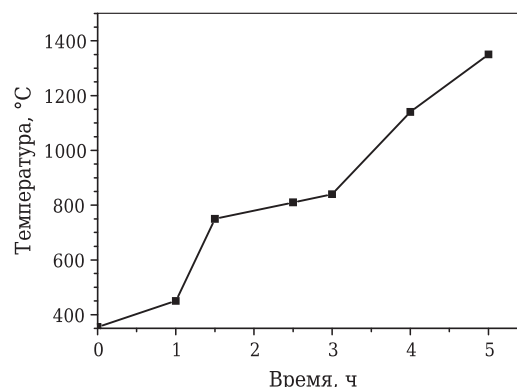


Рис. 2. График температурно-временной зависимости процесса спекания керамики на основе титаната алюминия

нием кольца из неразъемной оснастки. Во избежание деформаций колец при обжиге их сушили при 80–100 °C в течение 12 ч.

Был принят во внимание фактор возможного негативного влияния на спекание слабо развитой активной поверхности плавляемых материалов (по сравнению с поверхностью материалов, полученных твердофазным методом). С другой стороны, вклад в энергию спекания исходного метастабильного состояния, определяемого сверхбыстрой закалкой расплава, и возможное изменение

Таблица 1. Обозначения и составы исходных оксидов

Обозначение материала	Содержание, мас. %						
	Al_2O_3	TiO_2	MgO	ZrO_2	Y_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3
ТА3	56,08	43,92	5,0	—	—	10,0	—
ТА6	56,08	43,92	5,0	—	—	5,00	5,0
D3	47,5	—	—	47,5	5,0	—	—
D5	71,83	—	—	—	—	28,17	—

Таблица 2. Составы керамических композитов

Обозначение керамики	Титанат алюминия, 90 мас. %		Добавка, 10 мас. %	
	ТА3	ТА6	D3	D5
U3	+		+	
O5		+		+

Таблица 3. Характеристика керамики на основе титаната алюминия

Обозначение керамики	Фазовый состав	$\sigma_{\text{изг}}$, МПа (средний)	ТКЛР, $10^{-6} \text{ град}^{-1}$ (средний)	Открытая пористость, %	Термостойкость (20–1300 °C), теплосмены
U3	$\beta\text{-Al}_2\text{TiO}_5 + \text{MgAl}_2\text{O}_4 + \text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13} + \text{ZrO}_2(\text{T})$	54,65	–0,68	5,3	Не менее 90
O5	$\beta\text{-Al}_2\text{TiO}_5 + \text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13} + \text{MgAl}_2\text{O}_4$ (следы)	61,71	1,73	4,6	Не менее 90



Рис. 3. Термостойкие керамические охранные кольца на основе титаната алюминия

дефектной структуры могли нивелировать негативный эффект малой площади поверхности частиц и способствовать спеканию керамики. График температурно-временной зависимости процесса спекания колец на основе титаната алюминия показан на рис. 2. Исходя из результатов разработки лабораторного процесса получения керамики, опытно-промышленный процесс спекания осуще-

ствлялся по следующему режиму: загрузка изделий в предварительно нагретую до 350 °С печь, подъем температуры со скоростью 60 °С/ч до 850 °С, дальнейший подъем температуры со скоростью 300 °С/ч до 1350 °С, выдержка 2 ч, охлаждение в печи со скоростью отвода тепла 300 °С/ч до 800 °С, продолжение охлаждения до комнатной температуры со скоростью 150–100 °С/ч. Характеристика керамики представлена в табл. 3.

Керамические кольца были установлены на мешалку в стекловаренной печи производства хрусталика ОАО «ОНИКС». Для изоляции всей поверхности металлической штанги-мешалки была необходима сборка из 28 колец (рис. 3). Рабочая температура процесса плавки стекломассы поддерживалась в пределах 1250–1300 °С в течение 40–45 сут. После службы на поверхности колец каких-либо следов коррозии и механических повреждений в виде трещин и сколов не обнаружено. Испытания охранных колец на основе титаната алюминия в процессе стекловарения показали их удовлетворительную термо- и коррозионную стойкость. Кроме того, кольца из титаната алюминия лучше предохраняют водоохлаждаемую штангу стекловаренной печи от интенсивной поверхностной коррозии и образования накипи, чем изоляция из кварца.

Библиографический список

1. Тарасовский, В. П. Керамика из титаната алюминия с добавками карбида кремния и окиси магния / В. П. Тарасовский, Е. С. Лукин // Огнеупоры. — 1994. — № 12. — С. 13–15.
2. Писаренко, Г. С. Прочность материалов при высоких температурах / Г. С. Писаренко, В. П. Руденко, Г. Н. Третьяченко. — Киев: Наукова думка, 1966. — 791 с.
3. Gulamova, D. D. Investigation of the Crystal Structure Yttria-stabilized Tetragonal Zirconia by Plasticity Deformation. European Congress on Advanced Materials and Processes / D. D. Gulamova, M. Zufarov, J. Turdiev // EURO-MAT 2005. Prague, Czech Republic, 2005, 5–8 September. — P. 743–747.
4. Суворов, С. А. Фазовый состав, микроструктура и технические свойства композиций $MgAl_2O_4-Al_2TiO_5$ / С. А. Суворов, В. Н. Макаров, Н. М. Филатова [и др.] // Огнеупоры. — 1987. — № 12. — С. 14–18.
5. Дабижжа, А. А. Термическое старение керамики на основе композиций $Al_2O_3-TiO_2$, $Al_2O_3-TiO_2-SiO_2$ / А. А. Дабижжа, В. С. Якушкина, Н. А. Дабижжа [и др.] // Огнеупоры. — 1990. — № 1. — С. 21–23.
6. Kim, I. J. Formation, Decomposition and Thermal Stability of Al_2TiO_5 Ceramics / I. J. Kim, L. G. Gauckler // J. Ceram. Sci. Technol. — 2012. — Vol. 3, № 2. — P. 49–60.
7. Гуламова, Д. Д. Термостойкая керамика с повышенной механической прочностью на основе титаната алюминия, полученного под воздействием концентрированного солнечного излучения / Д. Д. Гуламова, Д. Ускенбаев, Д. Турдиев [и др.] // Гелиотехника. — 2010. — № 1. — С. 53–56.
8. Гуламова, Д. Д. Исследование керамики на основе титаната алюминия и добавок, полученных в солнечной печи, методом твердофазных реакций и индукционным методом / Д. Д. Гуламова, Д. Ускенбаев, Д. Турдиев [и др.] // Гелиотехника. — 2010. — № 2. — С. 47–51.
9. Гуламова, Д. Д. Влияние добавок и метода синтеза на свойства керамики из титаната алюминия / Д. Д. Гуламова, М. Х. Саркисова // Огнеупоры. — 1993. — № 7. — С. 18–21.
10. Norberg, Stefan T. Redetermination of $\beta-Al_2TiO_5$ obtained by melt casting / Stefan T. Norberg, N. Ishizawa, S. Hoffmann, M. Yoshimura // Acta Crystallographica Section E: Structure Reports Online. — 2005. — E61 (8). — P. i160–i162.
11. Goldberg, D. Des system formes par l'alumine avec quelque oxides de metaux trivalents et tetravalents en particulier l'oxides de titane / D. Goldberg // Rev. Int. Hautes Temper. Refract. — 1968. — Vol. 5, № 3. — P. 181.
12. Oikonomou, P. Stabilized tialite-mullite composites with low thermal expansion and high strength for catalytic converters / P. Oikonomou, Ch. Dedeloudis, C. J. Stourmaras, Ch. Ftikos // J. Eur. Ceram. Soc. — 2007. — Vol. 27, Issue 12. — P. 3475–3482.
13. Азимов, С. А. Научно-производственный комплекс «Солнце» бизеркальная полигелиостатная солнечная печь тепловой мощностью 1000 кВт / С. А. Азимов // Гелиотехника. — 1987. — № 6. — С. 3–9. ■

Получено 10.12.12
© Д. Ш. Турдиев, 2013 г.

Д. Т. Н. В. А. Соколов¹, К. Т. Н. М. Д. Гаспарян², К. Т. Н. С. С. Киров¹¹ НИТУ МИСИС, Москва, Россия² ООО «ЦИТ «СПЕЦКЕРОКОМ», г. Подольск, Россия

УДК 666.76.2.462.046.512:666.762.11+666.762.5].002.68

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛАВЛЕНО-ЛИТЫХ ХРОМШПИНЕЛИДНЫХ ОГНЕУПОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАКОРОВОГО ЛОМА

Приведены результаты получения плавлено-литых хромшпинелидных огнеупоров с использованием в шихте кусковых отходов бадделеитокорундовых огнеупоров после службы в стекловаренных печах. Показано, что плавлено-литые хромшпинелидные огнеупоры, содержащие 31,2 и 50,4 % Cr_2O_3 и полученные из шихты с использованием лома бакоровых огнеупоров, характеризуются повышенной коррозионной стойкостью в минераловатном расплаве по сравнению с плавлено-литыми бадделеитокорундовыми и хромалюмоцирконовыми огнеупорами промышленных марок ER 1711, ХАЦ-30 и ХЦ-45.

Ключевые слова: плавлено-литые огнеупоры, хромшпинелид, хромкорунд, бадделеит, бакоровый лом, коррозионная стойкость, стекловаренная печь.

Плавлено-литые хромсодержащие огнеупоры являются наиболее коррозионно-стойкими к воздействию минеральных расплавов при высоких температурах. При производстве таких высокохромистых огнеупоров, как ХПЛ-85 и ХМГ [1], используют сырьевые материалы технической чистоты: оксид хрома, цирконовый концентрат и глинозем, что значительно удорожает продукцию. Тем не менее эти требования к чистоте сырья должны выдерживаться при применении огнеупоров в процессах специальных производств: получение боросиликатного стекла типа Е и ситаллизирующегося свинцовонииобиевого стекла, утилизация радиоактивных отходов. В то же время имеется ряд производств, в которых к применяемым огнеупорам нет специальных требований по чистоте используемых сырьевых материалов и главным требованием к этим огнеупорам является их высокая коррозионная стойкость.

Минераловатное производство является заметным потребителем плавлено-литых бакоровых материалов, но при существующем дефиците цирконийсодержащего сырья его потребности не удовлетворяются. При этом применяемые в минераловатном производстве бакоровые огнеупоры не обеспечивают продолжительной кампании стекловаренных печей, которая на большинстве предприятий длится около одного года. Альтернативой плавлено-литым бакоровым и высокохромистым огнеупорам могут стать материалы, полученные из сырья на основе отходов бадделеитокорундовых огнеупоров.

Цель данной работы — получение плавлено-литых хромшпинелидных огнеупоров с использо-

ванием в шихте кусковых отходов бадделеитокорундовых огнеупоров после службы в стекловаренных печах.

Для синтеза огнеупоров использовали измельченный лом бадделеитокорундовых огнеупоров усредненного состава (ZrO_2 31,4 %, SiO_2 15,9 %, Al_2O_3 48,5 %, Na_2O 2,3 %, другие оксиды 1,9 %), а также оксид хрома марки ОХМ-1 (ГОСТ 2912) с содержанием Cr_2O_3 98 %, оксид магния квалификации ч. с содержанием MgO 99 %. Оксиды хрома и магния вводили в шихту огнеупоров в количестве соответственно 79,2 и 20,8 %, обеспечивающем расчетный состав шпинелида MgCr_2O_4 . При этом необходимо учитывать реальное перераспределение и взаимодействие этих оксидов с оксидами алюминия, кремния, натрия и другими при плавлении и кристаллизации материала. Составы шихт для плавления и состава плавленных материалов приведены в табл. 1.

Плавку шихт хромшпинелидных огнеупоров проводили на электродуговой опытно-промышленной установке ЭДП-400 [2]. Слив расплава осуществляли в литейные формы, собранные из песчаных пластин толщиной 50 мм (отливки М1, М2 и М3) и графитовых пластин толщиной 50 мм (отливки М4, М5 и М6) и установленные в термоящике с диатомитовой теплоизолирующей засыпкой. Внутренние размеры песчаных форм 200×200×500 мм, графитовых — 200×300×500 мм.

После измерения, взвешивания и визуального осмотра отливки разрезали по продольному сечению для выявления внутренних дефектов и анализа особенностей кристаллического строения. Из рабочей зоны вырезали образцы для проведения

физико-химических и эксплуатационных исследований. Масса отливок *M1*, *M2* и *M3* составляла от 58 до 65 кг. На этих отливках отсутствовали трещины, посечки и сколы углов. Поверхность отливки была покрыта пригаром от взаимодействия расплава с песчаной литейной плитой. С увеличением содержания Cr_2O_3 в огнеупоре толщина пригара увеличивалась, у отливки *M3* она составляла 3–5 мм. Отливка *M4*, полученная заливкой расплава состава *M3* в графитовую форму, а также отливки *M5* и *M6* имели чистую и ровную поверхность без пригара. Текстура отливок *M1*, *M2* и *M3* мелкокристаллическая, цвет материала — темно-вишневый (рис. 1). Отливки *M5* и *M6* характеризовались объемным характером кристаллизации и высокой пористостью. Это объясняется низким содержанием стеклофазы в огнеупорах, низким проплавлением шихты в печи и относительно малой массой расплава в форме по отношению к массе графитовых пластин формы (формы отливок были недолиты из-за быстрой кристаллизации расплава, масса отливок 44–46 кг). Фазовый состав и структуру огнеупоров исследовали методами рентгенофазового и петрографического анализов.

Рентгенофазовый анализ материалов проводили при Co K_α -излучении на установках ДРОН-3 и ДРОН-3М. Фазы идентифицировали по картотеке ASTM. На рентгенограммах образцов *M1* и *M2* отмечены основные дифракционные максимумы, принадлежащие бадделеиту — моноклинной модификации диоксида циркония (0,3576, 0,3152, 0,2834, 0,1847, 0,1811 нм и др.), а также твердому раствору $(\text{Al,Cr})_2\text{O}_3$ (0,3517, 0,2582, 0,2403, 0,2109, 0,1622 нм и др.). На рентгенограмме огнеупора *M2* отмечен также слабый пик 0,2470 нм, отнесенный к шпинели типа MgAlCrO_4 (ASTM, карт. 23-1222). С увеличением содержания Cr_2O_3 в составе огнеупора количество шпинельной фазы возрастает. Об этом свидетельствует увеличение интенсивности и количества пиков шпинели (0,4720, 0,2884, 0,2475, 0,2049, 0,1576 нм) в образцах *M3* и *M4*. Характерная рентгенограмма материала *M4* показана на рис. 2. Значительные изменения претерпевают рентгенограммы образцов

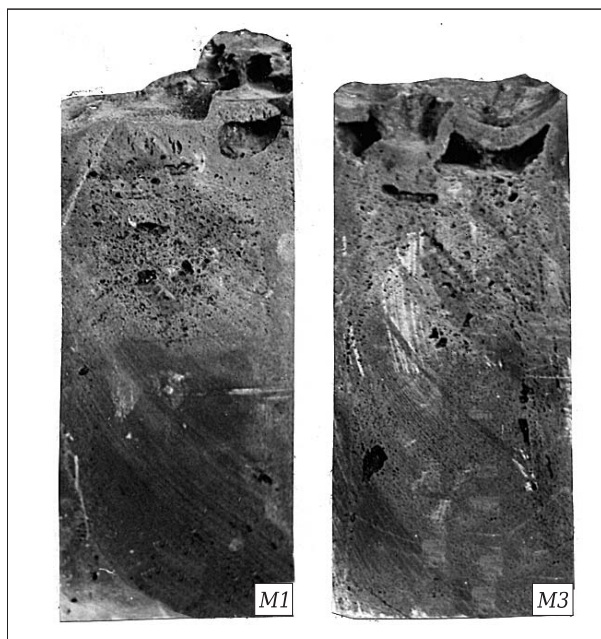


Рис. 1. Отливки синтезированных огнеупорных материалов

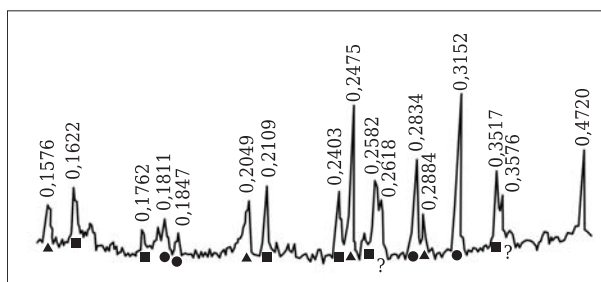


Рис. 2. Рентгенограмма плавного материала *M4*: ▲ — шпинель; ■ — твердый раствор $(\text{Al}_2\text{Cr})_2\text{O}_3$; ● — ZrO_2 (мон.)

огнеупоров *M5* и *M6*. Кроме основных кристаллических фаз бадделеита и шпинели в образцах огнеупоров присутствует новая фаза (предположительно металлическая, имеющая дифракционные максимумы 0,3576, 0,2425, 0,2138 нм).

По результатам петрографического исследования структура всех образцов синтезированных огнеупоров состоит из кристаллической и стекло-

Таблица 1. Составы шихт и плавных материалов

Материал	Состав шихты, %			Состав плавного материала, %					
	бакаровый лом	оксид хрома	оксид магния	ZrO_2	SiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	MgO	Na_2O
<i>M1</i>	91,0	7,0	2,0	30,1	12,8	46,4	7,2	1,9	1,5
<i>M2</i>	76,0	19,0	5,0	24,9	10,7	38,7	19,0	5,2	1,3
<i>M3</i>	60,6	31,2	8,2	20,0	8,6	30,8	31,2	8,2	1,0
<i>M5</i>	50,5	39,6	10,4	16,5	7,1	25,3	39,6	10,4	0,9
<i>M6</i>	36,4	50,4	13,2	12,0	5,2	18,4	50,4	13,1	0,7

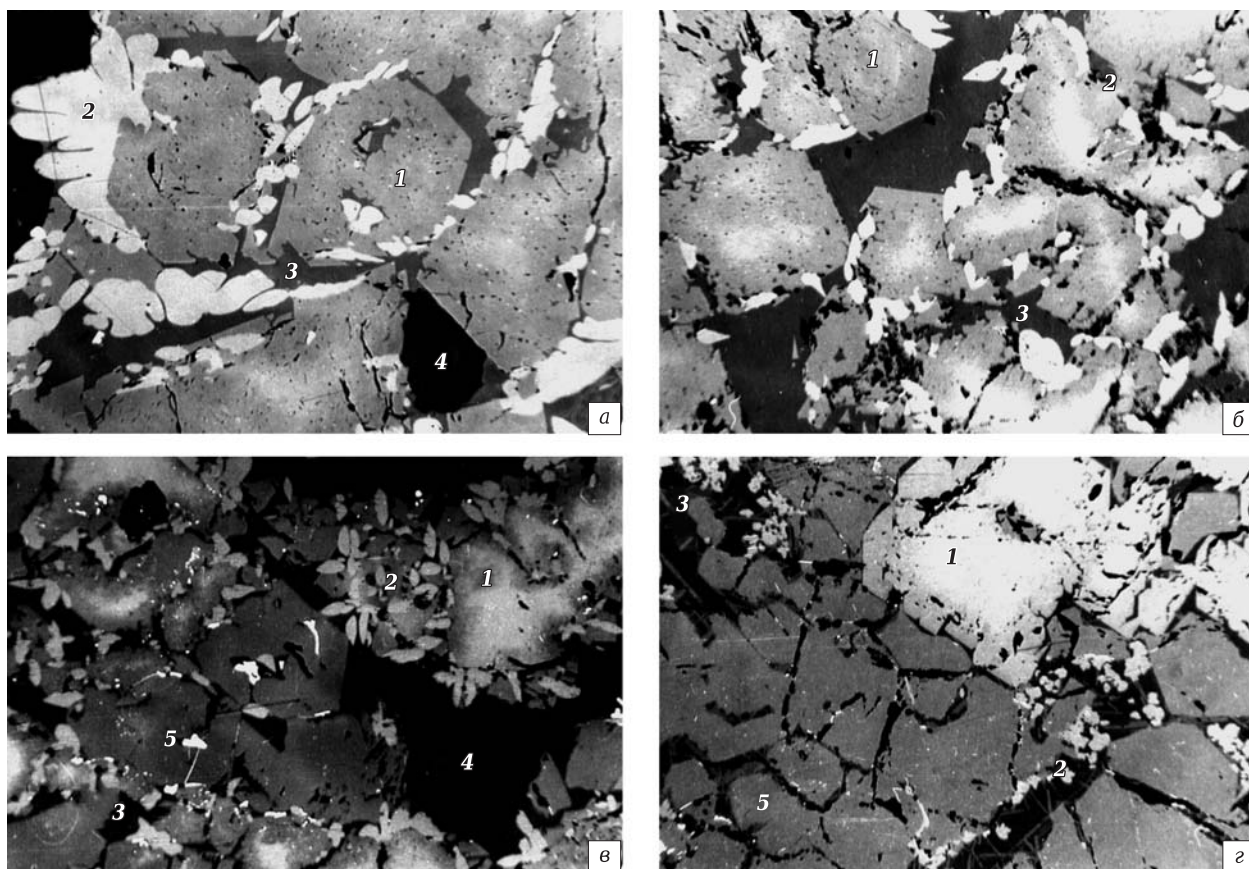


Рис. 3. Микроструктура плавлено-литых огнеупоров M1 (а), M2 (б), M4 (в), M6 (г): 1 — твердый раствор $(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_3$; 2 — бадделейт; 3 — стеклофаза; 4 — поры; 5 — шпинель. $\times 100$. Свет отраженный

видной фаз (рис. 3). Кристаллическая часть структуры образцов огнеупоров M1 и M2 с повышенным содержанием ZrO_2 и SiO_2 состоит из твердого раствора хромкорунда $(\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_3$, бадделейта и небольшого количества шпинели (см. рис. 3, а, б). Твердый раствор хромкорунда является преобладающей фазой и представлен в образцах огнеупоров в виде шестигранников, которые являются поперечными разрезами кристаллов гексагональной сингонии либо образуют дендритные формы роста. В образце M1 в меньшей, в образцах M2 и M3 в большей степени в кристаллах хромкорунда наблюдается зональная микроструктура. Центральные зоны содержат повышенное количество Cr_2O_3 и имеют высокую отражательную способность по сравнению с периферией кристаллов, в которых наблюдаются рост кристаллов Al_2O_3 и снижение отражательной способности. Зональность кристаллов хромкорунда объясняется способностью Al_2O_3 и Cr_2O_3 образовывать между собой непрерывный ряд твердых растворов [3, с. 251]. Температура плавления чистых оксидов соответствует для Al_2O_3 2050 °С, для Cr_2O_3 (по данным разных авторов) 2275 и 2435 °С. При охлаждении огнеупора первыми из расплава выделяются кристаллы твердого раствора на ос-

нове Cr_2O_3 , поскольку этот оксид является более высокотемпературным компонентом, чем Al_2O_3 . Этот твердый раствор образует центральные зоны кристаллов. Затем по мере охлаждения огнеупора и обеднения раствора оксидом хрома образуются периферийные зоны кристаллов твердого раствора, обогащенные более низкотемпературным компонентом — оксидом алюминия.

В тесной ассоциации с кристаллами твердого раствора хромкорунда встречается бадделейт. Его зерна, как правило, образуют дендритные формы роста, которые секут кристаллы твердого раствора и стеклофазы. В составе образцов M1 и M2 обнаружены единичные зерна шпинельной фазы. Все пространство между твердым раствором хромкорунда и бадделейтом занято стеклофазой без следов раскристаллизации. В структуре огнеупора M3 преобладающей фазой также является твердый раствор хромкорунда наряду со значительным количеством шпинели и меньшим количеством стеклофазы. В образцах огнеупоров M5 и M6 с повышенным содержанием MgO меняется соотношение минеральных фаз. Преобладающей фазой вместо твердого раствора хромкорунда становится шпинель MgCr_2O_4 , которая определяет микроструктуру огнеупора. Количество стеклофазы по сравнению с предыдущими образ-

цами заметно снижается, что является результатом уменьшения количества стеклообразующих компонентов шихты. Бадделеит встречается в небольшом количестве и не во всех образцах исследуемых огнеупоров М5 и М6.

Коррозионные свойства синтезированных хромшпинелидных огнеупоров определяли по отношению к расплаву минеральной ваты Арзамасского завода минераловатных плит. Химический состав минеральной ваты (индекс ЗМВ), %: SiO₂ 47,1, CaO 38,4, Al₂O₃ 4,65, MgO 6,97, FeO 0,95, Na₂O 0,65. Для сравнения коррозионным испытаниям подвергали плавленно-литые огнеупоры: бадделеитокорундовый ER 1711 (Франция) — аналог отечественного огнеупора Бк-41, применяемого в промышленных печах при плавке минеральной ваты, а также хромалюмоциркононовые огнеупоры ХАЦ-30, ХЦ-45 и высокохромистые ХМ-86, ХМ-95 и ХМ-100 (табл. 2). Также испытывали образцы огнеупоров, получаемые по керамической технологии: хромоксидный С1215 (SEPR, Франция), цирконовый ZS-1300 (SEPR, Франция), оксидноооловянный (Россия).

Коррозионные испытания образцов огнеупоров размерами 10×10×100 (70) мм проводили в статических условиях по известной методике [4]. Результаты испытаний огнеупоров в минераловатном расплаве продолжительностью 12 ч при 1500 и 1450 °С представлены в табл. 3 и показаны на рис. 4, 5.

При температуре испытаний 1500 °С все синтезированные огнеупоры, за исключением М6, а также огнеупоры ХАЦ-30 и ХЦ-45 разрушились на уровне стекла (см. рис. 4). Материал М6, изготовленный из шихты, содержащей более 36 % бакорового лома, показал коррозионную стойкость в 2 раза меньшую, чем у плавленно-литых высокохромистых огнеупоров ХМ-95, ХМ-86 и ХМ-100. Однако следует учесть, что материал М6 содержит 50,4 % Cr₂O₃, а высокохромистые огнеупоры — 78–83 % Cr₂O₃. При снижении температуры испытаний до 1450 °С относительно низкую скорость коррозии показали материалы М3 и М6 (см.

Таблица 2. Химический состав плавленно-литых хромсодержащих огнеупоров

Материал	Содержание оксида, %					
	Cr ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	Na ₂ O	ZrO ₂	Al ₂ O ₃
ХАЦ-30	30,0	—	13,0	1,2	26,0	30,0
ХЦ-45	45,0	—	16,0	1,5	32,5	5,0
ХМ-86	78,6	4,8	10,7	1,1	1,8	3,0
ХМ-95	80,8	4,7	2,7	0,4	—	9,7
ХМ-100	81,5	4,3	6,9	0,6	—	5,4
ХМГ-3	83,2	4,2	6,6	0,4	1,1	3,8

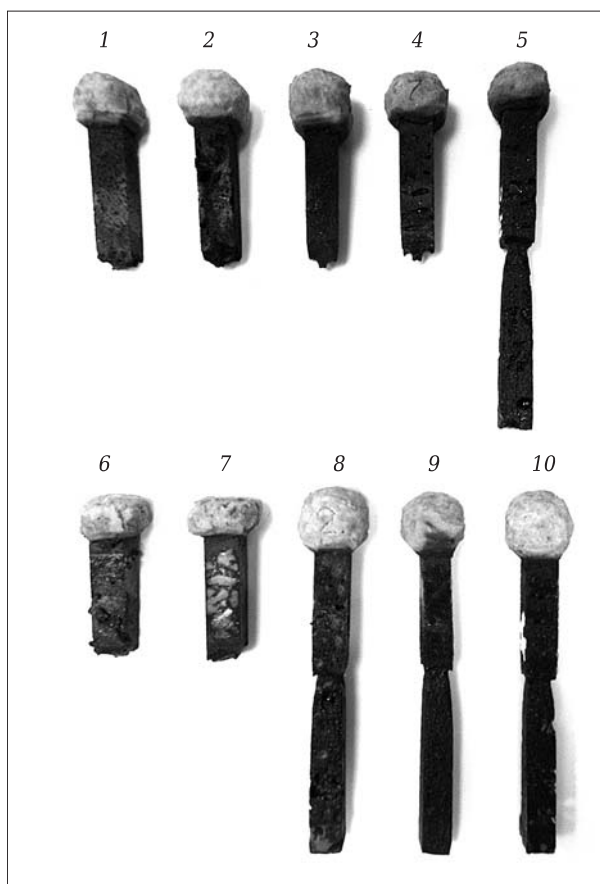


Рис. 4. Образцы огнеупоров после коррозионных испытаний при 1500 °С в течение 12 ч в минераловатном расплаве: М1 (1), М2 (2), М3 (3), М5 (4), М6 (5), ХАЦ-30 (6), ХЦ-45 (7), ХМ-95 (8), ХМ-86 (9), ХМ-100 (10)

Таблица 3. Коррозионная стойкость образцов огнеупоров в минераловатном расплаве

Материал	Скорость коррозии образца в минераловатном расплаве, мм/сут	
	1500 °С, 12 ч	1450 °С, 12 ч
М1	Разрушение	Разрушение
М2	»	»
М3	»	2,1
М5	»	—
М6	5,0	1,2
ХАЦ-30	Разрушение	—
ХЦ-45	»	—
ER 1711	—	Разрушение
ХМГ-3	—	0,8
ХМ-86	2,0	—
ХМ-95	2,2	—
ХМ-100	2,2	0,8
Оксид хрома С1215	—	0,7
Цирконовый ZS-1300	—	Разрушение
Оксидноооловянный	—	»

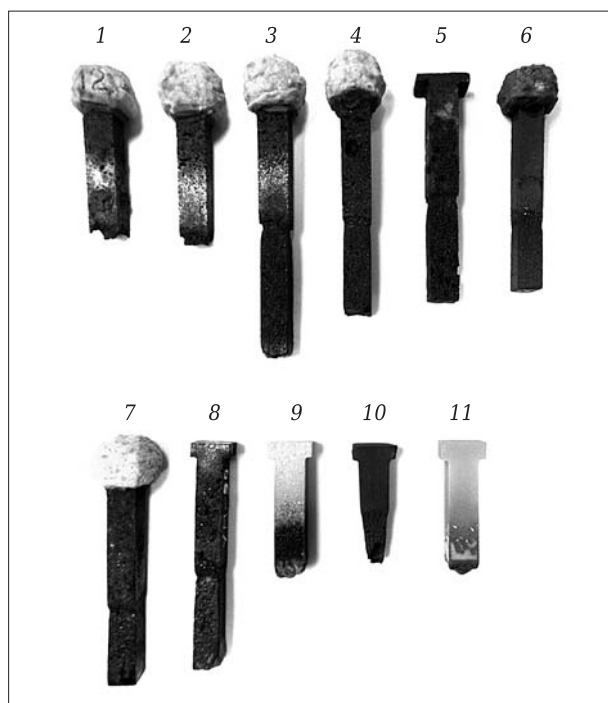


Рис. 5. Образцы огнеупоров после коррозионных испытаний при 1450 °С в течение 12 ч в минераловатном расплаве: М1 (1), М2 (2), М3 (3), М6 (4), ХЦ-45 (5), оксид хрома С1215 (6), ХМГ-3 (7), ХМ-100 (8), ER 1711 (9), оксиднооловянный (10), цирконовый ZS-1300 (11)

табл. 3), хотя при этой температуре полностью разрушились на уровне стекла материалы ER 1711, цирконовый ZS-1300 и оксиднооловянный (см. рис. 5). Высокую коррозионную стойкость в минераловатном расплаве показали керамический оксид хрома С1215 и плавнено-литые высокохромистые огнеупоры ХМ-86, ХМ-95, ХМ-100 и ХМГ-3.

Таким образом, проведенные исследования показали, что плавнено-литые хромшпинелидные огнеупоры, содержащие 31,2 и 50,4 % Cr_2O_3 и полученные из шихты с использованием лома бако-

ровых огнеупоров, характеризуются повышенной коррозионной стойкостью в минераловатном расплаве по сравнению с плавнено-литыми бадделейтокорундовыми и хромалюмоцирконовыми огнеупорами промышленных марок ER 1711, ХАЦ-30 и ХЦ-45.

Экспериментальные плавки показали, что количество шпинелидной добавки в значительной степени определяет режим плавления шихты и текстуру получаемых отливок. Содержание до 25 % шпинелидной добавки обеспечивает технологичность получения отливок и достаточно плотную их структуру. При содержании 40–60 % шпинелидной добавки значительно усложняется процесс плавки и литья быстрокристаллизующегося расплава.

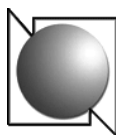
Библиографический список

1. **Соколов, В. А.** Структура и коррозионные свойства плавнелитых высокохромистых огнеупоров / В. А. Соколов, Т. Я. Малышева // Новые огнеупоры. — 2006. — № 6. — С. 37–41.
2. **Соколов, В. А.** Дуговые плавильные установки для синтеза и производства плавнено-литых огнеупоров / В. А. Соколов, М. Д. Гаспарян, П. П. Мамочкин // Новые огнеупоры. — 2009. — № 6. — С. 15–18.
3. **Соколов, В. А.** Arc melting plant for synthesizing and producing fusion-cast refractories / V. A. Sokolov, M. D. Gasparjan, P. P. Mamochkin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2009. — Vol. 50, № 3. — P. 185–188.
4. **Торопов Н. А.** Диаграммы состояния силикатных систем. Т. 1 / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин. — Л.: Наука, 1969.
5. **Соколов, В. А.** Синтез и свойства плавненных высокоглиноземистых материалов в системе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Me}_x\text{O}_y$ (Me = Na, Ca, Mg, B) // Труды Международной научно-практической конференции «Металлургия легких металлов. Проблемы и перспективы» / В. А. Соколов. — М.: МИСиС, 2006. — С. 462–472. ■

Получено 20.11.12

© В. А. Соколов, М. Д. Гаспарян, С. С. Киров, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



IX Научно-практическая конференция «Нанотехнологии – производству»

3–5 апреля 2013 г. • Научноград Фрязино Московской обл.

Тематика конференции:

- Инженерные технологии наноразмерного диапазона
- Моделирование нанопроцессов и наноструктур
- Применения наноструктур, наноматериалы и нанопокртия
- Нанотехнологическое оборудование
- Нанотехнологии для медицины и биотехнологий
- Нанотехнологии для экологии
- Нанотехнологии для ТЭК
- Нанотехнологии в строительных материалах и конструкциях
- Нанотехнологии в ЖКХ
- Нанотехнологии для агропромышленного комплекса
- Нанотехнологии в машиностроении
- НАНОТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ
- Риски, связанные с нанотехнологиями, нанотоксикология

E-mail: nanotech.nanotech.ru
Тел./факс (495) 332-88-11

Д. Т. Н. А. Н. Пыриков^{1, 2}, К. Т. Н. С. К. Вильданов^{1, 2},
А. В. Лиходиевский^{1, 2}, К. Т. Н. П. И. Черноусов^{2, 3}

¹ ООО «ОгнеупорТрейдГрупп», Москва, Россия

² Московское отделение МАНЭБ, Москва, Россия

³ НИТУ МИСиС, Москва, Россия

УДК 666.76+669.092.68:574

ЭКОЛОГИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ОТХОДОВ

Рассмотрены созданные в последние годы новые виды огнеупорных масс и других огнеупорных материалов, применяемые в промышленности. Приведены данные об использовании огнеупорного лома как вторичного сырья для производства огнеупоров, а также для изготовления высокоглиноземистых мертелей, жаропрочных бетонов для футеровки теплообменных зон цементнообжигательных вращающихся печей, вагранок для обжига строительного кирпича, футеровки алюминиевых электролизеров, масс для монолитной футеровки сталеразливочных ковшей.

Ключевые слова: экология, отходы, огнеупоры, утилизация, лом, шламы, футеровка.

В настоящее время придается немалое значение проблемам экологической чистоты технологических процессов и безотходности производства. На территории нашей страны в отвалах и хранилищах накоплено более 80 млрд т твердых промышленных отходов, которые занимают почти 300 тыс. га полезных земель. Ежегодно более 2 тыс. га земли отводится на складирование отходов. В некоторых случаях отходы занимают ценные сельскохозяйственные земли, что не может не сказаться на экологической обстановке прилегающих регионов. Степень переработки техногенного сырья составляет 7–12 % от его выпуска, остальные объемы переходят в разряд отходов, рациональные области использования которых, как правило, не определены.

Объем образования твердых токсичных отходов в химической промышленности за последние годы возрос почти в 3 раза. По данным МПР России [1], объем образовавшихся отходов за 2009 г. в целом составляет более 120 млн т, а наличие в отходах вредных веществ высокой токсичности (4-го класса опасности — более 15 млн т) является существенной особенностью химического производства. Накапливание токсичных веществ приводит к постепенному изменению химического состава почв, нарушению единства геохимической среды и живых организмов. Любое загрязнение литосферы твердыми отходами может вызвать загрязнение подземных вод.

Из общего объема используемых отходов около 80 % (вскрышные породы и отходы обогащения) направляются на закладку выработанного пространства шахт и карьеров, около 2 % отходов используются в качестве топлива и минеральных

удобрений и лишь 18 %, или 360 млн т, применяются в качестве возвратного сырья (из них 200 млн т — в строительной индустрии) [2].

Концентрация техногенных образований на территории промышленно развитых районов с наличием коммуникаций и отсутствие необходимости во вскрышных работах снижают энергетические и материальные затраты на организацию их разработок, и они оказываются ниже, чем при добыче природного сырья. Вовлечение в переработку 1 % отходов позволяет уменьшить затраты на извлечение минерального сырья на 2 % [3]. Сокращение запасов минерального сырья, вовлечение в переработку удаленных и более дорогих сырьевых материалов заставляют предприятия все шире использовать в качестве сырьевых ресурсов техногенные образования, что также способствует улучшению экологической обстановки в регионе.

Таким образом, используются промышленные отходы в качестве нового вида ресурсов (техногенного сырья) вместо природных полезных ископаемых, и включение их в производственный цикл решает одновременно две актуальные проблемы: проблему ресурсов и проблему сохранности окружающей среды.

Важным направляющим стимулом развития современной огнеупорной промышленности является совершенствование существующих и появление новых высокотемпературных технологий, предъявляющих все более высокие требования к условиям эксплуатации огнеупоров. При этом задачи улучшения служебных характеристик огнеупоров неразрывно связаны с соблюдением экологических стандартов, возможностью утили-

зации отходов производства и рециклинга огнеупоров. В последнее время достигнуты значительные успехи в оптимизации химического состава и физико-химических свойств огнеупоров для конкретных условий эксплуатации.

В металлургии в настоящее время расширяется применение новых огнеупорных материалов и их отходов. Так, огнеупорные массы для футеровки желобов в доменном производстве с использованием каменного пека, относящегося к веществам 2-го класса опасности, содержащие экологически вредные вещества, заменяют экологически чистыми массами, для приготовления которых не используют компоненты, содержащие экологически вредные вещества. Леточные массы для доменной печи с использованием каменноугольной смолы, также относящейся к материалам 2-го класса опасности, содержащие до 1,5 % бенз(а)пирена, заменяют экологически чистыми массами, в которых вместо каменноугольной смолы используют продукты нефтеперегонки с содержанием бенз(а)пирена не более 0,02 % [4, 5]. Инновационные технологии в металлургии в значительной степени связаны с интенсификацией температурных технологических процессов. В этой связи особое значение имеют материалы, работающие на контакте с агрессивными расплавами металлов, шлаков, стекол. В настоящее время осуществляются разработка и производство коррозионно-стойких керамических изделий, обеспечивающих длительную эксплуатацию футеровки в наиболее проблемных зонах печей. Наиболее устойчивыми в этих условиях являются высокотемпературные керамические материалы с различным содержанием оксида хрома.

Огнеупоры с высоким содержанием оксида хрома (плавлено-литые хромшпинелидные и керамические хромоксидные) с исключительно высокой коррозионной устойчивостью к действию агрессивных минеральных расплавов не имеют альтернативы среди всех типов огнеупорных материалов [6]. Оксиды хрома относятся к вредным веществам, которые при контакте с организмом человека при нарушении требований безопасности могут вызвать профессиональные заболевания; Cr^{3+} в аэрозольном состоянии относится к умеренно опасным (3-й класс опасности), Cr^{6+} в аэрозольном состоянии — к веществам чрезвычайно опасным (1-й класс опасности). ПДК CrO_3 в воздухе рабочей зоны должна составлять 0,01 мг/м³, т. е. в 100 раз меньше ПДК Cr_2O_3 .

При производстве плавлено-литых хромшпинелидных огнеупоров применяют технический оксид хрома, содержащий 99 % Cr_2O_3 (по ГОСТ 2912). В техническом оксиде хрома по этому стандарту не регламентировано содержание шестивалентного хрома, но не исключается присутствие

некоторого количества CrO_3 , которое не определяет отнесение данного сырьевого вещества по степени воздействия на организм человека ко 2-му классу опасности (ГОСТ 12.1.016). Оксид хрома может попадать в организм при вдыхании в виде аэрозоля и вызывать острые отравления. При использовании в составе шихты технического оксида хрома при производстве хромшпинелидных огнеупоров необходимо устранить или снизить образование хромсодержащей пыли. В связи с этим производственные помещения, в которых проводятся шихтоподготовительные работы с оксидом хрома, должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией (по ГОСТ 12.4.021).

По данным [7], состав пыли при выплавке феррохрома и ферросиликохрома, улавливаемой рукавными фильтрами, содержит от 0,04 до 0,6 % CrO_3 . При этом при производстве хромистых ферросплавов из хромитовых руд необходимо обращать внимание на периодический контроль содержания в атмосфере, кроме суммарного количества оксида хрома, соединений шестивалентного хрома. При плавке хромитовых руд и получении периклазохромитовых огнеупоров также может присутствовать Cr^{6+} в газовой фазе, и его содержание может достигать 1,7 мг/м³. В этой связи обращено внимание на создание надлежащих аэрационной и очистной систем для гарантированной величины ПДК. Примером решения проблемы очистки хромсодержащих выбросов является крупнопромышленное производство феррохрома. Так, печи для выплавки высокоуглеродистого феррохрома и ферросиликохрома в ОАО «Челябинский металлургический комбинат» оборудованы газоочистным сооружением с рукавными фильтрами, а для получения низкоуглеродистого феррохрома — циклонами и электрофильтрами [8].

В последние годы в металлургии черных и цветных металлов все шире используются огнеупоры корундового и корундокарбидкремниевых составов. Эти огнеупоры рекомендуются для службы на контакте с расплавами и шлаками, например в защитных внутренних стаканах горна, а также в районе проема чугунной летки горна доменных печей, в шлаковых поясах чугуновозных ковшей, в том числе миксерного типа, и в других металлургических агрегатах [9]. Доказана принципиальная возможность использования глинистой части хвостов циркон-ильменитовых руд в производстве кислотоупоров [10]. Исследования показали, что после обжига при 950 °С солевые алюминиевые шлаки значительно обогащаются ($\text{Al}_2\text{O}_3 > 70\%$), что позволяет использовать их в качестве отощителя взамен шамота (ранее в качестве отощителя при производстве кислотоупоров в керамических массах использовали шамот, ко-

торый получали при обжиге глины в интервале 1200–1250 °С). Использование обожженных алюминиевых солевых шламов значительно улучшает физико-механические и химические показатели кислотоупоров. Кроме того, использование техногенного сырья при получении кислотоупоров способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды и расширению сырьевой базы для производства керамических материалов.

По мере роста производства алюминия увеличивается количество твердых отходов футеровочных материалов, которые включают углеграфитовые и карбидкремниевые блоки, а также теплоизоляционные изделия различных марок. В российском алюминиевом производстве основным способом утилизации отработанной футеровки является складирование отходов на шламовых полях, полигонах или накопление на закрытых складах, длительность эксплуатации которых от 7 до 10 лет. Токсичный характер отработанной футеровки электролизеров — главная причина экологических проблем, возникающих в алюминиевой промышленности. Основное вредное воздействие на окружающую среду оказывает значительное количество водорастворимых фторидов, например NaF, и цианидов. Продукты вымывания из хранилищ отработанной футеровки могут загрязнять подземные или сточные воды. Кроме того, в слоях отработанных огнеупорных материалов, находящихся в отвалах, образуются взрывоопасные газы в результате вторичных реакций окисления воздухом и взаимодействия с влагой.

В связи с вышеизложенным мировые лидеры производства алюминия считают необходимым разрабатывать технологии переработки отходов футеровки алюминиевого электролизера. Углеродистые блоки после службы в алюминиевом электролизере, шамотный лом из печей обжига анодов и отходов газоочистки (кремнеземистая пыль фракции <10 мкм с содержанием SiO₂ не менее 92 %) используют для изготовления жаропрочных бетонов для футеровки алюминиевых электролизеров [11]. В настоящее время алюминиевый концерн «Rio Tinto Alcan», Канада, занимается эффективным рециклингом отработанной футеровки электролизеров с переводом в пригодный для дальнейшего использования продукт. В апреле 2008 г. этот концерн запустил в Квебеке завод по комплексной переработке футеровки производительностью 80 тыс. т с капиталовложениями около 227 млн долл.

По экспертным оценкам, ежегодный прирост отработанной футеровки алюминиевых электролизеров составляет более 1,7 млн т, что увеличивает уже имеющиеся отвалы, достигающие более десятка миллионов тонн. Необходимо отметить,

что в России отсутствует промышленный опыт переработки отработанной футеровки, поэтому дальнейшее производство алюминия по электролитической технологии ухудшает экологическую обстановку в соответствующих промышленных зонах. В настоящее время известно лишь о нескольких пробных испытаниях по утилизации отработанных футеровочных материалов с Братского, Иркутского и Новокузнецкого алюминиевых заводов [12].

В 2007 г. ОК РУСАЛ, Россия, приняла «Стратегию безопасного будущего», включающую конкретные шаги, направленные на снижение отрицательного воздействия на окружающую среду. Однако следует отметить, что инновационные решения и практические результаты этой компании по переработке отходов электролизного производства не были внедрены на всех алюминиевых предприятиях компании. Решено, что на новых заводах (Бочуганский, Тайшенский и Хакасский) будут только складировать отходы и сортировать отработанные футеровочные материалы. Техническое решение по раздельному хранению угольной и шамотной футеровки позволяет уменьшить их воздействие на окружающую среду, но оставляет открытым вопрос о последующем использовании отходов в качестве вторичных ресурсов [13].

Около 80 % потребляемых черной металлургией огнеупоров используется в сталеплавильном производстве, являющемся главным источником образования огнеупорного лома. Огнеупорный лом образуется в устройствах для разлива стали, и прежде всего в сталеразливочных ковшах, которые футеруют в основном алюмосиликатными огнеупорами. Относительно небольшой источник шамотного лома — ремонт доменных печей, нагревательных колодцев и печей прокатных цехов.

Лом корундовых изделий образуется из боя, брака и отходов абразивного инструмента, изготовленного из корундовых порошков, и широко применяется для изготовления огнеупорной продукции (марки ШККР) для трубчатых рекуператоров и производства шлифовальных материалов. Лом карбидкремниевых изделий применяется в качестве добавки в шихту при производстве карбидкремневых огнеупоров и капсул на фарфоровых заводах, в качестве раскислителя шлака при плавке чугуна в доменной печи.

Были проведены работы по полной или частичной замене в составе различных неформованных огнеупорных материалов дорогостоящего белого электроплавленного корунда на менее дешевые виды сырья: нормальный корунд, лом муллитокорундовых изделий и изделий из корундового бетона после службы. Лом высокоглиноземистых (муллитовых, муллитокремнеземистых, муллитокорундовых) изделий образуется при ремонте и разборке воздухонагревателей доменных

и коксовых печей и других тепловых агрегатов в металлургической, химической и машиностроительной промышленности и используется для производства высокоглиноземистых мертелей и масс для монолитной футеровки сталеразливочных ковшей [14].

Применение этих материалов позволяет расширить сырьевую базу и снизить себестоимость изготовления неформованных огнеупоров при сохранении их показателей свойств на достаточно высоком уровне. В промышленности строительных материалов шамотный лом используется в производстве пористой керамики (плит) и жаропрочных бетонов для футеровки теплообменных зон цементнообжигательных вращающихся печей и вагранок для обжига строительного кирпича. Шамотный лом используется также для производства молотого шамота, мертелей, составляющих

бетонных смесей и как отошающая добавка при производстве огнеупорных изделий массового применения: нормального и ваграночного кирпича, теплоизоляционных изделий для сифонной разливки стали и фасонных изделий общего назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одно из направлений развития огнеупорного производства в настоящее время — возвращение к практике, когда изготовители продукции с применением огнеупорного лома совместно с ее потребителями были бы инициаторами проведения анализа свойств конкретных видов огнеупоров, а также исследований, касающихся влияния отходов на физико-химические свойства и химический состав огнеупоров для конкретных условий эксплуатации.

Библиографический список

1. **Пыриков, А. Н.** Инженерная защита окружающей среды и экологическая безопасность Российской Федерации. Кн. 1. Государство и экология / А. Н. Пыриков, П. И. Черноусов, Н. Н. Мартынов. — М.: ЦИТ, 2012. — 192 с.
2. **Пыриков, А. Н.** Состояние и перспективы технологии инженерной защиты окружающей среды / А. Н. Пыриков, А. В. Лиходиевский, П. И. Черноусов // Труды 2-го Международного конгресса. — Екатеринбург: УПИ, 2006. — С. 95–99.
3. **Сорокин, Ю. В.** Переработка и использование техногенных отходов на предприятиях горно-металлургической отрасли / Ю. В. Сорокин, Л. А. Смирнов, Л. А. Шубин // Сталь. — 2005. — № 6. — С. 148–150.
4. **Красный, Б. Л.** Коррозионная стойкость хромосодержащих огнеупоров в различных агрессивных средах / Б. Л. Красный, В. П. Тарасовский, А. Б. Красный [и др.] // Новые огнеупоры. — 2007. — № 3. — С. 37.
5. **Первухин, Л. Б.** Изготовление композиционных материалов на основе огнеупорного оксидно-керамического материала М1 и волокон / Л. Б. Первухин, В. С. Владимиров, С. Е. Мойзис // Новые огнеупоры. — 2007. — № 3. — С. 40, 41.
6. **Соколов, В. А.** О проблеме шестивалентного хрома при производстве плавнено-литых хромосодержащих огнеупоров / В. А. Соколов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 3. — С. 157–160.
- Sokolov, V. A.** Problem of hexavalent chromium in the production of fusion-cast chromium-containing refractories / V. A. Sokolov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2012. — Vol. 53, № 2. — P. 112–114.
7. **Федоренко, Н. В.** Утилизация пыли, улавливаемой при производстве хромистых и кремнистых ферросплавов / Н. В. Федоренко // Обзор. информ. ЦНИИ и ТЭИ. Черная металлургия. Сер. Ферросплавное пр-во. — 1985. — Вып. 1. — 14 с.
8. **Лякишев, Н. П.** Металлургия хрома / М. И. Лякишев, Н. П. Гасик. — М.: ЭЛИЗ, 1999. — 582 с.
9. **Примаченко, В. В.** Использование лома огнеупорных изделий и нормального электроплавного корунда в производстве набивных масс, сухих смесей, огнеупорных бетонов и мертелей / В. В. Примаченко,

В. В. Мартыненко, Л. А. Бабкина [и др.] // Новые огнеупоры. — 2007. — № 3. — С. 42.

10. **Пицук, О. Н.** Огнеупоры для регенераторов стекловаренных печей / О. Н. Пицук, И. Г. Беспалова, Р. Ш. Назмутдинов // Новые огнеупоры. — 2009. — № 4. — С. 18, 19.

11. **Пыриков, А. Н.** Некоторые аспекты использования огнеупорных материалов и их отходов в промышленности / А. Н. Пыриков, С. К. Вильданов, А. В. Лиходиевский // Новые огнеупоры. — 2010. — № 4. — С. 107–109.

Pyrikov, A. N. Certain aspects in the use of refractory materials and their waste products in industry / A. N. Pyrikov, S. K. Vil'danov, A. V. Likhodievskii // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010. — Vol. 51, № 2. — P. 126–128.

12. **Абдрахимов, В. З.** Экологические и практические аспекты использования солевых алюминиевых шлаков в производстве керамических кислотоупоров / В. З. Абдрахимов // Новые огнеупоры. — 2010. — № 3. — С. 44–48.

Abdrakhimov, V. Z. Ecological and practical aspects of the use of salt aluminum slags in the production of ceramic acid-resistant materials / V. Z. Abdrakhimov // Refractories and Industrial Ceramics. — 2010. — Vol. 51, № 2. — P. 121–125.

13. **Бажин, В. Ю.** Современные способы переработки отработанной огнеупорной футеровки алюминиевого электролизера / В. Ю. Бажин, Р. К. Патрин // Новые огнеупоры. — 2011. — № 2. — С. 39–41.

Bazhin, V. Yu. Modern methods of recycling pent potlinings from electrolysis baths used in aluminum production / V. Yu. Bazhin, R. K. Patrin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2011. — Vol. 52, № 1. — P. 63–65.

14. **Пыриков, А. Н.** Служба огнеупоров. Кн. 2. Глава 11. Охрана окружающей среды при производстве и применении огнеупоров: справочник / А. Н. Пыриков. — М.: Интермет Инжиниринг, 2002. — С. 639–653. ■

Получено 01.10.12

© А. Н. Пыриков, С. К. Вильданов, А. В. Лиходиевский, П. И. Черноусов, 2013 г.

ОБЗОР РАЗРАБОТОК ПО ОГНЕУПОРАМ

Semler, C. E. Review of Advances in Refractories / C. E. Semler // Interceram Refractories Manual. — 2011. — Vol. 2. — P. 77 – 81. Англ.

<http://www.google.com/patents>

<http://patents.com>

[http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1551-2916](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1551-2916)

Описаны достижения в области огнеупоров, такие как разработка и улучшение $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ - и $\text{MgO}-\text{C}$ -изделий; микрокремнезем в глиноземистых огнеупорах; усовершенствование сырьевых материалов; неформованные огнеупоры (бетоны) и т. д. Рассмотрены также последние разработки, включая помол кианита истиранием, наносвязанные $\text{MgO}-\text{C}$ -огнеупоры, кермет с TiB_2 и материал для фильтра из керамической пены, а также последние патенты США. Обсуждены отдельные темы, которые могут быть значимыми для проведения будущих исследований, включая совершенствование заполнителей, подбор частиц по фракциям (*particle sizing*), поверхность раздела заполнитель – матрица, модель новой микроструктуры, рецилинг отслуживших огнеупоров, высокочистые сырьевые материалы, «гибкие» бетоны (*«bendable» concrete*) и т. д.

Ключевые слова: разработки по огнеупорам, периклазохромитовые огнеупоры с прямой связью, $\text{MgO}-\text{C}$ -огнеупоры, неформованные огнеупоры, огнеупорные композиты, керамическая пена, титанат алюминия, шпинель, патентная литература.

Огнеупорная промышленность имеет длительную и успешную историю совершенствования технологии огнеупоров в соответствии с непрерывно меняющимися потребностями рынка. Характер огнеупоров значительно изменился с тех пор, когда в качестве сырья использовали только горные породы или только простые методы обработки. В настоящее время наблюдается широкое разнообразие огнеупоров — от простых материалов из горных пород до очень сложных, разработанных на высоком техническом уровне, таких как $\text{MgO}-\text{C}$ -изделия (содержащие неорганические, органические и металлические компоненты), керметы, леточные массы (содержащие более 15 компонентов), готовые бетонные блоки, усиленные металлическими волокнами, высокотехнологичные (низкоцементные, ультранизкоцементные, бесцементные и саморастекающиеся) бетоны.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

С развитием огнеупоров экономический аспект и важность огнеупорного производства в мире повысились до достаточно высокого уровня, хотя огнеупорные материалы, обеспечивающие прогресс многих отраслей промышленности, широкой публике относительно мало известны. Черная металлургия, безусловно, является самым крупным рынком для огнеупоров, потребляя до 70–75 % годового производства огнеупоров в разных странах. Следует отметить, что производство

стали (а также других материалов) полностью зависит от огнеупоров, поэтому происходит тесное взаимодействие между черной металлургией и огнеупорным производством. Необходимость в улучшении качества огнеупоров возникла вследствие изменений металлургических процессов, касающихся оптимизации срока службы и соотношения затраты: эффективность, минимизации длительности простоя и ремонта, доведения производительности агрегатов до максимума. Из рис. 1 видно, что тепловые агрегаты для выплавки стали менялись от бессемеровских конвертеров до мартеновских печей, а затем до кислородных конвертеров и электродуговых печей. Изменения методов выплавки стали сопровождались многочисленными усовершенствованиями огнеупоров.

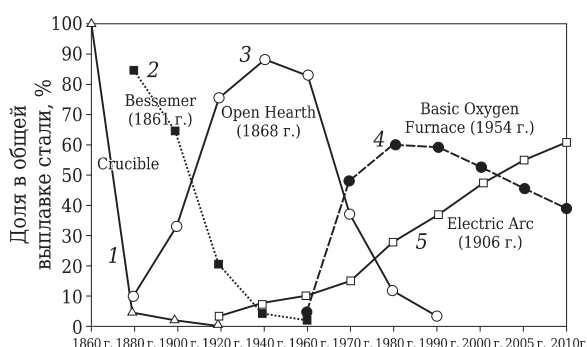


Рис. 1. Динамика изменения методов выплавки стали в США с 1860 по 2010 гг.: 1 — тигли; 2 — бессемеровские конвертеры; 3 — мартеновские печи; 4 — кислородные конвертеры; 5 — электродуговые печи

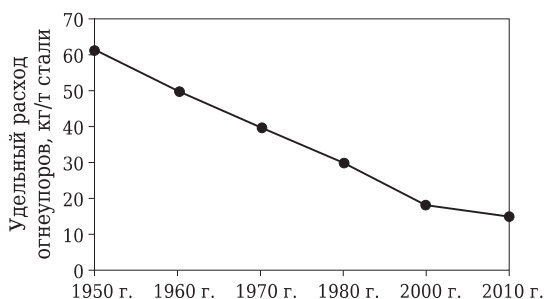


Рис. 2. Динамика изменения удельного расхода огнеупоров в период с 1950 по 2010 г.

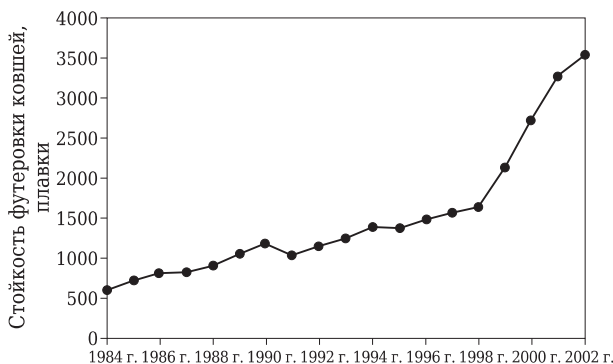


Рис. 3. График, показывающий 490 %-ное повышение срока службы ковшей «торпедо» в одной металлургической компании с 1984 по 2002 г. Изменение дизайна кладки и внедрение ремонта торкрет-бетоном (shotcrete) привели к резкому повышению стойкости футеровки ковшей после 1998 г. [2]

Характеристика изделий $MgO-Cr_2O_3$ [4]

Показатели	Изделия на силикатной связке (60 мас. % MgO)	Изделия с прямой связью (60 мас. % MgO)
Пористость, %	20	16
Предел прочности, МПа:		
при сжатии	29	69
при изгибе	2,8	>10,3
при 1260 °C		

Удельный расход огнеупоров в мире неуклонно снижается начиная с 1950 г. (рис. 2) [1], указывая на то, что для производства стали постоянно разрабатываются все более стойкие огнеупоры.

Увеличение срока службы огнеупоров наблюдается в кислородных конвертерах, ковшах «торпедо», сталеразливочных ковшах, промежуточных ковшах МНЛЗ, гнездовых блоках, пористых пробках и т. д. На рис. 3 показан рост срока службы ковшей «торпедо» в одной металлургической компании с 604 до 3563 наливов (+490 %) в период с 1984 по 2002 г.; рост стойкости сопровождался значительным снижением затрат на огнеупоры и ремонт [2]. Подобные тенденции снижения

наблюдаются и в других отраслях, потребляющих огнеупоры.

Некоторые примеры усовершенствований огнеупоров во второй половине XX века

Говорят, что тот, кто не изучает и не понимает историю, обречен повторять ее. Эта рекомендация важна для огнеупорного производства, чтобы уменьшить время и расходы на переучивание принципов и повторение экспериментов, которые уже проведены и о которых сообщили. Ниже приведено несколько примеров усовершенствований огнеупоров в течение последних 60 лет.

Периклазохромитовые изделия с прямой связью

Проведенные Ламингом (*Laming*) в 1959 г. исследования [3] низкремнеземистых периклазохромитовых изделий, обожженных до 1800 °C, позволили значительно улучшить их микроструктуру за счет усиления прямой связи между хромитовыми и периклазовыми зернами. При этом высокотемпературная прочность изделий с прямой связью была значительно выше, чем у обычных (см. таблицу) [4]. Миками (*Mikami*) [4] назвал эту разработку «одним из наиболее значительных достижений в последние годы». Периклазохромитовые изделия, обычно используемые в стенах и своде мартеновских печей, начали применять во многих других областях.

Микрокремнезем в высокоглиноземистых изделиях

Патент США (*U. S. Patent 3,067,050, 1962 г.*) иллюстрирует важность оптимизации матрицы за счет тщательного подбора ее гранулометрического состава — частичной замены грубозернистой фракции мелкими и сверхтонкими частицами. Свойства огнеупорных изделий с 90 % глинозема были значительно улучшены за счет замены глины пылевидным кварцем (*flint*) и микрокремнеземом (сверхтонкие частицы). Такой состав смеси привел к снижению пористости изделий от 21,1 до 13,2 % и увеличению прочности от 6,4 до 28,3 МПа. Эта разработка — пример существенного улучшения свойств, которое возможно в результате повышенного внимания к зерновому составу огнеупорных смесей, и особенно содержанию тонких и сверхтонких частиц. В дальнейшем важность регулирования зернового состава еще больше повысилась.

Усовершенствования сырьевых материалов

В последние десятилетия постепенно возрастала значимость чистоты, качества и микроструктуры сырьевых материалов. Ламинг (*Laming*) [3] пришел к выводу, что более чистое сырье и высокая температура обжига являлись ключевыми факторами в разработке периклазохромитовых изделий с прямой связью. Наряду с вниманием к чистоте

природного сырья стали очевидны преимущества синтетических сырьевых материалов, особенно в связи с ужесточением условий эксплуатации огнеупоров; потребители нуждались в более долговечных огнеупорах. На рынке появились синтетические сырьевые материалы разных типов (спеченные и плавленые), такие как глинозем, муллит, диоксид циркония, диоксид циркония – муллит, карбид кремния, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Cr}_2\text{O}_3$, $\text{MgO--Cr}_2\text{O}_3$, MgO--CaO , шпинель и т. д. Было установлено, что можно регулировать размер кристаллов сырьевых материалов (от малого к большому) для улучшения эксплуатационных характеристик огнеупоров, таких как коррозионная стойкость. Имеются данные, относящиеся к производству высокочистых огнеупорных оксидов, как, например, получение ультравысокочистых (>99,95 %) субмикронных порошков диоксида циркония со средним размером частиц от 10 до 20 нм из алкоксидов переходных металлов. Порошок уплотняется при значительно более низкой температуре, чем коммерческий диоксид циркония спектрального сорта (99,9 %); об этом процессе сообщил Mazdiyasni [5].

MgO–C-огнеупоры

Периклазоуглеродистые огнеупоры, разработанные для футеровки агрегатов сталеплавильного производства, также привлекли к себе серьезное внимание исследователей. Были детально изучены сырьевые материалы (MgO , графит, углерод, металлические добавки, связки и т. д.) и свойства этих огнеупоров — высокотемпературная прочность, устойчивость к окислению, шлакоустойчивость, термостойкость, теплопроводность, модуль упругости (МОЕ). Периклазоуглеродистые огнеупоры можно рассматривать как сложные композиционные материалы, исследования которых позволили создать широкий сортамент изделий для различных зон футеровки тепловых агрегатов.

Поскольку углерод и графит склонны к окислению, необходимо было обеспечить стабильность и долговечность огнеупоров при службе на воздухе и в кислородной среде. Установлено, что добавка одного или нескольких металлических порошков (Al , Si , Mg , Al--Mg) в композицию MgO--C обеспечивает мощную антиоксидантную защиту. Отмечен также минерализующий эффект, который вызывает значительное повышение высокотемпературной прочности [6].

Можно считать, что MgO--C и другие C-содержащие композиции (глинозем–C, $\text{ZrO}_2\text{--C}$, MgO--доломит--C , глинозем– SiC--C и др.) относятся к одним из наиболее важных из всего класса разработанных огнеупоров.

Неформованные огнеупоры (бетоны и др.)

Кальцийалюминатный (глиноземистый) цемент (calcium aluminate cement — САС) был разработан

в 1923 г.; первый САС-бетон с 15–30 мас. % цемента использовали уже в 1924 г.

Clavaud [7] сообщил о том, что исследования, проводимые примерно с 1960 г., обеспечили разработку бетонов с низким содержанием цемента (low cement content — LCC), которые отличаются повышенной огнеупорностью и улучшенными характеристиками. Ключевой аспект этого развития заключался в том, чтобы бетоны имели свойства на уровне соответствующих формованных огнеупоров или даже лучше. Отличные характеристики, экономия времени и затрат при укладке и дальнейшее развитие ультранизкоцементных (ultra-low cement ULC), бесцементных (no-cement NC), углеродсодержащих и саморастекающихся (self-flow) бетонов наряду с укладкой несколькими методами, включая шоткастинг (shotcasting), или мокрое токретирование, а также использование готовых литых изделий (pre-cast shapes), способствовали значительному росту производства и применения неформованных огнеупоров. Важность развития неформованных огнеупоров можно проиллюстрировать следующим образом: производство неформованных огнеупоров превысило выпуск формованных огнеупоров в Японии уже в 1993 г., и доминирование неформованных огнеупоров продолжается до сих пор. Ниже приведен пример повышения стойкости футеровки ковшей на металлургическом предприятии, работающем на прогрессивном использовании различных бетонов [8]:

Тип бетона	Стойкость футеровки, число наливов
Цирконовый	100
Алюмошпинельный	250
Алюмопериклазовый	370
Алюмопериклазовый (шоткаст)	500

Другие важные разработки (направления развития)

А. Проектирование микроструктуры, включая оптимизацию подбора заполнителя и матрицы, регулирование зернового состава, исследование поверхности раздела матрица – заполнитель и возможных преимуществ заполнителя с покрытием, специально созданные микротрещины и другие технологии.

В. Диаграммы фазового равновесия и термодинамическое программное обеспечение, имеющие большое значение для оценки высокотемпературных характеристик и плавки оксидных и неоксидных огнеупорных композиций; потребность в разработке неоксидных фазовых диаграмм.

С. Существующая тенденция роста использования первичной и вторичной шпинели (MgAl_2O_4) в огнеупорах. Шпинель имеет хорошую устойчивость против коррозии, а также другие высокие эксплуатационные характеристики.

Д. Возможность улучшения эксплуатационных характеристик при введении в шихту одно-

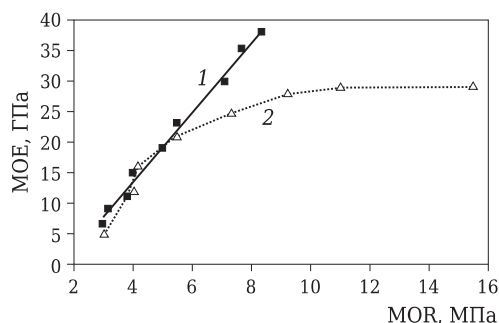


Рис. 4. График, показывающий, что нанотехнологии могут использоваться для изменения соотношения между МОЕ и MOR MgO–C-огнеупоров [10]: 1 — обычный MgO–C-огнеупор; 2 — MgO–C-огнеупор, изготовленный по нанотехнологии

компонентных или многокомпонентных добавок в результате минерализации, образования новых фаз, развития характерных свойств микроструктуры и т. д.

Е. Применение надежных методов испытаний, особенно важных для оценки высокотемпературных свойств огнеупоров.

Г. Имитационное моделирование, выполняемое с помощью сложных компьютерных технологий, для оценки конструкции футеровки, влияния на ее качество условий эксплуатации, а также для анализа напряжений и теплового потока и т. д.

Г. Усовершенствованное оборудование для производства огнеупоров, в том числе высокоинтенсивные (и обогреваемые) миксеры, высокотехнологичные компьютеризированные прессы, печи, роботы.

ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ

Последние разработки, касающиеся дальнейшего совершенствования технологии огнеупоров, иногда изменяют устоявшиеся представления о фундаментальных характеристиках материалов. Эти важные разработки подчеркивают основные принципы: «материалы ограничены, а творчество безгранично» и «существуют неограниченные возможности непрерывного совершенствования технологии». Эти принципы могут быть базовыми для молодого поколения специалистов, занимающихся технологиями огнеупоров.

Помол кианита (Al_2SiO_5) истиранием

Брадт (Bradt) [9] сообщил о том, что помол кианита истиранием приводит к значительному снижению его термического расширения. Кианит, обладая высоким термическим расширением, успешно используется для производства огнеупоров. Однако сейчас установлено, что помол кианита истиранием (при создании тонкодисперсных порошков и наночастиц) приводит к существенному снижению его термического расширения и температуры фазового разложения. Кроме того, это способствует получению более реакционно-спо-

собной формы свободного кремнезема и образованию муллита при более низкой температуре.

Исследования Брадта указывают на возможность успешного проведения работ по обработке других материалов (например, Al_2TiO_5 , ZrO_2 и т. д.).

Наносвязанные MgO–C-огнеупоры

Тамура (Tamura) [10] показал, что фундаментальные характеристики MgO–C-огнеупоров могут быть изменены за счет проектирования их микроструктуры. Существует правило, согласно которому между пределом прочности при изгибе (MOR) и модулем упругости (МОЕ) имеется прямая связь — чем выше MOR, тем выше МОЕ. Это означает следующее: когда повышаются МОЕ и MOR, обычно снижается термостойкость. Однако было установлено (рис. 4), что при проектировании микроструктуры MgO–C-огнеупоров с использованием нанотехнологии можно получить структуру, которая обеспечивает более низкий, чем ожидалось, МОЕ при более высоких значениях MOR. Эта работа подтвердила, что разработана конструкция матрицы, которую можно использовать для получения MgO–C-огнеупоров (и, может быть, других типов огнеупоров) с более высокой прочностью и лучшей, чем ожидалось, термостойкостью.

Разработка огнеупорных композитов

Комплексный и сложный инженерный проект, включающий междисциплинарный вход (*multi-disciplinary input*) и разработку моделирующего испытания на стойкость к эрозии/коррозии, был осуществлен фирмой «Exxon Mobil Research and Engineering Company» [11]. Состав кермета (PQ) (RS), включающий керамическую фазу (PQ) и связующую фазу (RS), где P — металл, выбранный из Al, Si, Mg, Ca, Y, Fe, Mn, элементов групп IV, V, VI и их смесей; Q — оксид; R — базовый металл, выбранный из группы, состоящей из Fe, Ni, Co, Mn и их смесей; S состоит преимущественно из по меньшей мере одного элемента, выбранного из Cr, Al и Si и по меньшей мере одного реактивного смачивающего элемента, выбранного из группы, состоящей из Ti, Zr, Hf, Ta, Sc, Y, La и Ce. Содержание керамической фазы (PQ) колеблется в пределах от 55 до 95 об. % от объема кермета и распределяется в связующей фазе (RS) в виде частиц диаметром 100 мкм или более. Составы кермета с оксидом металла пригодны для высокотемпературных применений, требующих высокой устойчивости к эрозии и коррозии.

Получен кермет с TiB_2 с высокой устойчивостью к эрозии/коррозии, успешно замещающий бетон с 80 % Al_2O_3 для крекинг-установок со сжиженным катализатором (*fluidized catalytic cracking units FCCU*) в нефтяной промышленности. Кермет с TiB_2 обеспечил 5-кратное повышение срока службы (что означает снижение непродуктивных простоев) по сравнению с бетоном, содержащим 80 % Al_2O_3 . Успех этой разработки должен

простимулировать других исследователей на создание креативных инновационных материалов для других областей применения.

Разработка керамической пены

Эта разработка показывает, каким образом были использованы имеющиеся знания для полной замены старого стандартного продукта, в результате чего был получен более качественный продукт. В 2010 г. компания «Selee Corp.», США, имела экологическую проблему с одним из своих стандартных продуктов (сетчатой керамической пеной), который представлял собой глиноземистый материал на фосфатной связке для фильтрования алюминия, разработанный в 1974 г. Специалисты компании наблюдали, что в процессе службы некоторые фильтры загорались с образованием фосфида/фосгена, так что пришлось заменить пену стандартного состава фильтрами из пены без фосфатов. При замене заполнителя (глинозем на алюмосиликат) и связки (фосфат на боратное стекло) была получена улучшенная керамическая пена, которая имела такую же или лучшую производительность фильтрации, более низкое термическое расширение и на 25–50 % более длительный срок службы. На сегодняшний день новая пена заменила значительную часть пены с фосфатами.

Патентная литература

Каждый год в разных странах мира выдаются тысячи патентов, поэтому целесообразно изучать патентную литературу, чтобы не отставать от новейших технических разработок и концепций. Несколько примеров недавних патентов США приведены ниже.

- Литые изделия, составы бетонов и методы их производства [12] — дата публикации 2 сентября 2010 г.

Бетон с низким содержанием воды позволяет производить литые изделия и футеровки с повышенными прочностями при изгибе и при сжатии на холоду и сниженной пористостью. В составе бетона используются закрытые (замкнутые) фракции частиц со специфической степенью заполнения и специфическими зазорами в гранулометрическом составе. Состав бетона пригоден для производства огнеупоров. Патентообладатель — компания «**Vesuvius Crucible Company**», США.

- Огнеупоры, предотвращающие отложение глинозема в канале разливочного стакана [13] — дата публикации 6 января 2011 г.

Огнеупоры, предотвращающие отложения глинозема в канале разливочного стакана, содержат огнеупорный заполнитель с 20 мас. % CaO или более и 10 мас. % или более клинкерных частиц с CaO в качестве минеральной фазы. На поверхности частиц клинкера образуется пленка из CaCO_3 , которая выделяет газ CO_2 в результате термического разложения. При этом выравнивается рабочая поверхность стакана и устраняется

налипание глиноземистых включений. Толщина пленки CaCO_3 варьируется в пределах 0,1–5,0 мкм.

- Клинкер алюмината кальция CA (calcium aluminate clinker) как огнеупорный заполнитель с добавкой бария и без нее [14] — дата публикации 19 июля 2012 г.

В изобретении указан состав огнеупорного заполнителя, включающий улучшенный клинкер алюмината кальция с формулой C_nA_x , где C — оксид кальция; A — оксид алюминия; n — целое число от 1 до 12; x — целое число от 1 до 24. Клинкер содержит от 0 до 50 мас. % C_{12}A_7 и источник бария, используемый вместо кальция в алюминат-кальциевом клинкере. Получены огнеупоры и торкрет-массы с улучшенным алюминаткальциевым клинкером. Представлен метод улучшения изоляционных свойств и/или устойчивости футеровки к проникновению расплава в контакте с расплавленным алюминием в процессе производства или транспортировки алюминия.

- SrO-содержащая связка для неформованных огнеупоров (бетонов) [15] — дата публикации 17 февраля 2011 г.

Связка для неформованных огнеупоров содержит компонент $\text{Ca}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Al}_2\text{O}_4$ или $\text{Ca}_y\text{Sr}_{1-y}\text{Al}_4\text{O}_7$ или вместе с $12(\text{CaO})_z(\text{SrO})_{1-z}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$, где $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ и $0 < z < 1$. Эта связка отличается повышенной устойчивостью к эрозии шлаком или расплавленным чугуном.

- Огнеупорный кирпич со сроком службы, эквивалентным стойкости алюмомагнезиевого бетона для сталеразливочных ковшей [16], — дата публикации 10 мая 2011 г. Первоначальный патентообладатель — компания «**Shinagawa Refractories Co.**», Ltd, Япония.

Огнеупорный кирпич изготовлен из глиноземистого и магнезиевого сырья с частицами размерами не более 0,5 мм и содержит Al_2O_3 и MgO в сумме 90 мас. % или более, от 4 до 16 мас. % MgO, от 0,5 до 5 мас. % SiO_2 , Na_2O и K_2O в сумме от 0,3 до 2 мас. %, остальное — неизбежные примеси и Al_2O_3 .

- Производство керамики на основе титаната алюминия [17] — дата публикации 26 мая 2011 г. Первоначальный патентообладатель — компания «**Sumitomo Chemical Company**», Ltd, Япония.

Изобретение описывает процесс производства керамики на основе титаната алюминия или алюмомагнезиевого титаната (*aluminum magnesium titanate*), отличающейся высокой устойчивостью к термическому разложению и небольшим ТКЛР. Процесс включает обжиг стартовой смеси материалов (соединений титана, алюминия, магния и стеклообразной фритты с температурой деформации 700 °C или выше).

БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вышеупомянутые достижения в области огнеупоров содержат лишь немногие темы из обширной совокупности знаний. История показывает, что, без сомнения, огнеупорная промышленность про-

должит идти по пути прогресса, чтобы соответствовать потребностям рынка. Существует широкое разнообразие тем, которые можно было бы обсудить с точки зрения планирования будущих исследований, однако в данном разделе будут рассмотрены только некоторые значимые идеи, которых могли бы дать толчок для будущей деятельности:

- Совершенствование заполнителей, включая новые типы, форму, регулирование размеров кристаллов и характеристик межзеренных границ, выбор типа заполнителя (плавленный против спеченного), покрытия поверхности и т. д.

- Углубленное внимание к зерновому составу и оптимизации матрицы, включая тщательное регулирование крупнозернистого заполнителя с помощью наноматериалов.

- Исследование характеристик поверхности раздела матрица – заполнитель, относящихся к двум представленным выше пунктам. В этой связи могут быть использованы *R*-кривая (кривая сопротивления разрушению) и/или испытания на расщепление клином (*wedge-splitting tests*).

- Дальнейшее применение для исследований оптической микроскопии, поскольку этот метод позволяет наблюдать некоторые характерные особенности, которые могут быть не замечены при проведении только электронно-оптического анализа.

- Изучение биологических структур как модели новых/уникальных микроструктур, которые могут способствовать улучшению свойств огнеупоров. Например, структура раковины моллюска состоит из слоев пластинок CaCO_3 , связанных тонким слоем протеина; эта структура обладает работой разрушения, по меньшей мере на порядок большей, чем у наилучшей структуры огнеупора.

- Расширение применения технологии рециклинга огнеупоров в связи с усиливающимися ограничениями по наличию и стоимости огнеупорного сырья. Существенный аспект этого процесса – убедить потребителя в том, что огнеупоры, содержащие повторно используемый материал, имеют хорошее качество и успешно работают в разных областях.

В литературе содержится большой массив информации о материалах и процессах, которая может представлять интерес для разработчиков и производителей огнеупоров. Следует отметить следующие статьи:

1. MgAl_2O_4 – шпинель, синтезированная высокоэнергетическим шаровым помолем и реакционным спеканием [18]

Бременским университетом, Германия, изучен новый процесс получения алюмомагнезиальной шпинели, предусматривающий использование смешанного порошка из MgO и металлов ($\text{Al} - 3 \text{ мас. \% Mg}$). Был применен интенсивный помол в шаровой мельнице, который способствует

образованию частиц нового порошка как композита при тесном контакте обоих компонентов. Новая конфигурация частиц значительно повлияла на процесс реакционного спекания, который приводит к получению однофазной шпинельной микроструктуры при умеренных температурах ($< 1400^\circ\text{C}$). Длительность оптимизированного помола порошкообразной смеси определялась завершением реакции исходных порошков с образованием шпинели в процессе спекания. Более короткий помол привел к незавершенным реакциям, а более длительный – к загрязнению продукта.

2. Графит со шпинельным покрытием для углеродсодержащих бетонов [19]

Работа выполнена на факультете химической технологии Университета Калькутты, Индия. Устойчивость к окислению и смачиваемость водой чешуйчатого графита были существенно улучшены в результате образования тонкой золь-гель пленки из алюмомагнезиальной шпинели (MgAl_2O_4) на поверхности чешуек. Гидрозоль (коллоидная водная суспензия) был синтезирован из более дешевых исходных реагентов, а образование шпинели было изучено с помощью сканирующей электронной микроскопии (*scanning electron microscopy – SEM*), дополненной энергодисперсионным спектральным анализом.

После простой процедуры смешивания, сушки (110°C) и последующей кальцинации (550°C) частицы графита с покрытием были просеяны до размеров менее 75 мкм. Покрытие порошка содержало 1,5 мас. $\% \text{MgAl}_2\text{O}_4$, что существенно повысило устойчивость к окислению (испытание проведено при 600, 900 и 1200°C) и смачиваемость водой. Приблизительная (1:2) стехиометрия (Mg:Al) в составе покрытия была подтверждена методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Бетоны, изготовленные из этого графита, отличались улучшенными показателями кажущейся плотности и открытой пористости по сравнению с бетонами, содержащими графит без покрытий. Добавка воды была снижена наряду с содержанием антиоксидантов. Это способствовало также повышению устойчивости к основному шлаку при сохранении графита в составе огнеупора.

3. Полые сферические Ti–Al–C-кластеры, полученные синтезом в процессе горения [20]

Полые сферические Ti–Al–C-кластеры были изготовлены синтезом в процессе горения (*combustion synthesis*) на воздухе с привлечением механической активации. Работа проведена китайскими специалистами из Технического института физики и химии (Китайская академия наук) и из Государственной лаборатории новой керамики и тонкой обработки Университета Циньхуа (Tsinghua University). Кластеры имеют двухслойную структуру оболочки, в которой наружный слой состоит из тройной фазы Ti–Al–C, а внутренний содержит зерна TiC. Обсуждены проведение

реакции и микроструктура в процессе реакции горения. Считается, что присутствие Ti–Al-расплава важно для образования полых сферических кластеров.

4. Гидротермический синтез глиноземистых чешуек (пластин), подобных лепесткам [21]

В Центральном институте исследований стекла и керамики, г. Калькутта, Индия, глиноземистые чешуйки (пластины) в форме лепестков получены гидротермической реакцией при 170 °C в течение 6 ч из исходных материалов на водной основе. Гелевые частицы подверглись кальцинации при 550–1200 °C. Гелевые и кальцинированные частицы были исследованы с помощью дифференциального термического анализа (*differential thermal analysis* — DTA), термогравиметрии (*thermogravimetry* — TG), дифракции рентгеновских лучей (*X-ray diffraction* — XRD), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (*Fourier transform infrared spectroscopy* — FTIR), определения удельной поверхности по методу Брунауэра — Эммета — Теллера (*Brunauer — Emmett — Teller — BET — surface area*) и сканирующей электронной микроскопии. Кристаллизация глинозема была подтверждена исследованиями DTA и XRD. Результаты XRD показали, что частицы бёмита образовывались в только что изготовленных образцах, в то время как γ -глинозем продолжал существовать до 800 °C, после чего при 1000–1200 °C появлялся θ -глинозем. Характеристики вибраций Al–O в полиморфных модификациях глинозема изучали с помощью FTIR. Сканирующая электронная микроскопия подтвердила образование глиноземистых чешуек (пластин) в форме лепестков совместно с глиноземистыми наностержнями.

5. Простой метод получения наноструктурированных алюминатных покрытий [22]

На кафедре инженерной керамики в Институте Йозефа Стефана, г. Любляна, Словения, разработан простой метод получения наноструктурированных алюминатных покрытий, основанный на гидролизе порошка нитрида алюминия. Покрытия успешно были нанесены на керамическую основу из спеченного тетрагонального ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 (Y-TZP). Нанокристаллическое покрытие, образовавшееся с использованием этого метода, состоит из $\gamma-AlOOH$ (бёмита) в форме взаимосвязанных пластинок толщиной 6 нм и длиной 240 нм. В процессе последующей термообработки в диапазоне от 900 до 1200 °C это покрытие трансформировалось в различные переходные формы глинозема без заметных изменений в морфологии.

6. Легированные хромом форстеритовые наночастицы, синтезированные пиролизом при плазменном распылении [23]

Лаборатория неорганических материалов «Toyota Central R&D Laboratories Inc.» и Технологический институт, г. Тойота, Япония, исследова-

ли синтез наночастиц легированного хромом форстерита ($Mg_2SiO_4:Cr$) путем пиролиза при плазменном распылении (*flame spray pyrolysis* — FSP). Были оценены морфология, кристаллическая фаза и фотолюминесценция продуктов. Получены наночастицы кристаллической структуры $Mg_2SiO_4:Cr$ диаметром в несколько десятков нанометров, хотя существовало небольшое количество субмикронных частиц и непрореагировавшей фазы MgO. Порошкообразный продукт показал сигналы электронно-спинового резонанса (*electron-spin resonance signals*) от Cr^{4+} и фотолюминесценцию, типичную для Cr^{4+} в Mg_2SiO_4 ; это свидетельствует о том, что часть ионов Cr^{4+} была размещена в узлы Si^{4+} при FSP.

С другой стороны, было исследовано влияние избыточной добавки SiO_2 на структурные и оптические характеристики $Mg_2SiO_4:Cr$. Добавка избытка SiO_2 до 20 мол. % не влияла на эти характеристики. Дальнейший рост избытка SiO_2 (60–100 мол. %) усилил образование аморфной фазы и привел к эмиссии из Cr^{3+} в аморфной фазе в дополнение к эмиссии из Cr^{4+} в Mg_2SiO_4 .

7. Образование наночастиц $Al_2O_3 \cdot TiC$ -композиата из материалов с углеродистым покрытием [24]

Исследование по этой теме проведено на факультете машиностроения и энергетических процессов в Университете Южного Иллинойса, г. Карбондейл, США, при поддержке Министерства энергетики США.

В работе изучено образование наночастиц композиата глинозем — карбид титана (Al_2O_3-TiC) из покрытой углеродом смеси диоксид титана — алюминий (TiO_2-Al). Смесь TiO_2-Al с углеродистым покрытием в сравнении со стандартными смесями изменяла механизм реакции, позволив изготовить высококачественные нанопорошки Al_2O_3-TiC . Данные, полученные при средних температурах, показывают, что эти продукты образуются через Ti_2O_3 и Al_3Ti . TEM-изображения (TEM — *просвечивающая электронная микроскопия*) Al_2O_3-TiC -порошков показали малый размер частиц (50–100 нм) и их узкое распределение по размерам.

8. Частицы плавного корунда с покрытием [25]

Частицы плавного корунда покрываются слоем титаната алюминия, который образуется путем нанесения титансодержащего соединения на поверхность частиц плавного корунда и последующего обжига для осуществления реакции между титансодержащим соединением и корундом.

Первоначальный патентообладатель — компания «Showa Denko K. K.», Япония.

9. Исследователи строительных бетонов разработали «гибкие» бетоны («*bendable concrete*») [26], которые выглядят как обычные бетоны, но имеют способность к самовосстановле-

нию (*self-healing capabilities*). Они в 500 раз более устойчивы к растрескиванию и на 40 % легче (по массе), чем обычные бетоны. Эта разработка может быть полезна для создания новых огнеупорных бетонов.

Библиографический список

1. **Lee, W. E.** Challenges and Opportunities for the Refractories Industry — An Academic Perspective / *W. E. Lee [et al.]* // *Proceedings IREFCON'10, Kolkata*. — 2010. — С. 7–17.
2. **Ito, S.** Technical Development of Refractories for Steel-making Processes / *S. Ito, T. Inuzuka* // *Nippon Steel Technical Report*. — 2008. — Vol. 98. — С. 63–69.
3. **Laming, J.** Recent Work on Chrome-Magnesite Brick / *J. Laming* // *Refractories Journal*. — 1959. — № 3. — С. 116–120.
4. **Mikami, H.** Direct-Bonded Brick in Electric Furnace Walls / *H. Mikami* // *Proceedings, Electric Furnace Conference, 1963*. — С. 49–57.
5. **Mazdiasni, K. S.** Preparation of Ultra-High-Purity Submicron Refractory Oxides / *K. S. Mazdiasni, C. T. Lynch, J. S. Smith* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 1965. — Vol. 48, № 7. — С. 372–375.
6. **Hart, R.** Magnesite-Carbon Brick for Steelmaking / *R. Hart, D. Michael* // *Proceedings : 5th Intl. Iron & Steel Congress, Washington, D. C., 1986*. — № 69. — С. 171–175.
7. **Clavaud, B.** 15 Years of Low Cement Castables in Steelmaking / *B. Clavaud [et al.]* // *Proceedings : 1st Intl. Conf. on Refractories, Tokyo, Japan, 1983*. — С. 589–606.
8. **Nakamura, R.** The Current Status of Casting Steel Ladles in Japan / *R. Nakamura, T. Kaneshige* // *Proceedings : 82nd Steelmaking Conference, Chicago*. — 1999. — С. 267–278.
9. **Bradt, R. C.** Nano-milling of the sillimanite mineral, kyanite, and its reactions with alumina to form mullite / *R. C. Bradt, J. Aguilar-Santillana, H. Balmori-Ramirez* // *Journal of Ceramic Processing Research*. — 2005. — Vol. 6, № 4. — С. 271–275.
10. **Tamura, S.** Effect of Small Quantity Additives on the Properties of Nano-Tech Refractories / *S. Tamura [et al.]* // *Taikabutsu Overseas*. — 2009. — Vol. 29, № 2. — С. 144.
11. **U. S. Patent 7,544,228 (2009).** Large particle size and bimodal advanced erosion resistant oxide cermets ; дата выдачи патента (Date of Patent) : Jun. 9, 2009 ; регистрационный номер заявки Appl. No. : 11/639,692 ; дата регистрации : Dec. 15, 2006.
12. Номер публикации патента США (Patent Application) 2010/0222201. Cast bodies, castable compositions, and methods for their production ; дата подачи заявки (Filed on) August 28, 2008 ; опубликована September 2, 2010 // patents.com/us-20100222201.html.
13. Номер публикации патента США 2011/0003679 A1. Anti-alumina-buildup refractories for casting nozzles ; заявлен : August 19, 2003 ; дата публикации : January 6, 2011.
14. CA (Calcium Aluminate Clinker). As a refractory aggregate with and without Ba addition ; дата публикации :

10. Следует рассмотреть применение в производстве огнеупоров и обработке сырьевых и повторно используемых материалов **методов микроволнового и плазменного нагрева**, а также систем термического напыления.

- 19 июля 2012 г. ; номер заявки : 13/357,731 ; номер публикации заявки : US 2012/0180703 A1, заявлен : 25 января 2012 г.
15. SrO-containing binder for monolithic (castable) refractories ; дата публикации : 17 февраля 2011 г. ; номер публикации заявки : US 2011/0039683 A1 ; подача заявки : 27 октября 2008 г.
16. Refractory brick with durability equal to alumina-magnesia castable for steelmaking ladles ; выдан : 10 мая 2011 г. ; номер патента США : 7939458 ; заявлен : 24 ноября 2006 г. ; номер заявки : 12/094,938.
17. Process for producing Aluminum Titanate-based ceramics ; дата публикации 26 мая 2011 г. ; номер заявки : 12 / 994,601 ; номер публикации : US 2011/0124484 A1 ; заявлен : 17 июня 2009 г.
18. **Henkel, L.** MgAl₂O₄ — spinel synthesized by high-energy ball milling and reaction sintering / *L. Henkel, D. Koch, G. Grathwohl* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2009. — Vol. 92, № 4. — С. 805–811.
19. **Sunanda Mukhopadhyay.** Spinel-coated graphite for C-containing castables / *Sunanda Mukhopadhyay, Sarbasree Dutta, Sheikh A. Ansar [et al.]* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2009. — Vol. 92, № 8. — С. 1895–1900.
20. **Liu, G.** Hollow spherical Ti–Al–C clusters prepared by combustion synthesis / *G. Liu, J. Li, Y. Yang, K. Chen* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2009. — Vol. 92, № 10. — С. 2385–2387.
21. **Naskar, M. K.** Hydrothermal synthesis of petal-like alumina flakes / *M. K. Naskar* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2009. — Vol. 92, № 10. — С. 2392–2395.
22. **Krnel, K.** A simple method for preparation of nano-structured aluminate coatings / *K. Krnel, A. Kocjan, T. Kosmac* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2009. — Vol. 92, № 10. — С. 2451–2454.
23. **Tani, T.** Chromium-doped forsterite nano-particles synthesized by flame spray pyrolysis / *T. Tani, S. Saeki, T. Suzuki, Y. Ohishi* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2007. — Vol. 90, № 3. — С. 805–808.
24. **Kaga, H.** Formation of Al₂O₃–TiC composite nano-particles from carbon-coated precursors / *H. Kaga, R. Koc* // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2007. — Vol. 90, № 2. — С. 407–411.
25. Coated, fused alumina particles : U. S. Patent 5,633,084 ; May 27, 1997 [<http://www.google.com/patents/US5633084>].
26. **Hankle, W.** Bound for New Frontiers / *W. Hankle* // *Amer. Ceram. Soc. Bull.* — 2010. — Vol. 89, № 4. — С. 20, 21. ■

Получено 22.12.12
Пер. **И. Г. Очагова**
(ОАО «Черметинформация»), 2013 г.

Предприятия ищут оптимальную модель взаимоотношений с поставщиками — как огнеупоров, так и других производственных комплектующих. Многие считают, что на смену тендерам должны прийти долгосрочные отношения. Но эти отношения еще надо заслужить.

В ПОИСКАХ ТЕНДЕРА

В последнее время огнеупорная тематика неожиданно вышла на страницы федеральной прессы, ее деловые страницы. Причина этого простая: как всякая сервисная отрасль, огнеупорный сектор металлургической промышленности является индикатором общего состояния. По симптомам отдельного «органа» можно судить о самочувствии всего организма — металлургической промышленности.

На огнеупоры и огнеупорные материалы приходится незначительная доля в ценообразовании металла, но предприятия стремятся максимально экономить именно тут — в других секторах ценообразования лазеек для экономии практически нет: цены, как правило, жестко привязаны. Но поскольку поставка огнеупоров — это прежде всего сервис, а каких-то революционно новых материалов на рынке не появляется, покупатель пытается выиграть на соотношении цены и качества сервиса, беря как бы на себя роль производственных специалистов, ответственность за качество продукции. В этом случае завод проводит многочисленные тестовые испытания и подбирает нужный материал путем многочисленных проб, не оставляя права на ошибку. Металлургия вообще одна из самых требовательных к сервису и качеству обслуживания оборудования и расходных материалов отраслей.

Если по тем или иным причинам завод делегирует ответственность за качество огнеупоров поставщику, это, скорее, говорит, о снижении уровня собственных заводских специалистов, нежели о возникшем между заводом и поставщиком огнеупоров невероятном доверии. Один из наиболее характерных показателей качества производственного процесса — снижение затрат на огнеупоры на тонну стали до 6–7 долл. Если предприятию огнеупоры обходятся в 10–12 долл. на тонну — что-то не так в плане организации поставок. Наиболее заметные игроки рынка огнеупорных поставок — ООО «Группа «Магнезит», ООО «РХИ Восток», ООО «Металл Проект»; эту зависимость прекрасно понимают. Как напомнил на осенней конференции, посвященной рынку металлургического сырья СНГ, представитель ООО «Магнезит Монтаж Сервис», есть и такие предприятия, в которых уровень затрат на огнеупоры достигает 20–25 долл. за тонну, что совершенно недопустимо.

Добиваясь гарантированного качества футеровки, предприятия увеличивают меру требований к сервису, одновременно стараясь выигрывать в цене. Металлургические предприятия фактически стремятся завести стоимость услуг в цену материалов, и будут стремиться делать это всегда, пытаясь выжать максимальную экономию с этого «пяточка возможностей». Но парадокс в том, что от уровня сервисного обслуживания зависят долговечность футеровки, эффективность работы печи, а значит, и выигрыш в долгосрочной перспективе.

Столь высокие требования к качеству сервиса приводят сегодня к тому, что каждая компания — поставщик огнеупоров, у которой есть пул заказчиков из числа крупнейших предприятий, может считаться в целом надежной. Именно поэтому металлургическое сообщество, применительно к огнеупорам как некой лакмусовой бумажке, сегодня всерьез озадачилось поиском оптимальных тендерных решений в своей закупочной политике. А когда такая потребность возникает у ряда игроков, неминуемо возникает почва для дискуссии и обмена опытом.

Ниже приводятся мнения, высказанные участниками рынка в ходе ряда проведенных в конце 2012 г. исследований, посвященных тендерной политике предприятий, поиску эффективных решений в закупочной деятельности. Многие опрошенные эксперты — как со стороны предприятий, так и со стороны поставщиков — приходят к выводу, ко-

торый ранее был свойственен по большей части исключительно поставщикам: в отношениях между клиентом и заказчиком все чаще требуется надежность в виде долгосрочного надежного контракта, в рамках которого и клиент, и заказчик предсказуемы друг для друга.

— Сейчас уже все компании, которые работают с оборудованием разных поставщиков, понимают, с кем возможно долговременное сотрудничество в рамках поставок оборудования, у кого какое место по качеству (**К. Мажумдер**, генеральный представитель в РФ и СНГ компании «SMS Concast AG», Швейцария, — крупного поставщика оборудования для металлургии).

— Запад отступил от тендеров (**Ш. Пишек**, генеральный директор ООО «РХИ Восток»). Там, где есть тендер, там нет рынка.

— Теперь компания сама выбирает своих поставщиков и никого не приглашает на какие-то тендеры, потому что знает, что во время таких тендеров может появиться больше возможностей для манипуляций, и выбирает компанию, с которой можно надежно работать. Тендер применяется только в некоторых случаях, когда планируются огромные инвестиции. А все остальное покупается по техническим заданиям, по потребности, у надежных поставщиков.

— Во всем мире компании уходят от системы тендеров и полагаются на поставщиков, у которых есть возможность исправления ошибок и дальнейшего развития отношений с клиентом. Компании держат 1–2–3 стратегических поставщика, выделяют определенное количество времени и объемов для испытания новых, 2–3 главных поставщика держат низкую цену, потому что каждый из них хочет получить больший объем...

Понимают положение вещей и предприятия.

— Учитывая наш опыт проведения тендеров в вагоностроении, считаем, что регулировать отрасль технологиями проведения тендеров нецелесообразно (**Р. Лобанов**, директор по снабжению ООО «Объединенная Вагонная Компания»). Далеко за примерами ходить не нужно — есть опыт в государственных закупках в других отраслях. Следует изучить мнения пользователей данных процедур, их опыт и на основе этого делать выводы. В качестве инструментов, обеспечивающих прозрачность проведения конкурсных процедур, следует подумать над системой прозрачности решений. Например, чтобы на государственном уровне поддерживать конструкцию вагона, который будут делать все вагоностроители по общедоступным чертежам. А также создать единую информационную базу коммерческих предложений всех производителей с историей. Это позволит существенно увеличить прозрачность решений, снизить стоимость вагона и повысить его качество. Наша компания готова всячески способствовать этой работе.

— Принципы выработки тендерных критериев — одна из самых чувствительных проблем в отрасли. Тендер без разумной проработки соотношения цены и точно выверенных технических параметров контракта рано или поздно приведет к производственному риску (**А. Благодатских**, генеральный директор ООО «Металл Проект»).

— Даже старейшие, известнейшие поставщики рано или поздно не выдерживают давления на очных «ценовых» тендерах, и даже зная о том, что компания не сможет выполнить качественные показатели, она тем не менее идет на снижение цены — только чтобы получить весь объем контракта. Предприятия должны стремиться к лучшим образцам тендерной политики, к выработке сложных систем оценки «поставщик известный/неизвестный», история работы, складской резерв, насколько он надежный и т. д.

Металлурги обращают внимание на другие отрасли промышленности, много беря полезного, например, от автомобильной отрасли. Все хотят работать так же надежно, как «Мерседес» или другие гиганты.

— Мы постоянно изучаем опыт работы передовых компаний (**Р. Лобанов**). У нас работает современная ERP-система, используются технологии планирования, управления запасами, складами, технологии сорсинга и тендеринга, управления заказами на закупку, управления и развития поставщиками. Несмотря на то что мы в самом начале пути, многие вещи у нас уже заработали и приносят пользу компании. Мы многое взяли у автопроизводителей, среди которых идет жесткая конкурентная борьба за потребителя. В качестве положительных примеров можно выделить «Toyota» и «Ford».

— Качество, цена и надежность поставщика являются тремя приоритетными критериями при выборе контрагента и должны применяться одновременно (**Э. Степанцов**, вице-президент ЗАО «Объединенная металлургическая компания»). При проведении закупки требования обязательного характера определяются именно по этим критериям. Соблюдение этих требований обеспечивает минимально приемлемую эффективность закупки, а сами требования являются отборочными при определении круга поставщиков. При этом бесспорный приоритет отдается качеству.

Качество выражается в способности поставщика произвести или обеспечить поставку товаров в соответствии с требованиями, указанными в спецификации или техническом задании. Мы не можем рисковать качеством продукции, выпускаемой нашими предприятиями, поэтому все новые материалы, прежде чем попасть на производственные участки, в обязательном порядке проходят испытания. При поступлении товара от поставщика проводится входной контроль качества. С теми поставщиками, с которыми уже установлены длительные договорные отношения, мы на постоянной основе анализируем статистику отклонений по качеству поставленных материалов. Также к вопросу качества может быть отнесен фактор готовности поставщика изменять характеристики предлагаемого продукта в зависимости от требований потребителя либо его клиентов.

Надежность — это комплексное условие качественного выполнения контрактных обязательств. Прежде всего, оборудование, сырье, материалы надлежащего качества должны быть поставлены своевременно, для того чтобы наша компания смогла произвести и отгрузить потребителям продукцию точно в срок. Надежность поставщика — это в том числе честность, отзывчивость, обязательность, заинтересованность в партнерском ведении бизнеса с нашей компанией, финансовая стабильность, положительная репутация в своей сфере, соблюдение ранее установленных объемов поставки материальных ресурсов.

В цене должны учитываться все затраты на закупку конкретного ресурса или готовой продукции, которые включают транспортировку, административные расходы, риск изменения курсов валют, таможенные пошлины и т. д. В аналитическом поле логистического менеджера всегда должен находиться комплекс затрат на всем протяжении жизненного цикла товара, включая затраты на его обслуживание, расходные материалы, утилизацию и т. д. Цена, качество и надежность взаимосвязаны: чем выше качество и надежность, тем выше цена. Бывают лидеры рынка, которые могут доминировать по всем трем показателям. Это наш идеальный поставщик, с которым бы мы хотели работать.

Предприятия видят в качестве основного производственного риска слабую интеграцию с поставщиком, что не дает возможности держать ситуацию под постоянным контролем. Например, риск сбоя поставок часто возникает в ситуации, когда в тендерные условия вносится приоритет быстрых сроков поставки и для победы поставщик максимально сокращает сроки поставки.

— Наилучшее лекарство от некачественной поставки — устойчивые хозяйственные связи с поставщиком (**Э. Степанцов**). Если рынок достаточно изучен и при проведении закупочной процедуры сформировалась качественная организованная конкуренция поставщиков, если все лидеры рынка известны и есть понимание того, кто может предложить наилучшие условия на долгосрочную перспективу, то следует переходить на устойчивые хозяйственные связи.

Долгосрочное партнерство, выбор между проверенными поставщиками, высокий внутренний контроль качества, отход от тендеров, имитирующих конкуренцию, — вот к чему сегодня идет отрасль. В этом уверено большинство опрошенных экспертов.

Получено 11.02.13

© **Игорь Рябов**,

директор исследовательского центра
«Промышленность и общество», 2013 г.



Д. Т. Н. Г. Д. Семченко

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина

УДК 666.76.001.8.01.79

ЖЕЛАНИЕ — ЭТО ЕЩЕ НЕ ВОЗМОЖНОСТЬ БЫСТРО РЕШИТЬ ПРОБЛЕМЫ В ПОДГОТОВКЕ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ

Как пишут авторы статьи «Интеграция образования, науки и производства — магистральный путь в конкурентной борьбе за подготовку квалифицированных кадров»*, в России предпринимаются определенные шаги к устранению дефицита квалифицированных рабочих, инженерно-технических работников и научных кадров во всех отраслях промышленности, в том числе в производстве керамики и огнеупоров. В Украине не существует президентской программы повышения квалификации инженерных кадров в отличие от России и не стимулируется процесс образования и науки; бюджетное финансирование уменьшается с каждым годом. Особенно снижается количество бюджетных мест по химическим специальностям, в том числе по специальности 05130104 «Химия и технологии тугоплавких неметаллических материалов». Поэтому главная задача руководителей огнеупорных предприятий — проявлять инициативу и направлять работников цехов и заводских лабораторий на учебу (пусть даже заочно). Хорошим примером является Великоанадольский огнеупорный комбинат; в настоящее время на разных курсах на кафедре технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (НТУ ХПИ) учатся 3 работника комбината. Для решения глобальных проблем огнеупорного производства, как мне кажется, нужна подготовка кадров высшей квалификации и инженерных кадров с направлением дипломированных студентов и защитившихся аспирантов на предприятия, которые нуждаются в них. К сожалению, получить места для работы на заводах или в научно-исследовательских институтах, число которых можно пересчитать на пальцах одной руки, после окончания вуза или аспирантуры нереально из-за боязни конкуренции местных должностных лиц с грамотными выпускниками технических вузов. Даже после устройства на заводы перспективные для карьерного роста молодые ин-

женеры (даже парни) вынуждены покидать завод и устраиваться на «базар».

Только благодаря частному поиску привлекательных мест по специальности во вновь появившихся компаниях и на заводах иногда удается найти возможность устроить своего дипломника по профессии, причем с перспективой кадрового роста.

К сожалению, теперь огнеупорные заводы не привлекают к работе талантливую молодежь, как это было в советское время, на практику, чтобы присмотреться к будущему работнику и выбрать достойного. Командировочные при прохождении практики и даже железнодорожные билеты студентам не оплачиваются. Если раньше УкрНИИО им. А. С. Бережного ежегодно приглашал на практику 6–8 студентов, то теперь только одного-двух, если раньше каждый год известный отраслевой институт брал на работу 5 выпускников ХПИ, то теперь средств на это нет. В 2012 г. практику по договорам с предприятиями студенты проходили на восьми заводах и фирмах Украины, но огнеупорных заводов это не касалось.

Обеспечение предприятий высококвалифицированными кадрами по решению передового руководства самих предприятий возможно только путем взращивания кандидатов технических наук из среды увлеченных и заинтересованных работников заводов и научно-исследовательских организаций. В НТУ ХПИ на кафедре технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей защитил кандидатскую диссертацию И. А. Остапенко (на сегодняшний день директор Кондратьевского огнеупорного завода) на тему «Плиты шибберных затворов с безобжиговой основой» (2009 г.). Сейчас, став руководителем завода, он проявляет заинтересованность в научной организации технологических процессов. В заочной аспирантуре нашей кафедры учится еще один из руководителей нового огнеупорного производства Украины, который видит решение многих проблем в создании импортозамещающей огнеупорной продукции мирового уровня в центре, оснащенном новейшим оборудованием.

Именно объединением усилий ведущих специалистов в области огнеупоров НТУ ХПИ, повышением

* Опубликовано в журнале «Новые огнеупоры» № 10 за 2012 г.

квалификации работников предприятий и заинтересованностью в разработке отечественных импортозамещающих огнеупоров можно решить проблему использования периклазоуглеродистых огнеупоров в металлургическом производстве. Для ознакомления с новыми разработками и привлечения внимания производителей — как огнеупорщиков, так и металлургов — изданы две монографии: «Углеродсодержащие модифицированные огнеупоры» и «Нанопропрочненные периклазоуглеродистые огнеупоры». Один из соавторов этих монографий — руководитель ВАТ «Укрспецогнеупоры», аспирант-заочник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ ХПИ В. В. Повшук.

Попытки создать научные центры с обновленным оборудованием делаются на физико-техническом факультете НТУУ КПИ. В 2012 г. на факультете были открыты лаборатория по исследованиям структуры композиционных материалов, затем учебно-научный центр рентгеноструктурного анализа. Оборудование предоставила университету японская корпорация «РИГАКУ» — лидер на мировом рынке рентгеновского оборудования для научных исследований — в честь 20-летия установления дипломатических отношений между Японией и Украиной. «Именно создание нового совместного учебно-научного центра станет серьезным вкладом в дальнейшее развитие научно-технического сотрудничества Японии и Украины», — отметил чрезвычайный и полномочный посол Японии в Украине Тоичи Саката. Работать этот центр будет на инженерно-физическом факультете КПИ, деканом которого является член-корреспондент НАНУ П. И. Лобода. Новое оборудование будет предназначено как для научных исследований, так и для проведения лабораторных работ со студентами девяти факультетов и институтов НТУУ КПИ. Предполагается, что результаты исследований станут основой для дальнейшего углубления сотрудничества КПИ не только с корпорацией «РИГАКУ», но и с другими университетами и промышленными предприятиями, участвующими в создании, внедрении в производство и использовании композиционных материалов с заданными свойствами. В перечне девяти факультетов есть и химико-технологический, но, к сожалению, в КПИ нет кафедры, подобной нашей, на которой занимались бы разработкой всех тугоплавких неметаллических материалов.

Возможность одновременно исследовать фазовый состав, проводить структурный анализ, анализы текстур, типа и количества дефектов в изделиях до, в процессе и после службы вызывает огромный интерес у материаловедов; такая возможность представляется при работе на оборудовании корпорации «РИГАКУ». Но сначала это оборудование надо заиметь, а потом получить к нему доступ. В комплексе с ИПМ НАНУ возможно исследование разработанных этими организациями композиционных материалов, но этот тандем не занимается

разработкой, исследованием и внедрением огнеупорных материалов для металлургии, т. е. проектами для огнеупорной промышленности. Надо вести переговоры по включению НТУ ХПИ в число пользователей уникального нового оборудования созданного учебно-научного центра. Но этого центра мало для создания новейших технологий современных композиционных материалов, необходимо еще оборудование для создания ультрадисперсных порошков, их компактирования и спекания.

Поскольку в настоящее время вузы не имеют возможности приобретать новейшее оборудование в нашей стране, а заводы не предлагают помощь в организации производственной и научно-исследовательской базы, в ближайшие годы создание научно-образовательного центра для внедрения разработанных технологий и привлечения студентов и аспирантов к реальной работе в проектах для огнеупорной промышленности нереально.

Существующий уже несколько десятков лет тандем ХПИ — УкрНИИО давал возможность знакомить студентов с оборудованием огнеупорных заводов, а аспирантам проводить исследования свойств огнеупорных и других материалов в физико-химических и теплотехнических лабораториях. Сейчас только здесь можно познакомить студентов с проведением исследований таких свойств, как огнеупорность, термостойкость, шлакоустойчивость, теплопроводность и некоторых других характеристик огнеупорных материалов. К сожалению, оборудование не обновляется, а только поддерживается в хорошем состоянии усилиями сотрудников комплексной физико-технической лаборатории под руководством к. т. н. А. В. Дуникова, выпускника и бывшего доцента нашей кафедры. Нет уже и Опытного завода ПАО «УкрНИИО им. А. С. Бережного».

Поэтому в Украине так же, как это делается в России, необходимо создавать центры коллективного пользования научным оборудованием (как это сделано в Белгороде) — тогда, может быть, будет осуществлен прорыв в привлечении студентов и аспирантов к разработке и внедрению технологий импортозамещающих материалов. Кафедра технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ ХПИ может предложить свое сотрудничество с вузами России, в том числе с МГИУ, в образовательной и научных областях и с промышленными предприятиями как России, так и Украины. Я не исключаю участие в этой работе УкрНИИО им. А. С. Бережного — единственного еще существующего на постсоветском пространстве отраслевого института. Важно, чтобы государство оказало этой организации помощь в приобретении нового оборудования для совместного использования как в сфере образования, так и для проведения физико-химических исследований огнеупоров и конструкционных материалов на современном уровне.

Огнеупорные предприятия Украины пока не предлагают создавать научно-образовательные

комплексы, но они заинтересованы в повышении квалификации как рабочих, так и инженерно-технических работников, в подготовке достойной смены и ориентации выпускников школ к поступлению в вузы на технологические специальности для дальнейшего трудоустройства их на огнеупорных предприятиях. Примером предприятия, выступающего с такой инициативой, является ПАО «Запорожжогнеупор», которое может быть инициатором создания учебно-научно-исследовательского комплекса с НТУ ХПИ. Это даст возможность решить, как считаем мы и руководство этого завода, многие проблемы по набору абитуриентов в вуз по специальности «Химия и технологии тугоплавких неметаллических материалов», обеспечению подготовки квалифицированных работников для огнеупорной промышленности.

На кафедре технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей НТУ ХПИ — одного из старейших вузов СНГ — работают высококвалифицированные сотрудники, владеющие новейшими методами создания современных керамических материалов, знающие основные тенденции и перспективы развития этих материалов, в том числе наноматериалов, покрытий, стекла, эмалей, вяжущих материалов, современных неформованных огнеупоров и т. д. Поэтому именно к нам обращаются за помощью работники огнеупорных и керамических предприятий. С предложением (просьбой) рассмотреть возможность повышения квалификации специалистов ПАО «АрселорМитталл Кривой Рог» на базе НТУ ХПИ выступило техническое управление этого предприятия, но организация курсов повышения квалификации по специальности 05130407 «Химия и технологии тугоплавких неметаллических материалов», думаю, займет не один год. Во всяком случае, этот вопрос надо согласовывать на всех ступенях контролирующих органов и департаментов, поскольку для преподавания на курсах необходимы финансирование и штатные единицы.

ПАО «Запорожжогнеупор» выступило также с инициативой сотрудничества с нашей кафедрой в области обучения и повышения квалификации специалистов этого предприятия, а также прохождения производственной практики студентами вузов по технологическим специальностям. При этом ПАО «Запорожжогнеупор» желает осуществить долгосрочный проект по агитации учащихся близлежащих к заводу школ к поступлению в вузы на технологические специальности (по производству огнеупоров), дальнейшему курированию абитуриентов в ходе получения высшего образования с последующим трудоустройством их на предприятии, а также обучение работников предприятия на основе заочной формы обучения. Этот вопрос также требует специального обсуждения.

Учитывая острую необходимость в специальном образовании работающих на этом заводе, дирекция ПАО «Запорожжогнеупор» предусматривает срочное повышение их квалификации на краткосрочных индивидуальных и групповых курсах, которые просит организовать кафедру НТУ ХПИ на территории завода. С учетом опыта проведения заказных семинаров в России и в Украине вышло учебное пособие на русском и украинском языках (с грифом МОНМС Украины) «Огнеупорные изделия для футеровки тепловых технологических агрегатов», в котором освещены не только свойства разных огнеупоров, но и условия их службы в различных агрегатах и требования к ним. Это пособие может быть успешно использовано обучающимися на курсах. Среди тем, которые предлагается изучать на курсах, — технология различных огнеупоров с описанием физико-химических процессов на всех этапах подготовки сырья, масс и изготовления безобжиговых, обожженных огнеупоров, огнеупорных бетонов и т. д. Среди разработанных учебных пособий есть также и другие, например «Неформованные огнеупоры», «Теплоизоляционные материалы» (также на русском и украинском языках), «Современные процессы в технологии керамики», «Модифицированные углеродсодержащие огнеупоры», «Нанопропрочненные периклазоуглеродистые огнеупоры» и т. д. Эти пособия также могут быть использованы при обучении работников предприятия и предоставлены в заводские библиотеки.

Вопросы, касающиеся свойств, условий службы и применения огнеупоров в различных тепловых агрегатах интересуют сотрудников Криворожского региона и других металлургических предприятий. Именно отсутствие целенаправленной подготовки инженерных кадров для предприятий, производящих огнеупоры и их использующих, создает проблемы в производстве конкурентоспособной огнеупорной продукции и рациональном ее использовании.

Разные государства СНГ по-разному будут решать вопросы подготовки квалифицированных кадров, их использования и переподготовки. Важно то, что и в России, и в Украине этот вопрос является актуальным. Вузы совместно с предприятиями должны создавать комплексы для разработки импортозамещающей огнеупорной продукции и исследования керамических и огнеупорных материалов только с привлечением передовых предприятий (производящих и потребляющих). Эти предприятия могут быть инициаторами перспективных совместных проектов и спонсорами приобретения современного оборудования для таких центров.

Получено 26.12.12
© Г. Д. Семченко, 2013 г.



А. Н. Травицкова, Л. В. Кононова

Ассоциация «СПб НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

УДК 666.76.001.8.06.53

III НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ»

В Санкт-Петербурге 8–9 ноября 2012 г. состоялась III научно-практическая конференция «Актуальные проблемы производства огнеупоров». Конференция была организована Ассоциацией производителей и потребителей огнеупоров «Санкт-Петербургский научно-технический центр» (СПб НТЦ) при поддержке кафедры химической технологии высокотемпературных материалов Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) (СПбГТИ (ТУ)). На конференции были рассмотрены тенденции развития огнеупорных технологий, а также вопросы, касающиеся технологического и лабораторного оборудования, стандартизации и оценки качества огнеупоров в современных условиях.

В работе конференции приняли участие производители и потребители огнеупоров, производители материалов, огнеупорного сырья, оборудования для контроля качества огнеупоров, представители транспортно-логистической инфраструктуры, юридической организации, а также научных организаций: ассоциации «СПб НТЦ», СПбГТИ (ТУ), Богдановичского ОАО «Огнеупоры», ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», ООО НПП «Вулкан-ТМ», ООО «Группа «Магнезит», ОАО «Комбинат «Магнезит», ООО «Кералит», ООО «Кернеос», ООО «НВФ «Керамбет-Огнеупор», ООО «Магнезит-торкрет-массы», ООО «МетОгнеупор», ОАО «Новомосковскогнеупор», ООО «НТЦ «Огнеупоры», ООО «ПКФ «Цемогнеупор», ОАО «Первоуральский динасовый завод», ЗАО «Росогнеупор», ООО «Северо-Запад Огнеупор», ОАО «Суходоложский огнеупорный завод», компании «Icon Steel LLC», адвокатского бюро «Егоров, Пугинский, Афанасьев и партнеры», ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева», ООО «Брукер», ООО «Нормдокс», ООО «Полипласт Новомосковск», АО «Порт Силламяэ», компании «Посель Эрцконтор ГмбХ». В работе конференции при-

няли участие также представители отечественного автомобилестроения и металлургии — ОАО «АвтоВАЗ» и ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», а также ОАО «Черметинформация», представители журнала «Стеклопакет».

С приветственной речью обратился к участникам конференции генеральный директор ассоциации «СПб НТЦ» к. т. н. **Б. П. Александров**. Он ознакомил присутствующих с тематикой мероприятия. Доклады были сгруппированы по нескольким тематическим разделам, в том числе: «Новые технологии — новые огнеупоры», «Лабораторное и технологическое оборудование», «Научные исследования и разработки», «Стандартизация и оценка качества огнеупоров».

В начале конференции выступил научный руководитель ООО «НВФ «Керамбет-Огнеупор» д. т. н. **Ю. Е. Пивинский** с презентацией своей книги «Реология дисперсных систем, ВКВС и керамобетоны. Элементы нанотехнологий в силикатном материаловедении». Эксперт практики международного торгового и таможенного права АБ «Егоров, Пугинский, Афанасьев и партнеры» **В. В. Таланов** осветил новые возможности российских





И. Д. Кашеев, И. И. Козелкова, А. Н. Травицкова



Б. П. Александров



В. В. Таланов

компаний в сфере торговой политики и технического регулирования в условиях ВТО. Начальник отдела НТИ ООО «Нормдокс» **Л. П. Подкорытова** в своем докладе рассмотрела аспекты взаимодействия и взаимовлияния стандартов и рынка. Текущему состоянию мировой огнеупорной промышленности и изменению мирового спроса на огнеупоры, а также состоянию огнеупорной промышленности Китая был посвящен доклад **И. Г. Очаговой** — главного специалиста ОАО «Черметинформация».

Для сохранения позиции на рынке огнеупорные предприятия уделяют большое внимание разработке новых технических решений и совершенствованию уже известных производственных процессов. Эти решения стали предметом большинства докладов и их последующего обсуждения. Тема «Новые технологии — новые огнеупоры» была отражена в докладах начальника ЦЗЛ Богдановичского ОАО «Огнеупоры» **Н. А. Вяткиной** («Расширение ассортимента продукции, выпускаемой Богдановичским ОАО «Огнеупоры»), а также заместителя начальника технического отдела ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» к. т. н. **В. В. Скурихина** («От идеи до результата: высокоэффективные огнеупоры на основе андалузита»). В докладе от ОАО БКО описаны новые высокоглиноземистые андалузитовые изделия для тепловых агрегатов черной и цветной металлургии. Показатели этих изделий, такие как сопротивление ползучести, деформация под нагрузкой, термостойкость, в сочетании с малым необратимым расширением, низкой пористостью и низкой теплопроводностью при высоких температурах, гарантируют успешную службу в агрегатах черной и цветной метал-

лургии в непосредственном контакте с расплавленными чугуном и сталью.

Начальник службы качества ОАО «Сухоложский огнеупорный завод» **М. М. Абрамова** выступила с докладом «Освоение новых видов продукции в ОАО «Сухоложский огнеупорный завод», методы их испытаний с применением зарубежных стандартов», акцентируя внимание на том, что завод осваивает технологии производства изделий пластического формования по ASTM C 155 и сухих теплоизоляционных смесей по ASTM C 401, а также керамобетонных изделий и шлифованных плит на основе волокна Cerablanket. В докладе главного технолога ООО «Кералит» **И. В. Галенко** «Огнеупорные материалы компании «Кералит» были приведены объемы производимой продукции (по видам), а также примеры оснащения лаборатории современным оборудованием.

В разделе «Научные исследования и разработки» был представлен доклад д. т. н. **И. Д. Кашеева** «Исследование ПАВ в технологии огнеупоров». В докладе доцента СПбГТИ (ТУ) к. т. н. **А. П. Шевчика** «Термические напряжения: моделирование, расчет, анализ» были описаны разработанные алгоритмы комплексных компьютерных расчетов, позволяющих прогнозировать службу огнеупоров и реализующих термодинамические расчеты, расчеты карт температурных полей и напряжений, а также геометрическое моделирование. Доклад **И. Г. Очаговой** «Исследования огнеупоров, удовлетворяющих требованиям сталеплавильного производства» был посвящен основным тенденциям в исследованиях и разработках огнеупоров для сталепла-



И. Д. Кашеев, Н. Н. Вяткина



З. Г. Пономаренко, Ю. Е. Пивинский

вильного производства, опубликованных в ведущих зарубежных отраслевых журналах.

Заместитель заведующего кафедрой ХТТТК СПбГТИ (ТУ) к. т. н. **С. В. Вихман** в докладе «Акустические исследования структурообразования в кварцевом керамобетоне» описал достоинства методов акустического контроля, привел примеры действующего оборудования и результаты проведенных измерений.

Лабораторное и техническое оборудование — тема, не теряющая актуальности и непрерывно обновляющаяся; новое оборудование для лабораторных исследований было представлено в докладе менеджера ООО «Брукер» **О. И. Иванова** «Современное рентгеновское аналитическое оборудование Bruker AXS». Об эксплуатации и модернизации оборудования в заводских условиях рассказали начальник ЦЗЛ ОАО «Комбинат «Магнезит» **А. В. Савченко** в докладе «Система сортировки сырого магнезита на дробильно-обоганительной фабрике ОАО «Комбинат «Магнезит» и директор по странам СНГ компании «Icon Steel LLC» **А. М. Барышников** в докладе «Управление качеством продукции на конвейере в режиме реального времени с использованием лазерного анализатора химического состава MAYA».

Вопросы стандартизации и оценки качества огнеупоров были рассмотрены в докладе руководителя лаборатории «ВНИИМ им. Менделеева» к. т. н. **Г. Р. Нежиховского** «Аккредитация лабораторий: время перемен». Доклад был посвящен основным проблемам реформирования в сфере аккредитации лабораторий после вступления в силу постановления правительства РФ № 602 от 19 июля 2012 г. «Об аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, аттестации экспертов по аккредитации, а также привлечению и отбору экспертов по аккредитации и технических экспертов для выполнения работ в области аккредитации».

С докладом «Об изменениях в качестве выпускаемой ОАО «Динур» продукции» выступила заместитель генерального директора по качеству ОАО «Первоуральский динасовый завод» **З. Г. Пономаренко** (доклад был представлен в виде оригинальной экскурсии по заводу). Начальник ЦЗЛ ОАО «Комбинат «Магнезит» **А. В. Савченко** представил доклад «Разработка национального стандарта ГОСТ Р (ИСО 12677:2011) «Огнеупоры. Химический анализ рентгенофлуоресцентным методом».

Начальник отдела информации ассоциации «СПб НТЦ» **А. Н. Травицкова** в докладе «Приоритетные направления деятельности ассоциации «СПб НТЦ» рассмотрела основные виды деятельности ассоциации, а начальник отдела стандартизации ассоциации «СПб НТЦ», ответственный секретарь ТК 009 «Огнеупоры» **И. И. Козелкова** в докладе «Изменения тенденций развития стандартизации в Российской Федерации» подняла вопросы перспектив стандартизации и возможных путей ее развития.

Заместитель начальника отдела стандартизации ассоциации «СПб НТЦ» **И. Н. Ефимова** в докладе «Срав-



Л. В. Кононова, Е. Н. Ефимова



А. М. Барышников, П. В. Дякин



В. В. Скурихин, Е. В. Тимошенко, И. В. Галенко

нение отечественных и зарубежных стандартов на методы испытаний огнеупоров, которые применяются для приемосдаточных испытаний» отметила необходимость максимально возможной гармонизации национальных/межгосударственных стандартов на методы испытаний и контроля с международными стандартами. Это позволит обеспечить сопоставимость результатов испытаний.

Участникам конференции была предоставлена возможность задать вопросы докладчикам, высказать свое мнение по темам докладов, завязать необходимые контакты и обменяться информацией. ■

Получено 29.01.13
© А. Н. Травицкова,
Л. В. Кононова, 2013 г.

Памяти выдающегося ученого (ГРИГОРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ САМСОНОВ)

Член-корреспондент ИПМ АН УССР (ныне ИПМ им. И. Н. Францевича НАНУ, г. Киев, Украина) Григорий Валентинович САМСОНОВ (1918–1975 гг.) был выдающимся ученым в одной из самых сложных, мало исследованных и даже загадочных областей материаловедения — тугоплавких соединений и материалов на их основе. Эту область называют также металлокерамикой. Следует отметить, что более половины всех тугоплавких соединений — боридов, карбидов, нитридов и силицидов переходных и редкоземельных металлов — имеют область гомогенности, которая во многих случаях еще недостаточно изучена и установлена. В пределах этой области некоторые свойства (например, удельное электросопротивление, микротвердость и др.) могут изменяться более чем в 2 раза (например, у TiC, в углеродной подрешетке которого может содержаться 48–98 % C). Это подтверждает важность и необходимость дальнейшего исследования таких соединений. Космическое материаловедение, металлургия, энергетика, приборостроение, электроника, военное дело, медицина — это далеко не полный перечень областей успешного применения тугоплавких соединений. Это и понятно, так как такие соединения и материалы на их основе обладают большей огнеупорностью, жаропрочностью, термостойкостью, устойчивостью к высокотемпературной коррозии, чем обычные огнеупоры (на базе Al_2O_3 и других оксидов), стали и металлические сплавы.

В 2012 г. ИПМ им. И. Н. Францевича НАНУ выпустил сборник воспоминаний о Г. В. Самсонове («Г. В. Самсонов — ученый, учитель, друг», Наукова думка, 2012, 192 с.), приуроченный к периодической проводимой конференции (май 2012 г.) о тугоплавких соединениях, посвященной памяти Г. В. Самсонова. Это нужное и благородное дело нашло большой отклик среди ученых бывших СССР и УССР. Разумеется, в этом сборнике напечатана лишь малая часть из числа тех из них, кто хо-



тел бы и мог написать свои воспоминания об этом уникальном человеке.

Г. В. Самсонов — в первую очередь выдающийся ученый, создавший теорию устойчивых электронных конфигураций, разработавший технологии различных классов тугоплавких соединений, композиционных материалов на их основе и даже новых соединений, инициатор изучения различных технологических и физико-химических процессов, связанных с тугоплавкими соединениями. В то же время Г. В. Самсонов — выдающийся организатор науки, создавший широкое направление в отечественном (СССР, УССР) материаловедении, связанное с использованием экстремальных тугоплавких, огнеупорных, жаростойких, прочностных, электрофизических свойств и характеристик тугоплавких соединений. Страстная увлеченность наукой Г. В. Самсонова и особое человеческое обаяние служили основными факторами, побуждающими зрелых специалистов и молодых исследователей с такой же увлеченностью и страстью заниматься проблемами тугоплавких соединений. Все, кто общался с Г. В. Самсоновым по научным проблемам, отмечают то неповторимое и особое вдохновение, которое они испытывали после встречи с этим человеком.

Г. В. Самсонов создал новые направления исследований: по-

крытия и пленки из тугоплавких соединений на металлах, поведение тугоплавких соединений в области гомогенности, технология различных классов тугоплавких соединений (методы порошковой металлургии), их практическое использование в различных областях техники. Его ученики и последователи успешно развили его идеи и не менее успешно продолжают это делать в настоящее время. Следует отметить, что его учениками и последователями могли бы назвать себя многие сотни ученых, но мы отметим лишь тех, кто с ним начинал и внес наибольший вклад в развитие и организацию науки о тугоплавких соединениях: В. С. Нешпор, Т. Я. Косолапова, П. С. Кислый, В. С. Полищук, М. С. Ковальченко, Ю. Б. Падерно, В. Б. Падерно, Б. М. Рудь, Ю. М. Горячев, И. Ф. Прядко, Л. Ф. Прядко, В. А. Неронов, А. Д. Верхотуров, Т. Н. Миллер, Т. Н. Макаренко, Л. А. Дворина, И. И. Тимофеева, И. А. Подчерняева, А. Д. Панасюк, В. С. Синельникова и многие-многие другие (да простят нас милостиво все остальные, кто себя к таковым причисляет и которых мы не упомянули).

Интересно отметить, что примерно в половине опубликованных воспоминаний содержится чисто научная информация о тугоплавких соединениях, которая относится к уже осуществленным научным идеям. В то же время эти идеи могут быть использованы и сейчас для дальнейших исследований — столь богат и разнообразен мир свойств и характеристик тугоплавких соединений.

Вышедшая книга воспоминаний о Г. В. Самсонове является замечательной, благодарной памятью о выдающемся ученом, неповторимом организаторе науки, увлеченном вдохновителе всего нового в исследовании тугоплавких соединений, прекрасном и доброжелательном человеке, так рано покинувшем наше научное сообщество. ■

Получено 06.01.13
© Д. х. н., проф. **В. Н. Гурин**
(Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе РАН), 2013 г.

ABSTRACTS

UDC 666.76.002.2.001.12/.18

The development of the refractory industry as the response to the consumer needs

Aksel'rod L. M. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 107–122.

The development trends for the refractory consumer's user industry over the last years are analyzed in the article. The new dispositions in the refractory output mix, as well as in the mechanism of their application, in the production and sale management, the shift in the production mix including, the variation of the feed quality, and the new tendencies in economic evaluation of the refractory application are regarded. Ill. 8. Ref. 41.

Key words: refractory materials, metallurgy, raw materials, vertically integrated company, synergy effect, pure steel, tendencies.

UDC 666.364:621.746.329

The flux using in 130-t steel-teeming ladles

Volkov K. V., Kuznetsov E. P., Anashkin N. S., Dolgikh O. V., Smirnov S. N. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 123–127.

The experience in application of burned magnesite-lime flux (MLF) in the 130-t steel-teeming ladles is regarded in the article. The details of lining wear, the slag's and skull's properties after the flux injection are investigated. Ref. 4. Tab. 5.

Key words: refractories, steel-teeming ladle, burned magnesite-lime flux (MLF), magnesite slag, skull, solid fluxing material (SFM).

UDC 666.762.32:66.041.498.043.1

The influence of the periclase-carbon refractories' quality on the converter's linings resistivity

Visloguzova E. A., Kashcheev I. D., Zemlyanoi K. G. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 129–133.

The results of comparative analysis for declared physical, chemical and ceramic properties for periclase-carbon refractory products of various manufacturing companies are given in the article. The additional investigations were carried on to define the properties of burden's constituents used for refractory production (the purity and size of the periclase and graphite grains, the strength both before and after the coking firing and other parameters). The analysis of the wall and bottom losses at the comparative operational conditions is also presented. Ill. 1. Ref. 7. Tab. 2.

Key words: converter, lining, periclase-carbon refractories, oxidation inhibitors, differentiation of the lining.

UDC 666.762.1+666.762.81]:621.746.328.3.047

Unburned technique of shamoto-graphite stopper plugs manufacturing for continuous steel casting

Vasin K. A., Murzakova A. R., Shayakhmetov U. Sh. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 136–138.

The unburned technique for manufacturing of shamoto-graphite plugs for continuous steel casting on base of inorganic binder is presented in the article. Ill. 4. Ref. 3.

Key words: unburned technique, inorganic binder, shamoto-graphite stopper plugs (SHGSP), continuous steel casting, ceramic composite materials.

UDC 621.674:666.123.22

Application problems of the air-screw type pumps for the loose cargos transportation

Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Simisinov D. I., Kozhushko G. G., Panov D. A. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 139–144.

The operation of the air-screw type pumps at the Bereznykovsk' alkali works is analyzed in the article, the pumps being intended for both the light soda ash transportation along the predicted trajectory and jet element to increase the pump's performance reliability application. The suggestions were made for increasing of air-screw type pump's capacity and performance reliability. The evaluation was carried out for substitution of air-screw type pumps for the room pumps at the long tracks. Ill. 7. Ref. 14. Tab. 1.

Key words: air-screw type pump (ASP), capacity, light soda ash, transportation pipe line, compressed air, nozzles, upgrading.

UDC 666.762.1:66.063.62

The process for making sintered aluminum-silicate ceramics on base of highly concentrated ceramic bonding suspensions and some of its features. Part II

Pivinskii Yu. E., Dyakin P. V., Gorbachev D. V., Strel'tsov S. A. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 145–154.

The sintering process and some properties of the thin alumina ceramics manufactured out of electrical porcelain ceramics' and perlite's scrap on base of HCBS are investigated in the article. After burning at 1000–1150 °C the ceramics has opened porosity 1–8 %, ultimate bending strength 45–65 MPa and ultimate compressive strength 350–500 MPa. Comparing to the conventional fine ceramics materials such as porcelain, semiporcelain, hard earthenware, majolica, the comparable properties are obtained at the essentially less (3–5 times as little) general shrinkage and at the reduced (by 150–200 °C) burning temperature. The possible directions of the HCBS-technologies' embodiment are denoted in the manufacturing fields not only for the conventional ceramics, but also for both fine-grains building ceramics and architectural pottery. Ill. 10. Ref. 9. Tab. 1.

Key words: HCBS, casting, sintering, porosity, shrinkage, temperature expansion, fine ceramics, architectural-art pottery.

UDC 666.762.1-494:621.365.5

Refractory wares for metal billet heating induction furnace

Sizov V. I. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 155–156.

The results on the technology improvement for manufacturing of refractory wares out of fiber composite materials for metal billets heating induction furnaces are given in the article, the improvement being based on application of HCBS in the composition of the wares. The new brand wares have advanced operational characteristics compar-

ing with these of the conventional used wares AKBf. Ref. 5. Tab. 1.

Key words: metal billets heating induction furnaces, fiber composite materials (FCM), AKBf wares, HCBS (highly concentrated ceramic bonding suspension).

UDC 666.762.7:666.1.031

The investigation of heat stability of the ceramic wares for glass melting

Turdiv D. Sh. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 157–159.

The investigating results are given for the phase composition of the complex ceramics on base of both aluminum titanate and the additions which have been synthesized by fusing in the solar furnace. The improvement of the mechanical properties of the ceramics on base of aluminum titanate achieved at the expense of the initial grains' growth kinetic decreasing. The positive influence of the additions of mullite, spinel, and $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2$ eutectic on the mechanical properties of the ceramics was established. The stability of the ceramic guard rings on base of aluminum titanate in the glass-melting process was studied. Ill. 3. Ref. 13. Tab. 3.

Key words: heat stability, ceramics on base of aluminum titanate, solar furnace, glass-melting.

UDC 666.76.2. 462.046.512:666.762.11+666.762.5].002.68

Production of fused-cast chrome-spinel refractories with the using of bacor scrap

Sokolov V. A., Gasparyan M. D., Kirov S. S. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 160–164.

The investigating results of fused-cast chrome-spinel refractories' manufacturing with the using in the batch the baddeleyite-corundum refractories wastes after their service in the glass-melting furnace. It is shown that fused-cast chrome-spinel refractories containing 31,2 and 50,4 % of Cr_2O_3 which were obtained with the using of the bacor refractories' scrap in the batch have the elevated corrosion resistance against the silicate wool solution comparing to the fused-cast both baddeleyite-corundum and chrome-alumina-zirconium refractories of the engineering grade ER 1711, HAZ-30 and HZ-45. Ill. 5. Ref. 4. Tab. 3.

Key words: fused-cast refractories, chrome-spinel, chrome-corundum, baddeleyite, bacor scrap, corrosion resistance, glass-melting furnace.

UDC 666.76+669.092.68:574

The analysis of ecology, state and perspectives of the refractory materials and their wastes application

Pyrikov A. N., Vil'danov S. E., Likhodievskii A. V., Chernousov P. I. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 165–168.

The new brand refractory masses and the other refractory materials which find their application in the industry are regarded in the article. The data are given about using the refractory scrap as the recyclable materials for refractories production and for high-alumina mortars, the heat-resisting concretes' production for the lining of the heat-exchanging zones of the cement kilns, the blast cupolas for building brick's burning, as well as the masses for alumina electrolysis cell's lining and for monolithic steel-teeming lining. Ref. 14.

Key words: ecology, wastes, refractories, recycling, scrap, slams, lining.

UDC 666.76:608.3

Review of Advances in Refractories

Ochagova I. G. // *New Refractories*. — 2013. — No. 3. — P. 169–176.

This paper provides a snapshot of past advances in refractories, such as $\text{MgO--Cr}_2\text{O}_3$, MgO--C , silica fume in alumina brick, raw materials improvements, unshaped (castable) refractories, and more. Recent advances related to refractories are mentioned, including attrition milling of kyanite, nano-bonded MgO--C , development of TiB_2 cermet and a ceramic foam filter material, and recent U. S. patents. Selected topics that could have merits for future R&D are discussed, including aggregate development, particle sizing, aggregate-to-matrix interface, novel microstructures, recycling of used refractories, novel raw materials, bendable concrete, etc. Ill. 4. Ref. 26. Tab. 1.

Key words: advances in refractories, direct-bonded magnesia chrome, MgO--carbon refractories, unshaped refractories, refractory consumption, ceramic foam, aluminum titanate, spinel, patent literature.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

8th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites

September 22-26, 2013

Xi'an, Shaanxi, China



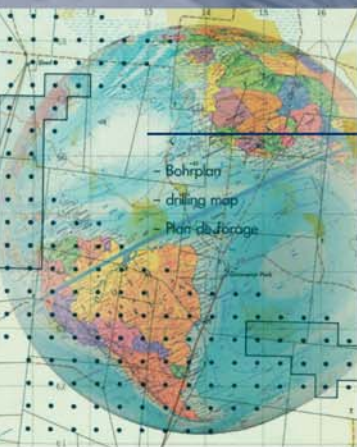
discovery

direction

focus

vision

www.laudi-online.de



Possehl Erzkontor – Ваш надежный партнер профессионального снабжения промышленными минералами, различными видами сырья, химикалиями...

Мы надежно и своевременно поставляем Вам минералы, руды, металлы, пластмассовое сырье и химикалии – в любое время и на наилучших условиях. Сфера нашей деятельности охватывает практически все регионы мира.

Для наших клиентов:

- Сорсинг
- Обзор рынка
- Обработка
- Гарантии качества
- Маркетинг / Торговля
- Логистика/ Дистрибуция
- Джойнт венчур (совместное предприятие)

Наше
представительство в России

Поссель Эрцконтор Екатеринбург
ул. Генеральская, д. 3
Екатеринбург, Россия, 620062

Телефон: +7 343 3757455
Факс: +7 343 3757455
E-mail: info@erzkontor.ru

Торговля, производство, услуги у нас лучшие решения для Вашего бизнеса
Будем рады сотрудничеству с Вами.



Possehl Erzkontor GmbH

23505 Lübeck, Germany · P.O. Box 16 33

Phone: +49 · (0) 451 · 1 48-0 · Fax: +49 · (0) 451 · 1 48-3 55
info@erzkontor.com · www.erzkontor.com



РЕКЛАМА



МЕТАЛЛ ПРОЕКТ

огнеупорный максимум



КВАЛИФИЦИРОВАННАЯ ОГНЕУПОРНАЯ ПОМОЩЬ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРЕДПРИЯТИЯМ



ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И РЕШЕНИЯ: ПРЯМЫЕ ПОСТАВКИ,
КОНТРОЛИРУЕМОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ГАРАНТИРОВАННОЕ КАЧЕСТВО



ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ С НАИЛУЧШИМ СООТНОШЕНИЕМ
ЦЕНА-КАЧЕСТВО НА ЗАВОДАХ В КИТАЕ





ОГНЕУПОРНЫЕ
материалы и решения



Тел.: +7 495 232 0328

METALPROJECT.SU

E-mail: info@metalproject.su



кералит

УКРОЩЕНИЕ ОГНЯ

Офис: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 36, стр. 1, 8 этаж
тел./факс: +7 (495) 789 6532
info@keralit.com, commerce@keralit.com, technic@keralit.com
www.keralit.com

Завод: 143300, Московская обл., Наро-Фоминский р-н,
пос. Новая Ольховка, ул. Промышленная, д. 2
тел./факс: +7 (49634) 304 03

Представительства:

Уральский регион
тел./факс: +7 (351) 790 0414, ural@keralit.com

Северо-Западный регион
тел./факс: +7 (921) 409 1276, spb@keralit.com

Украина
тел./факс: +38 (062) 385 8314, ukraine@keralit.com