



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



РЕГИОНАЛЬНАЯ
ТОРГОВО-
ПРОМЫШЛЕННАЯ
КОМПАНИЯ



Baramist[®]
management

Комплексные решения по разработке, производству, поставкам и шеф-монтажу огнеупоров и высокотемпературной теплоизоляции



**для металлургии, энергетики,
нефтехимии и машиностроения**

Россия, 620026, г. Екатеринбург, ул. Белинского, д. 83, этаж 18
Тел. +7 (343) 278-27-88, www.baramist.ru, www.rtpk.ru

11

НОЯБРЬ 2013



COMPANY

Один из лидеров в области торговли минералами в России и СНГ.

Индустриальные минералы всех видов от одного поставщика!
Поставки из Китая, ЮАР, Турции, Бразилии, Канады и т.д.

Огнеупорные минералы: хромитовый песок, магнезит, периклаз, графит, боксит, муллит, корунд, карбид кремния и др.

Литейные минералы: шпат, хромитовый песок, оливин и др.

Поставки в любую точку России и СНГ,
удобные условия работы.



Standort Deutschland:

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

info@ek-company.com
www.ek-company.com



Офисы в России:

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

info@ek-company.com
www.ek-company.com

РЕКЛАМА

2014



ПОЛУЧИТЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ИНФОРМАЦИЮ!

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

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

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

**Подписку можно также оформить
через агентства:**

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



кералит

УКРОЩЕНИЕ ОГНЯ

Офис: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 36, стр. 1, 8 этаж
тел./факс: +7 (495) 789-65-32
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 (496) 344-59-44

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

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.**

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

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

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ
по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55550 от 07.10.2013 г.

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



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

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

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

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

Подписано в печать 30.10.13. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная
Цифровая печать. Усл. печ. л. 9,00
Уч.-изд. л. 8,82. Заказ 18099

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Можжерин А. В., Маргишвили А. П., Мусевич В. А., Филин Г. В., Дука А. П. Перспективы поставок огнеупорных материалов ОАО БКО в ОАО НЛМК, совершенствование продукции и повышение эффективности металлургических процессов 6

Вдовин К. Н., Марочкин О. А., Точилкин В. В. Создание имитатора рабочей среды для повышения износостойкости огнеупоров при разливке стали на сортовых МНЛЗ 10

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Соколов В. А. Состояние производства и сырьевой базы цирконистых огнеупоров в России 14

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Кононов В. А., Василенко В. П., Алпатов А. А. Разработка шибберных систем для разливки мелких слитков и фасонного литья 18

Красовицкий Ю. В., Архангельская Е. В. Рациональное устройство технологических и аспирационных пылегазовых трактов в производстве огнеупоров 25

* * *

Поздравляем юбиляра

К 70-летию **Евгения Ивановича Суздальцева** 30

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Чевыкалова Л. А., Келина И. Ю., Михальчик И. Л., Аракчеев А. В., Плясункова Л. А., Касимовский А. А., Матюшин К. С. Получение ультравысокотемпературного керамического материала на основе диборида циркония методом SPS 31

Словиковский В. В., Гуляева А. В. Футеровка горизонтальных медно-никелевых конвертеров повышенной стойкости 39

Цао Сяо Го, Ван Цзя, Ву Ци Бай, Чжан Хай Янь, Донг Цзянь. Влияние поверхностно-активных веществ на изготовление нанопорошка для алюмоиттриевой керамики с добавкой Yb, прозрачной для исследования с помощью лазера 43

Шарапова В. В. Современные тенденции использования муллитокремнеземистых огнеупоров при производстве конструкционных материалов 47

Абдрахимова Е. С. Влияние пирофиллита на структурно-реологические и усадочные свойства керамических масс для кислотоупоров 53

Непомнящий В. В., Волощенко С. М., Мосина Т. В., Гогаев К. А., Аскеров М. Г., Миропольский А. М. Финишная обработка металлической поверхности магнитно-абразивными порошками на основе железа с керамическими тугоплавкими соединениями (механические смеси) 57

ЭКОНОМИКА И РЫНОК

Статистика

Производство отдельных видов продукции черной металлургии в России в апреле 2013 г. 61
 Производство отдельных видов прочих неметаллических минеральных продуктов в России в апреле 2013 г. 61
 Мировое производство чугуна в апреле 2013 г. 62
 Мировая выплавка стали в апреле 2013 г. 63
 Статистика по производству и потреблению огнеупоров в черной металлургии Японии в 2011–2012 гг. 65
 Цены на некоторые виды огнеупорного сырья. 66

ИЗОБРЕТЕНИЯ

Обзор патентов РФ на изобретения по огнеупорам 67

РЕЦЕНЗИИ

Пивинский Ю. Е., Орданьян С. С. О двухтомном издании Г. Г. Гнесина «Энциклопедический словарь по материаловедению» 69

Abstracts 71

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Mozhzhherin A. V., Margishvili A. P., Musevich V. A., Philin G. V., Duka A. P. The economical aspects of JSC BKO's refractory materials supply to JSC NLMK, the improvement of production and the metallurgical process' efficiency raising 6

Vdovin K. N., Marochkin O. A., Tochilkin V. V. Operating environment simulator to increase the refractory wear resistance during tapping by billet continuous casting machines 10

RAW MATERIALS

Sokolov V. A. The state of production and raw material supply base of zirconium refractories in Russia 14

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Kononov V. A., Vasilenko V. P., Alpatov A. A. The development of slide gate systems for the steel teeming into small ingots and shaped castings 18

Krasovitskii Yu. V., Arkhangel'skaya E. V. Well-targeted construction for technological and aspiration dust-gas ducts in the refractories production 25

* * *

Congratulations

The 70th birthday of **Evgenii Ivanovich Suzdal'tsev** 30

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Chevykalova L. A., Kelina I. Yu., Mikhail'chik I. L., Arakcheev A. V., Plyasunkova L. A., Kasimovskii A. A., Matyushin K. S. Investigation on spark plasma sintering (SPS) method for the formation of ultra-high-temperature ceramic material on base of zirconium diboride 31

Slovikovskii V. V., Gulyaeva A. V. The lining for the increased-resistant horizontal cooper-nickel converter 39

Xiao Guo Cao, Jia Wang, Qi Bai Wu, Hai Yan Zhang, Jian Dong. Effect of Surfactant on the Preparation of Nano-powder for Yb Doping Laser Transparent YAG Ceramic 43

Sharapova V. V. Contemporary trends in application of mullite-silica refractories for engineering materials production 47

Abdrakhimova E. S. The influence of pyrophyllite on the structure-rheological and shrinkage properties of the ceramic mixtures for the acid-resistant products 53

Nepomnyashchii V. V., Voloshchenko S. M., Mosina T. V., Gogaev K. A., Askerov M. G., Miropol'skii A. M. Finishing treatment of metal surface by means of magnetic abrasive powders based on iron with ceramic high-melting compounds (mechanical mixtures). . . 57

ECONOMICS AND MARKET

Statistics

The manufacturing of specific groups of ferrous metallurgy products in Russia in April 2013 61
 The manufacturing of specific groups of other nonmetallic mineral product in Russia in April 2013 61
 World production of iron in April 2013 62
 World production of steel in April 2013 63
 Production and consumption statistics for refractories in Japan ferrous metallurgy 65
 Price-list for variety of refractory raw materials 66

INVENTIONS

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

REVIEWS

Pivinskii Yu. E., Ordanyan S. S. About the two-volume edition by G. G. Gnesin «Encyclopedic dictionary on materials science» . . . 69

Abstracts 71

ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ

- ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
- ФОРМОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ И НЕФОРМОВАННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ:
СЫРЬЕ, ПРОИЗВОДСТВО, СЛУЖБА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР — КОМПАНИЯ «АПМАТИС»

ПАРТНЕРЫ:

«ЕВРАЗХОЛДИНГ»

ОАО «МЕЧЕЛ»

ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ»

ОАО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ»

ОАО «ПЕРВОУРАЛЬСКИЙ ДИНАСОВЫЙ ЗАВОД»

ООО «КЕРАПИТ»

«КОФЕРМИН РОШТОФФЕ ГмбХ»

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

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

ПО ВСЕМ ВОПРОСАМ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:
ООО «ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ»
127006, МОСКВА, СТАРОПИМЕНОВСКИЙ ПЕР., 8,
СТР. 1-10
ТЕЛ.: (495) 699-97-85, 755-90-91
ФАКС: (495) 755-90-40
E-MAIL: OGNEUPOR@IMET.RU, INFO@IMET.RU

**3-4 АПРЕЛЯ
2014 года**



ОГНЕУПОРЫ «PUYANG»

- Формованные огнеупорные материалы
- Неформованные огнеупорные материалы
- Специальные огнеупорные изделия
- Минеральное сырье

КАЧЕСТВО

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

НАДЕЖНОСТЬ

Более 20 лет успешной работы позволило Компании «PUYANG REFRACTORIES GROUP CO., LTD» стать одним из лидеров по производству и поставке огнеупорных материалов по всему миру.

Продукция Компании поставляется в Россию, Украину, Америку, Канаду, Юго-Восточную Азию, Южную Корею, Индию, Египет, Турцию, ЮАР и в другие страны мира.

ИННОВАЦИИ

Специалисты научно-исследовательского института Компании, используя самые передовые технологии и оборудование, проводят исследования и ведут разработки новой огнеупорной продукции, удовлетворяя запросы клиентов более чем в 11 странах мира.

• Металл Экспо 2013 • стенд 75 П. 1 зал 1С61 •

КИТАЙ

«Puyang Refractories Group Co., Ltd»

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

Телефон: +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» (Китай)

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

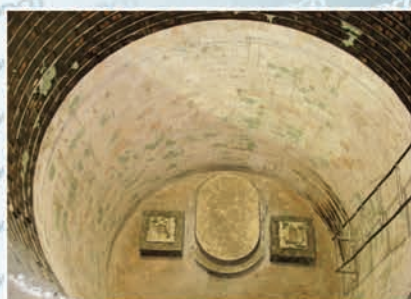
Тел/факс: 8 (3519) 21-55-22, 8-3519-068-116,

8-919-120-20-70

E-mail: prco-mgn@yandex.ru, 24081955@bk.ru

aisenkin@yandex.ru

www.puyang.ru



ШИБЕРНЫЕ ЗАТВОРЫ

- Шиберные затворы для стальной серии LSG-A, LSG-B
- Шиберные затворы для промковшей серии LSZ-H
- Затворы быстрой замены калиброванных стаканов для промковша серии LSZ-FK
- Затвор быстрой замены погружных стаканов для промковша серии LSZ-BK

Полная сертификация по требованиям стандарта ISO 9001-2000

БЕЗУГЛЕРОДИСТАЯ ФУТЕРОВКА ДЛЯ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Корундошпинельные безуглеродистые кирпичи для рабочей стены и дна сталеразливочных ковшей. Метод производства – вибролитье. Термически обработаны.

Преимущества:

- Отсутствие углерода
- Высокая стойкость
- Хорошая антишлакопроницаемость
- Сокращение энергозатрат
- Экологичность

СУХАЯ ТОРКРЕТ-МАССА ПРОМКОВША

Преимущества:

- Сокращение энергозатрат
- Срок службы от 8 до 20 ч
- Исключено попадание углерода в металл
- Длительная выдержка до работы
- Без использования торкрет-установки

• **Металл Экспо 2013** • **стенд 75 П. 1 зал 1С61** •



ПРЕДСТАВИТЕЛИ В РОССИИ:

г. Череповец

тел. 8-911-531-47-07,
E-mail: ankuznetcov@mail.ru,
popovev2009@mail.ru

г. Воронеж

тел. 8-910-340-11-82, 8-920-410-17-10,
E-mail: rvv-950@mail.ru,
malogn@yandex.ru

г. Челябинск

тел. 8-951-459-46-35,
E-mail: medvedevan@hotmail.com

г. Липецк

тел. 8-952-597-89-95,
E-mail: yuri_krasnikov@mail.ru
anvg40@mail.ru

г. Ростов-на-Дону

тел. 8-909-441-87-79,
факс 8 (8632) 83-21-65,
E-mail: prco-rnd@mail.ru prco-nvrs@mail.ru

г. Новотроицк

тел. 8-919-853-09-77,
E-mail: tes007@list.ru



К. Т. Н. А. В. Можжерин, К. Т. Н. А. П. Маргишвили, К. Т. Н. В. А. Мусевич,
Г. В. Филин, К. Т. Н. А. П. Дука

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

УДК 666.76.002.2

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСТАВОК ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ОАО БКО В ОАО НЛМК, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Проанализированы результаты и перспективы сотрудничества ОАО БКО и ОАО НЛМК в области производства, поставок и эксплуатации огнеупорных материалов для всех переделов металлургического производства. Указаны основные тенденции развития, направленные на совершенствование технологии и оптимизации параметров физико-химических характеристик огнеупоров. Проведенный комплекс мероприятий позволил повысить эффективность процессов производства чугуна и выплавки стали в условиях ОАО НЛМК, добиться снижения удельных показателей при получении единицы готового продукта.

Ключевые слова: огнеупоры, сотрудничество ОАО БКО и ОАО НЛМК, Центр совершенствования технологий и производства (ЦСТиП), футеровка, агрегат печь-ковш (АПК), сталеразливочный ковш, промежуточный ковш, конвертер, поставка огнеупорной продукции.

Боровичский комбинат огнеупоров (ОАО БКО) и Новоліпецкий металлургический комбинат (ОАО НЛМК) имеют многолетние партнерские взаимовыгодные отношения. ОАО БКО производит и поставляет в ОАО НЛМК широкий спектр высококачественных огнеупоров, в том числе ковшевых, коксовых, чугуновозных, доменных изделий, изделий для разлива стали (МНЛЗ), оксидоуглеродистых огнеупоров, рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей и конвертеров, огнеупорных смесей и масс различного назначения, изделий из тиксотропных бетонов. Тесное сотрудничество обоих предприятий, накопленный опыт, производственные и научные ресурсы ОАО БКО позволяют увидеть пути повышения эффективности поставляемых огнеупоров. Стратегическая цель этого сотрудничества — не только сохранить взаимовыгодные отношения в области поставок огнеупорных материалов, но и расширить ассортимент, номенклатуру, качество и объем поставок серийной и перспективной огнеупорной продукции.

В связи с интенсификацией технологий коксохимического, доменного, сталеплавленного и сталеразливочного производства технические специалисты ОАО НЛМК предъявляют все более высокие требования к огнеупорным материалам, используемым в футеровке металлургических агрегатов. Специалисты ОАО БКО постоянно совершенствуют выпускаемую огнеупорную продукцию, используя послед-

ние достижения науки и техники. В научной базе ОАО БКО — в Центре совершенствования технологий и производства (ЦСТиП) с применением передового оборудования исследуются показатели физико-химических и технических свойств огнеупоров, разрабатываются инновационные технологии. ЦСТиП — это самостоятельное подразделение с 11-летним стажем успешной работы, оснащенная на современном уровне исследовательская база комбината для проведения обширного ряда исследований и экспериментов, коллектив высококвалифицированных специалистов в области технологии производства и исследования огнеупорных материалов (рис. 1). Структура занимается разработками новых высокотехнологичных проектов и совершенствованием существующих технологий [1]. ЦСТиП обладает всеми необходимыми ресурсами для оказания поддержки сторонним организациям в области оптимизации и совершенствования технологий производства огнеупорных материалов, исследования свойств сырьевых ингредиентов, полной расшифровки (анализа) состава и свойств существующих продуктов, разработки и получения огнеупоров необходимого набора физико-химических характеристик для достижения их максимального ресурса эксплуатации.

Комплексное решение проблем технологии разнообразных огнеупорных материалов с использованием научно-технического ресурса БКО и высококвалифицированного персонала



Рис. 1. Элементы научно-технической базы ЦСТП: а — лаборатория термических испытаний; б — установка для определения теплопроводности; в — система электронной микроскопии «Jeol 6380 LV»; г — установка для определения ТКЛР

позволило улучшить физико-химические и эксплуатационные свойства продукции, повысить стойкость элементов футеровки и экономическую эффективность производства стали на металлургических переделах ОАО НЛМК.

Продукция ОАО БКО соответствует заявленным показателям физико-химических характеристик, обеспечивая гарантируемую стойкость и безаварийную эксплуатацию металлургических агрегатов ОАО НЛМК на всех переделах металлургического процесса. Совместная планомерная деятельность технических специалистов ОАО БКО и ОАО НЛМК по оптимизации огнеупоров и повышению стойкости узлов и рабочих агрегатов аглофабрики, коксохимического, доменного и сталеплавильного производства (КЦ-1 и КЦ-2, МНЛЗ) дает положительные результаты. Концепция ОАО БКО масштабного взаимовыгодного сотрудничества в области поставок огнеупорной продукции заключается в оптимизации и снижении удельных затрат, внедрении эффективных материалов и ноу-хау, улучшении качества серийно поставляемых изделий на каждом переделе, системе скидок при комплектных поставках огнеупорных материалов, непрерывном мониторинге службы продукции

в условиях ОАО НЛМК, совместной работе по оптимизации процессов сталеплавильного производства.

Ниже представлены основные инновационные огнеупорные материалы и проекты, улучшающие технико-экономические показатели работы тепловых агрегатов ОАО НЛМК.

- В 2011 г. в конвертерном цехе № 2 (КЦ-2) ОАО НЛМК введены в эксплуатацию установка печь-ковш (АПК) и 330-т сталеразливочные ковши АПК, что привело к ужесточению условий эксплуатации футеровки [2]. В этой связи после детального изучения ужесточившихся условий эксплуатации металлургических агрегатов была осуществлена оптимизация дизайна кладки в сочетании с выбором оптимальных свойств огнеупорных изделий и подбором необходимых сырьевых ингредиентов для их производства. Проведена масштабная работа по усовершенствованию всей технологической линии выпуска изделий на производственной площадке в КНР для получения принципиально новых огнеупорных изделий с улучшенными физико-химическими свойствами. При эксплуатации усовершенствованной футеровки уже подтверждены гарантийные обязательства по стойкости 75 плавов [3]. Дальнейшая работа

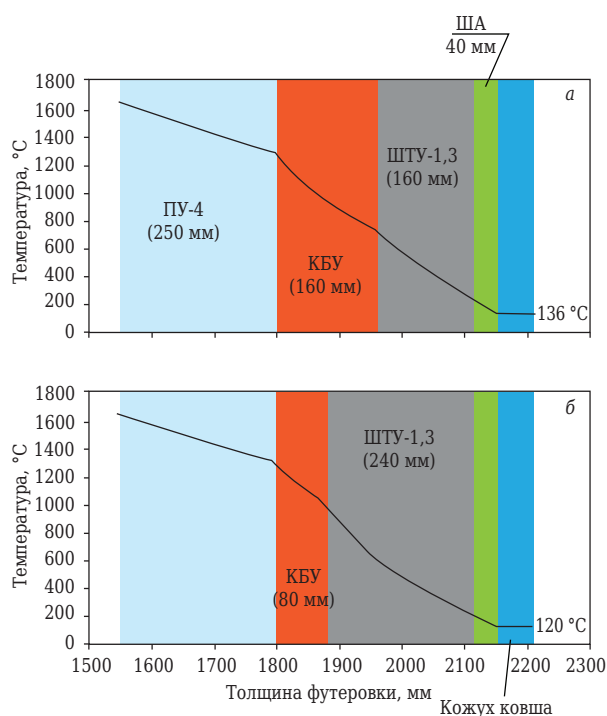


Рис. 2. Результаты теплового расчета дна футеровки 330-т сталеразливочного ковша

технических специалистов ОАО БКО и ОАО НЛМК по совершенствованию изделий и дизайна кладки обеспечит поэтапное достижение стойкости футеровки до 100 плавов, что является главным итогом общей деятельности.

- Следует отметить организацию совместного предприятия ОАО БКО — «Yingkou Jinhongyuan Meilu Ceramics Co., Ltd» с партнером, у которого в собственности: сырьевой карьер магнезита с запасом 25 млн т; завод по плавке магнезита; производство углеродсодержащих изделий мощностью 45 тыс. т в год с высокотехнологичным оборудованием, включая пресс «Лайс 2500» (с вакуумированием); производство неформованных огнеупоров на основе периклаза и бокситов мощностью 20 тыс. т в год. Таким образом, ОАО БКО имеет возможность покрытия рынка углеродсодержащими огнеупорами в объеме 85 тыс. т в год, которые производятся под контролем технических служб комбината.

- За счет использования эффективных теплоизоляционных материалов в 330-т сталеразливочных ковшах КЦ-2 можно существенно снизить тепловые потери в процессе эксплуатации ковшей, а также температуру на наружной поверхности бутары (кожуха сталеразливочного ковша). Согласно расчетам, замена одного слоя арматурной футеровки, выполненного изделиями марки КБУ (толщина 80 мм), на теплоизоляционный (изделия марки ШТУ-1,3) такой

же толщины позволяет сократить тепловой поток (тепловые потери) через дно ковша примерно на 15 %. При этом расчетная температура на кожухе ковша снижается на 16 °C (рис. 2). При сохранении начальных тепловых потерь через дно сталеразливочного ковша замена одного слоя арматурной футеровки (80 мм) на теплоизоляционный (ШТУ-1,3) позволяет уменьшить общую толщину дна на 45 мм, что при сохранении свободного борта увеличивает вместимость ковша до 4 т.

- ОАО БКО с 2006 г. является серийным поставщиком периклазоуглеродистых огнеупорных изделий для футеровки конвертеров ОАО НЛМК: 350-т конвертера КЦ-2 и 160-т конвертера КЦ-1. Наряду с огнеупорами для кладки конвертеров в комплекты поставки входят также подварочные брикеты для ухода за футеровкой. Все кампании футеровки конвертеров выведены из эксплуатации в плановом режиме согласно производственным программам ОАО НЛМК, обеспечивая необходимые показатели стойкости. Ведется постоянная работа по увеличению ресурса эксплуатации футеровки за счет как оптимизации дизайна кладки, так и совершенствования применяемых периклазоуглеродистых огнеупорных изделий. Использование в инновационной футеровке 160-т конвертера специально разработанных изделий марки ПУ-1Б для усиления зоны загрузки и слива позволило обеспечить равномерность степени износа кладки. Оптимизированный огнеупор обладает улучшенными техническими характеристиками за счет использования сырьевых компонентов наилучшего качества и комплекса антиокислительных добавок, увеличивающих как сопротивление выгоранию углеродистой составляющей, так и противостояние механическим воздействиям в процессе эксплуатации. Применение инноваций позволило добиться стойкости футеровки конвертера КЦ-1 до 4234 плавов (вывод из эксплуатации в сентябре 2013 г.). В настоящее время осуществляется комплекс мероприятий по обеспечению стойкости серийных комплектов рабочей футеровки КЦ-2 до уровня 4000 плавов.

- Специалистами ОАО БКО предложены оптимизированная схема рабочего слоя футеровки промежуточного ковша КЦ-1 ОАО НЛМК и использование огнеупоров повышенной стойкости для разливки стали:

- усиление верхних рядов рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ № 4–6, лимитирующих стойкость, огнеупорными изделиями марки КБУ;

- применение в промежуточном ковше в качестве огнеупоров, регулирующих ско-

рость разливки: стопоров-моноблоков и стаканов-дозаторов с гарантированной стойкостью 16 плавок.

— использование в качестве устройств, позволяющих оптимально распределять потоки металла и примесей: турбостопов и перегородок с гарантированной стойкостью 16 плавок.

Внедряемые нововведения, направленные на повышение общей стойкости промежуточного ковша и усовершенствованных изделий для разливки стали на МНЛЗ КЦ-1 до 16 плавок, позволяют снизить общий удельный расход огнеупоров до 25 % и общие удельные затраты до 16 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тенденция динамичного развития металлургической отрасли заставляет ОАО БКО, как производителей огнеупорных материалов, постоянно совершенствовать выпускаемую продукцию, оптимизировать ее качество, в том числе за счет подбора необходимых сырьевых ингредиентов, использования ноу-хау.

Концепция сотрудничества между ОАО БКО и ОАО НЛМК в области поставок огнеупорной продукции по основным переделам металлургического процесса дает положительные результаты. За счет применения высокоэффективных огнеупорных материалов, оптимизации футеровки металлургических агрегатов, использования новых перспектив-

ных огнеупоров и непрерывного мониторинга службы продукции возможны повышение эффективности металлургического производства ОАО НЛМК и снижение удельного расхода огнеупоров и общих удельных затрат. Профессионализм сотрудников ОАО БКО позволяет находить оптимальные решения для эффективной эксплуатации рабочих узлов агрегатов и футеровок тепловых агрегатов в условиях высокой конкуренции на рынке, удовлетворять всем заявленным требованиям, обеспечивать гарантируемые обязательства перед потребителем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сакулин, А. В.** Разработка современных высокоэффективных огнеупорных материалов / А. В. Сакулин, В. В. Скурихин, Л. Ю. Громова, О. С. Федорова // Новые огнеупоры. — 2012. — № 6. — С. 14, 15.
2. **Можжжерин, А. В.** Оксидоуглеродистые огнеупоры для комплектной футеровки металлургических агрегатов поставок ОАО БКО / А. В. Можжжерин, В. А. Мусевич, А. П. Дука // Новые огнеупоры. — 2009. — № 4. — С. 17, 18.
3. **Маргишвили, А. П.** ОАО БКО на рынке оксидоуглеродистых огнеупорных материалов / А. П. Маргишвили, А. В. Можжжерин, В. А. Мусевич [и др.] // Новые огнеупоры. — 2013. — № 1. — С. 10–13. ■

Получено 30.09.13

© А. В. Можжжерин, А. П. Маргишвили, В. А. Мусевич, Г. В. Филін, А. П. Дука, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



THERMEC '2013 — 8-я Международная конференция по современным материалам

2–6 декабря 2013 г. • г. Лас-Вегас, США

На конференции будут рассмотрены все аспекты обработки, изготовления, структуры как черных, так и цветных металлов, а также композиций, включая биоматериалы, топливные элементы, наноматериалы, стекла и другие современные материалы.

<http://www.thermec.org/template3s/>

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

УДК 621.746.047:669.054.2

СОЗДАНИЕ ИМИТАТОРА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРОВ ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ НА СОРТОВЫХ МНЛЗ

Рассмотрены технология и оборудование для управления потоками металла на участке сталеразливочный ковш — промежуточный ковш сортовых МНЛЗ. Разработан имитатор рабочей среды на МНЛЗ, позволяющий обеспечить рациональные параметры прохождения струй стали в кристаллизаторы для улучшения качества разливаемого металла и повышения стабильности процесса разливки.

Ключевые слова: МНЛЗ, промежуточный ковш, погружаемый стакан, стакан-коллектор, имитатор, кристаллизатор.

Для повышения конкурентной способности в условиях растущих рыночных требований к продукции металлургических предприятий необходимо проводить мероприятия по снижению себестоимости, улучшению качества и геометрических параметров непрерывнолитой заготовки, увеличивать производительность и эффективность работы сортовых МНЛЗ [1, 2]. Сталеразливочный ковш — промежуточный ковш — кристаллизатор — важнейший технологический участок сортовой МНЛЗ. При разливке стали этот участок определяет стабильность процесса разливки, оказывая большое влияние на повышение качества разливаемого металла и получение необходимых геометрических параметров непрерывнолитой сортовой заготовки [1, 2]. В этой связи на металлургических предприятиях в последние годы проводят реконструкцию действующих установок или сооружают новые, используя новейшие разработки в области технологии непрерывной разливки стали. Неотъемлемой частью этих работ являются создание новых и совершенствование существующих систем, обеспечивающих прохождение струй стали в кристаллизаторы [2, 3].

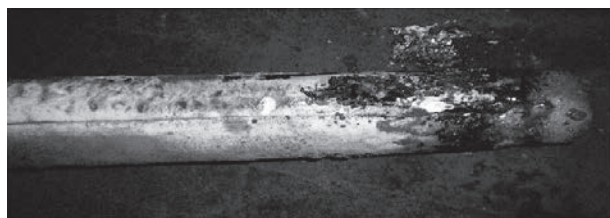


Рис. 1. Эрозия погружаемого стакана при смещении межосевого расстояния в промежуточном ковше

В процессе разливки стали применяются огнеупорные изделия для защиты от вторичного окисления струи металла: стаканы-коллекторы, погружаемые стаканы, вставки из пластичного огнеупора для плотного прилегания между стаканом-коллектором и погружаемым стаканом. Эти огнеупоры в процессе эксплуатации подвергаются интенсивной эрозии, что приводит к преждевременному разрушению их поверхности, попаданию частиц разрушенной футеровки в разливаемый металл и нестабильной разливке в кристаллизаторах. В результате этого происходит внеплановая замена погружаемых стаканов либо внеплановая остановка разливки стали. Поэтому для уменьшения эрозии огнеупорных изделий необходимо не только улучшать их физико-химические показатели, но и обеспечивать их высокую стойкость, применяя специальные устройства для усовершенствования технологических операций. Эрозия стаканов промежуточного ковша приводит к внеплановому прекращению разливки стали одного или нескольких ручьев сортовой МНЛЗ либо всей МНЛЗ. При неравномерной (односторонней) эрозии погружаемых стаканов (рис. 1) стаканы заменяют в процессе разливки стали на МНЛЗ.

Для определения влияния неоднородной эрозии на отклонения между осями технологических отверстий, расположенных в дне промежуточных ковшей, рассматривается в первую очередь эрозия стаканов-коллекторов, так как при прогаре именно этих огнеупоров разливка стали прекращается. На рис. 2 показан стакан-коллектор с односторонней эрозией после разливки стали; зона эрозии образовалась в плоскости соприкосновения стакана-коллектора и



Рис. 2. Эрозия стакана-коллектора (1); 2 — зона эрозии

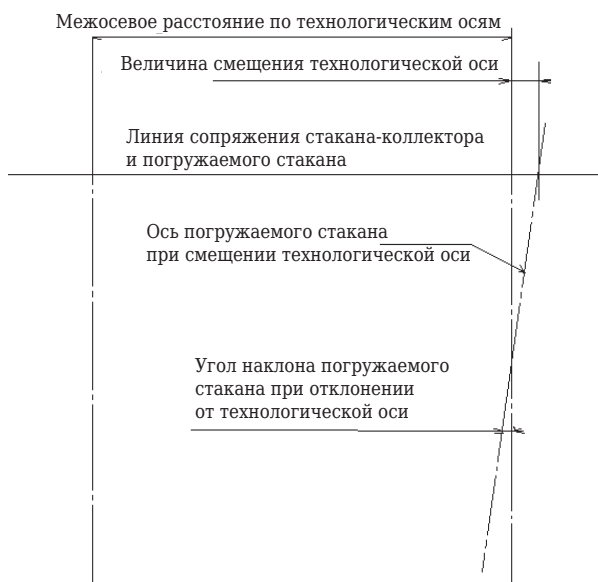


Рис. 3. Образование угла наклона погружаемого стакана при смещении межосевого расстояния

погружаемого стакана. Видно, что зона эрозии критична, очаг от прогара стакана-коллектора достаточно интенсивен и дальнейшая разливка стали на МНЛЗ невозможна. Очаг, образующийся от прогара стакана-коллектора, обеспечивает проникновение воздуха и кислорода в зазор между плоскостями соприкосновения стакана-коллектора и погружаемого стакана. Зазоры образуются от осевых смещений между осями внутренних отверстий стаканов-коллекторов, погружаемых стаканов и технологическими осями МНЛЗ, проходящими через кристаллизатор. Смещение образуется при наличии угла наклона погружаемого стакана (рис. 3). Допустимая величина смещения осевого расстояния между технологическими осями кристаллизаторов менее 0,5 мм; это отклонение не влияет на образование эрозии в зависимости от угла наклона по оси погружаемого стакана.



Рис. 4. Зоны эрозии стакана-коллектора в промежуточном ковше

На рис. 4 показаны зоны эрозии, образующиеся от смещения по технологической оси. В зоне образования зазора 1 происходит инжекционный подсос воздуха, после проникновения которого в технологическое отверстие стакана-коллектора при соприкосновении с жидким металлом образуется очаг от эрозии в зоне 2. Смещение по технологическим осям между ручьями сортовой МНЛЗ отчетливо просматривается в зоне 3. Эта зона характерна тем, что в ней находится остаток от пластичного огнеупора (вставки); с противоположной стороны стакана-коллектора он отсутствует. Это, в свою очередь, доказывает, что положение погружаемого стакана было под углом относительно вертикальной оси стаканов-коллекторов, расположенных в промежуточном ковше. Образование зазоров, способствующих проникновению воздуха, при дальнейшем взаимодействии воздуха с жидким металлом приводит к остановке разливки стали и носит систематический характер. Поэтому возникает необходимость разработки конструкции геометрического имитатора рабочей среды сортовой МНЛЗ на участке сталеразливочный ковш – промежуточный ковш – кристаллизатор.

Разработан имитатор рабочей среды для сортовых МНЛЗ ЭСПЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (рис. 5) [3], состоящий из корпуса 1 с футеровкой 2 и установленных в дне 3 корпуса 1 стаканов 4 с внутренней полостью 5. На корпусе 1 промежуточного ковша сортовой МНЛЗ установлен имитатор рабочей среды 6, выполненный в виде опорного элемента 7, закрепленного на наружной поверхности 8 корпуса 1 ковша. Имитатор 6 содержит направляющие 9, установленные в полости 5 стаканов 4, и датчик положения 10

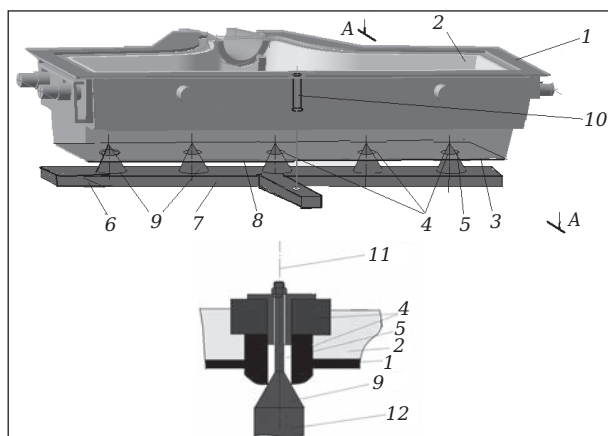


Рис. 5. Установка на промежуточном ковше имитатора рабочей среды (а) и элемент имитатора (б)

опорного элемента 7. При этом внутренняя полость 5 стакана 4 имеет ось 11, а направляющая 9 имеет симметричную форму и содержит центральную ось 12. Направляющая 9 состоит из основания, выполненного в виде конуса, цилиндрической направляющей с гайкой и уравнивающей втулки.

Работает промежуточный ковш следующим образом. Предварительно перед подготовкой ковша опорный элемент 7 закрепляют на наружной поверхности 8 корпуса 1 промежуточного ковша. Датчик положения 10, установленный на корпусе 1 ковша, обеспечивает установку опорного элемента 7 с направляющими 9 в заданное положение относительно дна 3 ковша. Затем в дно 3 ковша устанавливают стаканы по числу кристаллизаторов (на рис. 5 не показаны). При этом полость 5 стаканов 4 базируется относительно поверхности направляющих 9, а форма выполнения сопрягаемых поверхностей и соответствие геометрических размеров конструктивных элементов позволяет не только обеспечить надежную фиксацию стаканов 4, но и осуществить осевую центровку по осям 11 и 12 соответственно стаканов 4 и направляющих 9.

После установки стаканов 4 на внутреннюю поверхность корпуса 1 ковша наносят слой футеровки 2. Далее ковш сушат, полость ковша при этом нагревается. Все огнеупорные элементы и футеровка надежно фиксируются в ковше. Перед установкой промежуточного ковша на транспортный манипулятор (на рис. 5 не показан) МНЛЗ имитатор с промежуточным ковшем снимается. Далее ковш поступает на разливку. При подаче жидкого металла в промежуточный ковш струи металла равномерно распределяются по объему ковша и через полость 5 стаканов 4 поступают в кристаллизаторы (на рисунках не показаны). При этом со-

впадение оси 11 полости 5 стаканов 4 с осью 12 обеспечивает в процессе разливки формирование струй металла технологически заданной конфигурации без нарушения ее сплошности, исключая при этом боковые смещения струй металла. Все это снижает количество выносимых в сталь неметаллических частиц и обеспечивает повышение качества разливаемого металла. Отсутствие осевых смещений при разливке стали позволяет сбалансировать процессы образования гарантированной корочки непрерывнолитой заготовки в кристаллизаторах, равномерно распределить поток жидкой стали для улучшения тепломассопереноса при отдаче тепла через медные стенки кристаллизатора, обеспечив тем самым гарантированное получение непрерывнолитой заготовки с заданными геометрическими параметрами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана конструкция имитатора струи металла сортовых МНЛЗ-1,2 ЭСПЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Применение имитатора рабочей среды на МНЛЗ позволяет создать условия для равномерного распределения потоков жидкой стали в кристаллизаторах и гарантированного получения непрерывнолитой заготовки с необходимыми геометрическими параметрами.

С применением имитатора были выставлены стаканы-коллекторы на промежуточном ковше. После последующего разогрева промежуточный ковш установили на разливочной площадке сортовой МНЛЗ. Максимальное отклонение от технологической оси составило $\pm 1,5$ мм, что при разливке опытных серий по 5 плавов позволило сбалансировать потоки жидкой стали в кристаллизаторе, уменьшить неравномерность эрозии погружаемого стакана и стакана-коллектора (рис. 6) и обеспечить бесперебойную разливку стали на сортовой МНЛЗ.

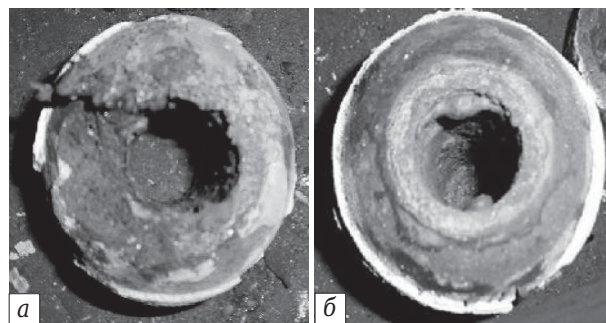


Рис. 6. Эрозия стакана-коллектора при различных условиях службы: а — с межосевым смещением; б — без межосевого смещения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Точилкин, В. В.** Модернизация промежуточного ковша МНЛЗ для обеспечения повышения качества разливаемой стали / В. В. Точилкин // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2007. — № 2. — С. 5–7.
2. **Точилкин, В. В.** Конструкции элементов систем распределения потоков стали модернизируемых промежуточных ковшей МНЛЗ / В. В. Точилкин, О. А. Филатова, А. А. Хоменко // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2008. — № 11. — С. 11–13.
3. Пат. 122318 Российская Федерация, МПК В 22 D 41/00. Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла / Ушаков С. Н., Вдовин К. Н., Точилкин В. В., Прохоров С. В., Марочкин О. А., Хоменко А. А. — № 2012119807/02 ; заявл. 14.05.2012 ; опубл. 27.11.2012, Бюл. № 33. ■

Получено 10.07.13

© К. Н. Вдовин, О. А. Марочкин, В. В. Точилкин,
2013 г.


STEULER KCH

ОГНЕУПОРНАЯ ФУТЕРОВКА
ИНЖИНИРИНГ | ПРОИЗВОДСТВО | УСТАНОВКА | МИРОВОЙ МАСШТАБ

Разработка, инжиниринг, производство
И установка – все из одного источника

Полная концепция футеровки, общий вид футеровки,
Чертежи по установке, расчет передачи тепла
и рекомендации по разогреву.

Комплексная укладка футеровки и шеф-монтаж
При технической поддержке экспертов STEULER-KCH.

павильон № 69, стенд №4E48 12-15 ноября
Металл-Экспо'2013
УЧАСТНИК ВЫСТАВКИ

ЛИЦОМ К ОГНЮ

STEULER-KCH является новатором и мировым лидером рынка в области огнеупорных систем.
STEULER-KCH предлагает полный спектр огнеупорных решений: разработка и инжиниринг, собственное производство, услуги по футеровке.

STEULER-KCH GmbH | Огнеупорные Системы
56203 Хёр-Гренцхаузен | ГЕРМАНИЯ
Тел: +49 2624 13-0 | Факс: +49 2624 13-339
E-Mail: ff.info@steuler-kch.de | www.steuler-kch.de

НИТУ «МИСус», Москва, Россия

УДК 622.06:666.762.52.022.2(470)

СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ЦИРКОНИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ В РОССИИ

Приведены данные о российских и зарубежных производителях цирконистых огнеупоров. Показано, что основной причиной отставания российских производителей от зарубежных по объему производства и ассортименту цирконистых огнеупоров является отсутствие отечественного цирконового сырья. Дана характеристика основных титано-циркониевых месторождений, на базе которых может быть организовано производство цирконового концентрата.

Ключевые слова: циркон, бадделейт, цирконистые огнеупоры, плавлено-литые бадделейтокорундовые огнеупоры, сырьевая база.

Цирконий — единственный из группы редких металлов, который в металлическом виде и в виде химических соединений производится сотнями тысяч тонн. Наиболее важные из химических соединений — циркон (концентрат) и диоксид циркония являются сырьем для цирконистых огнеупоров и керамики. Мировое производство цирконовых концентратов в 2006 г. превысило 1 млн т, из которых 67 % пошло на производство огнеупоров и керамики [1].

Цирконистые огнеупоры — цирконовые, бадделейтовые и плавлено-литые бадделейтокорундовые благодаря высоким показателям огнеупорности и коррозионной стойкости к воздействию металлических и минеральных расплавов относятся к высоковостребованным материалам в металлургии и стекловарении. Применение цирконовых огнеупоров для непрерывной разливки является одним из примеров их эффективного использования в металлургии. Производство плавлено-литых бадделейтокорундовых огнеупоров, широко применяемых при получении стекол различных типов, является крупнейшим потребителем цирконистого сырья (цирконового концентрата и диоксида циркония).

В России в настоящее время основным производителем цирконийсодержащих огнеупоров для металлургии является ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» (ОАО БКО) [2]. Комбинат на основе диоксида циркония производит огнеупорные изделия марок ЦИС, ЦЦП и ЦА-90, которые используются для непрерывной разливки стали и в высокотемпературных печах для выпуска кварцевого стекла (табл. 1). Для высокотемпературных установок с рабочей температурой 2000–2300 °С предназначены огнеупоры марок ЦИС (ТУ 14-194-254–03) и ЦА-90, стабилизированные соответственно

оксидами иттрия и кальция. Огнеупоры марки ЦЦП (ТУ 14-194-239–01), изготовленные на основе диоксида циркония или бадделейта с добавкой циркона, предназначены для футеровки высокотемпературных установок с температурой службы до 2000 °С (www.borovich-nov.ru/shop/). Для непрерывной разливки стали комбинат производит также погружаемые стаканы корундографитового состава (ТУ 14-194-274–06, ТУ 14-194-286–09, ГОСТ Р 52801–2007), в отдельных марках которых содержится 68–74 % ZrO_2 . Сырьем для производства таких изделий является диоксид циркония или бадделейт.

В небольшом объеме цирконистые огнеупоры методами прессования и спекания производит ЗАО «НТЦ «Бакор» [3]: БКТ — бадделейтокорундовые керамические огнеупоры по ТУ 1594-078-11773998–2004, КМЦ — корундомулитоциркониевые керамические огнеупоры по ТУ 1562-061-11773998–2003 и ХАЦ — хром-алюмоциркониевые огнеупоры по ТУ 1594-135-11773998–2011 (табл. 2).

За рубежом цирконистые огнеупоры для металлургии и стекловарения методами прес-

Таблица 1. Цирконийсодержащие огнеупоры ОАО БКО

Основные показатели	Норма для марки		
	ЦИС	ЦЦП	ЦА-90
Массовая доля, %:			
($ZrO_2 + HfO_2$), не менее	72,0	88,0	90,0
Y_2O_3	22–25	—	—
Al_2O_3	—	2–4	2–4
CaO	—	—	2,8–4,5
SiO_2	—	2–5	—
Fe_2O_3 , не более	0,6	0,6	0,6
Открытая пористость, %, не более	30	16	30

Таблица 2. Цирконийсодержащие огнеупоры ЗАО «НТЦ «Бакор»

Основные показатели	Норма для марки				
	БКТ	КМЦ	ХАЦ-30	ХАЦ-45	ХАЦ-60
Массовая доля, %:					
Al ₂ O ₃ , не менее	45	82,5	31	25	17
ZrO ₂ , не менее	25	10	20	15	12
SiO ₂ , не более	19	—	14	10	6
Cr ₂ O ₃ , не менее	—	—	30	45	60
(RO + R ₂ O + Fe ₂ O ₃)*, не более	3	—	3	3	3
Fe ₂ O ₃ , не более	—	0,3	—	—	—
Кажущаяся плотность, г/см ³ , не менее	3,0	3,3	3,2	3,3	3,6
Открытая пористость, %, не более	18	16	16	16	16

* RO — CaO, MgO; R₂O — Na₂O, K₂O.

Таблица 3. Цирконийсодержащие огнеупоры фирмы RHI

Марка огнеупора	Химический состав, %				Кажущаяся плотность, г/см ³	Открытая пористость, %
	ZrO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO		
Durital AZ 50	34,0	14,5	48,0	—	3,30	15,5
Durital AZ 58	28,0	13,0	58,0	—	3,20	13,5
Durital AZ 70	19,0	11,5	67,0	—	3,37	14,0
Zettral 65GG	65,0	32,0	—	—	3,70	19,0
Zettral 65GS	66,0	32,5	—	—	3,69	19,0
Zettral 95GR	93,9	1,9	—	4,0	4,40	18,5
Supral AZ50	34,0	15,0	47,0	—	3,24	16,5
Supral AZ70	20,0	12,0	66,5	—	3,45	16,0

Таблица 4. Цирконийсодержащие огнеупоры фирмы «SEPR GROUP»

Марка огнеупора	Химический состав, %					Кажущаяся плотность, г/см ³	Открытая пористость, %
	ZrO ₂	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	другие		
ZPR	65,0	33,0	1,00	—	1,00	3,75	18
CZCT	63,0	33,5	—	—	3,50	3,75	14
ZS 1300	65,6*	32,5	1,10	—	0,80	4,33	0,5
ZS 78	69,2*	28,8	1,10	0,2	0,60	4,26	8
ZS 650	65,7*	33,6	0,10	0,3	0,30	3,69	17
ZS 835	65,0	34,4	0,25	—	0,35	3,88	11
CZ 66	66,0	31,5	0,50	0,1 (Fe ₂ O ₃)	1,90	3,80	15
ZS 835 HD	64,9	34,3	0,38	—	0,42	4,07	6

* Указано суммарное содержание (ZrO₂ + HfO₂), %.

сования и спекания производятся в значительно большем объеме и в расширенном ассортименте. Крупнейшими производителями цирконистых изделий являются фирмы RHI (Австрия) и «SEPR GROUP» (Франция). Фирма RHI производит огнеупорные кирпичи марок DURITAL AZ и крупногабаритные блоки марок SUPRAL AZ (табл. 3) [4]. Кроме того, на основе цирконового концентрата фирма изготавливает огнеупорные смеси и мертели типов RESISTIT ZS (ZM), DEDURIT ZS (ZM) и RESITECT SR. Механические и теплофизические свойства этих огнеупоров и рекомендованные области их применения представлены в литературе [4]. Фирма «SEPR GROUP» боль-

шую часть своей продукции также производит с использованием цирконового сырья (табл. 4) [5]. Продукция используется в основном в тепловых агрегатах для плавки стекловолокна (стекло Е), боросиликатного и опалового стекла, стеклокерамики, малощелочного стекла. Огнеупоры марок CZCT и CZ 66 кроме высокой коррозионной стойкости к минеральным расплавам характеризуются также хорошей термостойкостью.

Наиболее значительными потребителями цирконового концентрата и диоксида циркония в мире являются производители плавленно-литых бадделеитокорундовых огнеупоров. Современная технология стекловарения не

Таблица 5. Химический состав бадделеитового порошка ОАО «Ковдорский ГОК»

Состав	Норма для марки			
	ПБ-ХОМ	ПБ-ХО	ПБ-0	ПБ-1
Содержание, %:				
(ZrO ₂ + HfO ₂), не менее	99,30	99,30	98,50	98,00
SiO ₂ , не более	0,40	0,40	0,40	0,70
TiO ₂ , не более	0,10	0,10	0,13	0,30
Fe ₂ O ₃ , не более	0,09	0,09	0,10	0,15

может обойтись без их использования; в последнее десятилетие новые производства таких огнеупоров были организованы в Бельгии, Австралии, Индии и Китае (более 10).

Крайне низкий объем производства и малый ассортимент цирконистых огнеупоров с использованием цирконового концентрата в России объясняется в первую очередь отсутствием отечественного сырья. В России в настоящее время основными потребителями цирконового концентрата и диоксида циркония (бадделеита) и производителями на их основе плавнено-литых бадделеитокорундовых огнеупоров марок Бк-33, Бк-37 и Бк-41 являются ОАО «Щербинский завод электроплавящихся огнеупоров» (ЩЗЭПО), ЗАО «Подольскогнеупор» и ООО «Домодедовский завод электроплавящихся изделий». Общее количество производимых этими предприятиями плавнено-литых бадделеитокорундовых огнеупоров не превышает 10 тыс. т огнеупоров в год, тогда как до 1991 г. в СССР выпускалось таких огнеупоров порядка 20 тыс. т. Основную массу бадделеитокорундовых огнеупоров для стекольной промышленности поставляют зарубежные фирмы. Отсутствие отечественного цирконийсодержащего сырья (циркона и диоксида циркония) не позволяет осваивать новые области его применения, успешно развивающиеся за рубежом.

В настоящее время в России используется около 15 тыс. т циркона, хотя, по различным оценкам, потребность в нем составляет от 40 до 100 тыс. т [1], что соответствует современному потреблению циркона в Японии и США. За счет собственного производства потребности России удовлетворяются не более чем на 2–3 %. Единственное в России предприятие по производству циркониевого сырья — бадделеитового порошка ОАО «Ковдорский ГОК» (табл. 5) производит порядка 7 тыс. т, большая часть которого экспортируется в Норвегию, Японию и другие страны. Химический состав бадделеитового порошка по ТУ 1762-003-00186759–2000 приведен в табл. 5.

Один из самых дефицитных видов минерального сырья — цирконовый концентрат в России вообще не производится, а импорти-

руется из Украины и Австралии. Россия, занимающая 4-е место в мире по запасам циркония, не имеет ни одного промышленно разработанного месторождения с выпуском цирконового концентрата. Как правило, это титан-циркониевые месторождения, которые 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 является остро необходимым.

В России имеются титан-циркониевые россыпные месторождения с разведанными запасами, которые в случае освоения могли бы обеспечить внутреннюю потребность в цирконовом сырье в течение десятков 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 «ТГОК» «Ильменит» по ТУ 1762-002-581914756–2005 содержит, %: ZrO₂ ≥ 60,0, TiO₂ ≤ 4,0, Fe₂O₃ ≤ 1,0, Al₂O₃ ≤ 1. Хотя по содержанию оксидов железа и титана концентрат пока не удовлетворяет требованиям производства плавнено-литых бадделеитокорундовых огнеупоров, он может достаточно широко применяться при получении цирконового огнеупорной продукции.

Лукояновское месторождение (Итмановская россыпь). Готово к промышленному освоению и является перспективным месторождением с высоким качеством сырья (содержание циркона 24,32 кг/м³).

Тарское месторождение (содержание циркона 4,7 кг/м³). При подтверждении значительных запасов редкоземельных элементов лантановых и цериевых групп месторождение может

Таблица 6. Характеристика цирконового концентрата Тарского ГОКа

Показатели	Норма для марки	
	КЦТ-1	КЦТ-2
Содержание, %:		
ZrO ₂ , не менее	63,0	60,0
P ₂ O ₅ , не более	0,12	0,20
Al ₂ O ₃ , не более	2,0	2,5
SiO ₂ , не более	32,0	37,0
TiO ₂ , не более	0,4	0,8
Fe _{общ} , не более	0,1	0,15
Максимальный размер зерна, мм	0,18	0,18

быть отнесено к весьма перспективным; ценность его возрастет в разы. Химический состав опытных партий цирконового концентрата, поставляемых в небольших количествах Тарским ГОКом по ТУ 1762-003-79932362–2007, приведен в табл. 6. Широкое применение концентрата такого качества возможно для производства огнеупоров, ферросплавов, абразивов и др.

Центральное (Тамбовская обл.). 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 кг/м³).

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 диоксида циркония. Запасы для первоочередного освоения составляют 22,535 млн м³ с содержанием циркона 11,29 кг/м³.

Все эти месторождения из-за постоянной смены собственников, отсутствия финансовых средств и невыполнения государством целевых комплексных программ в течение десятилетий являются промышленно не освоенными.

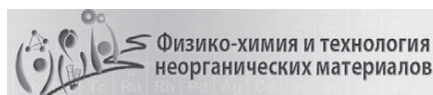
Цирконий включен в Перечень основных видов стратегического минерального сырья, что подразумевает необходимость обеспечения потребностей страны в цирконии собственным сырьем. Учитывая большие затраты, в первую очередь на основании сравнения экономических показателей комплексной разработки указанных месторождений, 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Быховский, Л. З.** Цирконий и гафний России: современное состояние, перспективы основания и развития минерально-сырьевой базы / Л. З. Быховский, Л. П. Тигунов, Л. Б. Зубков [и др.] // Минеральное сырье. Сер. геолого-экономическая. — 2007. — № 23. — 127 с.
2. Каталог продукции Боровичского комбината огнеупоров «Огнеупоры для строительства и ремонта стекловаренных печей», 2006. — 21 с. ; www.borovich-nov.ru/shop/.
3. Каталог продукции ЗАО «НТЦ «Бакор» «Огнеупоры специальные. Огнеупорные материалы». — 47 с. ; www.ntc.bacor.ru.
4. Каталог продукции RHI GLASS «Огнеупорные материалы для стекольной промышленности». — 35 с. ; www.rhi-ag.com.
5. Каталог продукции SEPR GROUP «Bonded Refractories for Glass Furnaces». — 104 с. ■

Получено 18.09.13
© В. А. Соколов, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



Физико-химия и технология
неорганических материалов

26–29 ноября 2013 г.

Москва, ФГБУН «Институт металлургии
и материаловедения им. А. А. Байкова РАН»

V международная конференция

«Деформация и разрушение материалов и наноматериалов»

На конференции планируется обсудить и обобщить весь спектр результатов исследований в области прочности, деформации и разрушения материалов и наноматериалов. В рамках проведения конференции будут проведены семинары и выставка, знакомящие участников и гостей конференции с новейшими образцами оборудования для исследования структуры, процессов деформации и разрушения материалов и наноматериалов. К открытию конференции будет выпущен сборник трудов.

Сайт конференции: <http://www.dfmn.imetran.ru>. E-mail: dfmn@imetran.ru

Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, 49

Компания «Шибер», Москва, Россия

УДК 669.18.046.518:621.746.328-33

РАЗРАБОТКА ШИБЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАЗЛИВКИ МЕЛКИХ СЛИТКОВ И ФАСОННОГО ЛИТЬЯ

Рассмотрена технология внедрения шиберных затворов в литейном производстве и описано оборудование для разлива металла в мелкие слитки и формы.

Ключевые слова: шиберный затвор, разлива металла в слитки, шиберная плита, ковшевой стакан, стакан-коллектор, гнездовой блок, гидравлическая станция.

В черной металлургии внедрение шиберных систем было произведено в 1974–1985 гг. Были созданы отечественные шиберные затворы и огнеупорные изделия для разливочных узлов сталеразливочных ковшей вместимостью 90–350 т. В мировой практике 100 % металла разливают с помощью шиберных затворов. Шиберная разлива успешно развивается и за последние 20 лет в мире были разработаны три поколения шиберных систем [1]. Внедрение шиберных затворов для ковшей вместимостью 10–50 т в России длительное время не осуществлялось из-за отсутствия в тот период необходимого класса шиберных затворов и огнеупоров. Первый современный шиберный затвор для ковшей малой вместимости в России был разработан компанией «Шибер» и внедрен на московском металлургическом заводе «Серп и молот» в 2002 г. Шиберный затвор конструкции РУС-40 был внедрен на ковше вместимостью 10 т [2]. Предприятие окупало свои затраты за 3 мес и обеспечивало 100 %-ную разлива металла на МНЛЗ с 3–4-кратным использованием огнеупоров разливочного узла. Далее затвор конструкции РУС-40М был внедрен на МНЛЗ металлургического завода «Стаск» (г. Красный Сулин), на Оскольском заводе металлургического машиностроения (разлива в слитки) и на других предприятиях. В конце 2011 г. шиберная система РУС-40М была внедрена в ОАО «Русполмет» на 6-т ковше. Благодаря внедрению современных разработок в области огнеупоров и конструкции затворов на предприятии была достигнута максимальная стойкость огнеупоров шиберного узла в России (9 плавов через один комплект огнеупоров). Современные шиберные системы обладают рядом преимуществ по сравнению со стопорными узлами:

1. Возможность повышения качества отливок, в особенности ответственного ассортимента (обеспечение потребностей ОАО РЖД, предприятий энергетики и др.).

2. Возможность внедрения современных технологий и создания современного ассортимента продукции.

3. Снижение потерь металла в несколько раз.

4. Безопасность и удобство обслуживания.

5. Многократное использование огнеупоров разливочного узла.

В настоящее время 100 % литейных предприятий производят разлива металла через стопорные устройства, состоящие из штыря с наборными стопорами и с пробкой, которая закрывает отверстие разливочного стакана в футеровке дна [3]. Такой способ разлива металла применяется уже более 100 лет и морально устарел из-за следующих недостатков:

— стопорное устройство, состоящее из катушек шамотного состава, находится внутри расплавленного металла. Кроме засорения металла силикатными включениями при длительной разливе происходит разъедание швов и создаются аварийные ситуации при разливе металла. Особенно ненадежный элемент узла — головная часть пробки, в конструкции которой уже заложены внутренние трещины, приводящие к аварийной ситуации;

— в связи с отсутствием в России высокопластичных глин, используемых для производства пробок, резко снизилось их качество. Многие огнеупорные предприятия прекратили производство пробок из-за убыточности продукции;

— стопорная система ограничивает возможность применения достижений технического прогресса в использовании современных металлургических процессов для литейной промышленности. Не внедряются:

• установки печь-ковш, позволяющие экономить ферросплавы и электроэнергию;

• основные футеровки, снижающие количество неметаллических включений в 8–10 раз;

• продувка инертными газами, позволяющая, в частности, повысить качество и улучшить структуру отливок.

Отдельные предприятия пытались использовать отдельные элементы современной технологии разливки. ФГУП «Уралвагонзавод» приобрело установку печь-ковш и пыталось обработанный в установке качественный металл переливать в стопорный ковш и с помощью стопора разливать его в слитки. Требуемое качество металла достигнуто не было и затраты предприятия на приобретение дорогостоящего оборудования не окупились.

В последние годы по просьбе литейных предприятий предпринимались попытки отдельных отечественных организаций внедрения шибберных систем для разливки фасонного литья. Например, НПП «Вулкан» пыталось перенять принципы типовой шибберной разливки крупных предприятий черной металлургии у отдельных литейных предприятий («Промлит», Чебоксары, и др.). Внедрение шибберных затворов без учета знания специфики разливки литья в мелкие слитки и формы не удалось. Желаемые результаты выдавались за действительные, а неудачные попытки внедрения создали определенное негативное отношение у большинства специалистов литейного производства к решению этой проблемы.

Этап № 1. Проведение опытных разливок на ФГУП «Уралвагонзавод»

Компания «Шиббер», являющаяся одной из ведущих в России в области внедрения шибберной разливки, по просьбе ФГУП «Уралвагонзавод», которое проводило реконструкцию литейного производства с установкой импортной линии ХТС, заключила в 2008 г. договор на разработку огнеупоров и оборудования для разливки мелких слитков и фасонного литья с помощью шибберных систем. В договоре были определены жесткие критерии технологии (количество перекрытий плит не менее 100 раз и др.). На основании договора была составлена совместная программа проводимых исследований. Специалисты отдела главного металлурга (Н. П. Нурдаветов и другие) провели необходимые консультации специалистов компании «Шиббер» по специфике разливки металла для железнодорожного транспорта (температурные режимы разливки, условия кристаллизации слитка и др.). Это позволило уже на стадии разработки исключить часть предлагаемых компанией «Шиббер» идей, которые серийно используются в черной металлургии, но не удовлетворяют существующим требованиям литейного произ-

водства, и из программы работ были исключены многие предложенные нами идеи:

— возможность повышения температуры выпускаемого из печи металла для снижения эффекта замерзания металла в разливочном канале шибберного затвора;

— организация разливки жидкой стали из ковша в формы с частичным перекрытием струи расплавленного металла (подтеком).

В процессе совместных работ компания «Шиббер» изменила форму и типоразмеры серийно применяемых на большинстве металлургических предприятий огнеупоров и разработала специальный комплект огнеупоров для разливки мелких слитков. В огнеупорах была предусмотрена возможность подачи газовой смеси в разливочный канал, что, по нашему мнению, должно способствовать предотвращению замерзания металла внутри канала.

При выполнении условий договора впервые в России были проведены две успешные разливки металла из 30-т ковша в литейные формы. В процессе испытаний из металла марки 20ГЛ, обработанного на АКП-30, были произведены отливки основных деталей для РЖД (рама боковая, балка надрессорная, корпус автосцепки, букса и др.). Отдельные параметры технологии и состав металла марки 20ГЛ приведены ниже:

Содержание, %:

углерод	0,19–0,21
сера и фосфор, не более	0,02
марганец	1,25–1,35
кремний	0,3–0,35
хром и никель, не более	0,3
алюминий	0,025–0,05
титан	0,01–0,03
ванадий	0,01–0,06
кальций, не более	0,01
Содержание FeO в конечном шлаке, %	
не более	1
Удельный расход электроэнергии на внепечную обработку стали, кВт/т	40–60
Длительность обработки, мин	40–50
Температура металла в конце его обработки, °C	1570–1590

По окончании работ был проведен сравнительный анализ слитков по количеству и видам дефектов при разливке металла (серийных и опытный ковш). Замечаний по дефектам слитков, механической прочности, микроструктуре и другим показателям в адрес компании «Шиббер» не поступило. Были отмечены особенность формирования плотной компактной струи и снижение дефектов внутренней структуры.

При проведении опытных плавок по инициативе цехового персонала были созданы жест-

кие условия эксплуатации. Компания «Шибер» предложила схему установки литейных форм, в которой для снижения эффекта затвердевания металла в разливочном канале шиберного затвора и сокращения времени переезда ковша от одной формы к другой предполагалось последовательное расположение литейных форм на одной линии. Однако изменение расположения форм в условиях оборонного предприятия требовало длительных согласований, и поэтому литейный ковш перемещали по территории литейного участка в соответствии с традиционной схемой разлива. В результате этого вместо ожидаемого времени перемещения ковша от формы к форме в течение 30–45 с фактическое время переезда составило около 3 мин. Количество перекрытий шиберного затвора с учетом так называемой «подкачки» производилось более 65 раз. Несмотря на жесткие условия испытания была показана реальная возможность перспективы внедрения шиберных затворов при разливе металла в литейном производстве. Испытания показали, что для обеспечения разлива в условиях 30-т ковша ФГУП «Уралвагонзавод» требуется замена затвора конструкции РУС-40М на более мощный (РУС-60).

Этап № 2. Разработка специализированного для литейного производства шиберного оборудования и проведение исследовательских работ, направленных на создание элементов технологии разлива металла в литейные формы

Наступивший в 2009 г. кризис экономики не позволил обеспечить достаточное финансирование исследовательских разработок в области внедрения шиберных систем для литейного производства как со стороны основного заказчика (ФГУП «Уралвагонзавод»), так и в компании «Шибер». Однако, учитывая важность развития шиберной разлива, компания «Шибер»

самостоятельно продолжила финансирование отдельных наиболее важных направлений. За период 2009–2011 гг. было обеспечено развитие следующих направлений развития шиберных систем.

Доработка конструкции шиберных затворов РУС-40М (РУС-60) для учета специфики разлива в условиях литейного производства.

Разработанные компанией «Шибер» затворы РУС-40М (РУС-60), которые успешно используются в черной металлургии, потребовали изменения конструкции отдельных элементов. Потребовались усиление узла сжатия шиберных плит и повышение надежности элементов затвора, работающих в условиях интенсивного нагрева.

При разливе металла в формы возникает большой тепловой поток от зеркала разливаемого металла, который влияет на упругие свойства применяемых в шиберном затворе пружинных элементов. Интенсивность теплового поля зависит от расстояния между затвором и разливочной воронкой. Для снижения интенсивности нагрева разработан экран с защитным покрытием и созданы тарельчатые пружины с высокой стойкостью при больших температурах. Предусмотрены варианты эксплуатации затвора без подачи воздуха для охлаждения корпуса затвора и пружинных элементов. Разработанная конструкция затвора показана на рис. 1.

Совершенствование гидравлической системы. В процессе разлива металла на ФГУП «Уралвагонзавод» были определенные претензии к системе гидропривода, состоящего из гидравлической станции РУС ГО-01, рукавов высокого давления и гидроцилиндров:

- рукава высокого давления (РВД) в зоне разлива металла с целью защиты от теплового излучения были частично покрыты шнуровым асбестом. Предложенный материал не выдерживал возникающих нагрузок и приводил к преждевременному выходу из строя РВД;

- для гидравлических цилиндров требовались повышение температурного интервала при службе, а также создание дополнительной защиты от излучения (рис. 2);

- предложенная гидравлическая станция обеспечивала скорость открытия и закрытия шиберного затвора в течение 12–15 с. При транспортировании ковша длительность перевозки составляла до 3 мин и при длительной разливе происходило застывание металла в разливочном канале.

Для устранения этих недостатков были предложены следующие технические решения:

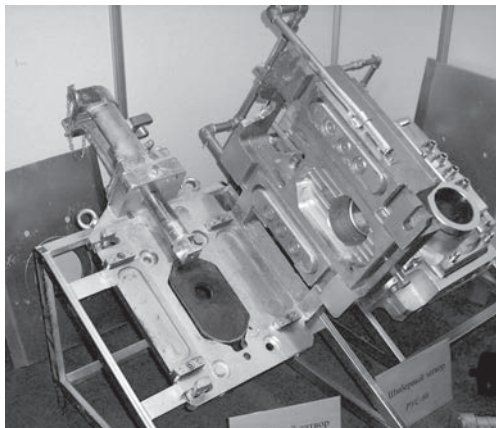


Рис. 1. Шиберный затвор РУС-40-ФЛ-ПГ

— для комплектации гидравлических станций были применены импортные рукава высокого давления (до 150 ат) в специальной теплозащитной оплетке, обеспечивающей надежную работу до 1200 °С (рис. 3). Рукава снабжены необходимыми штуцерами и быстроразъемными соединениями, что позволяет в критических ситуациях осуществить быструю замену;

— разработана документация и организовано производство модернизированной гидравлической станции РУС-ГТ-ФЛ-ПГ, которая учитывает специфику разлива мелких слитков и фасонного литья. Гидравлическая станция обеспечивает уменьшение времени перекрытия затвора в 3–5 раз и способствует снижению эффекта замерзания металла в разливочном канале (рис. 4). Большое внимание было уделено безопасности работы гидравлической системы шибрных затворов в условиях литейного производства. Поставляемые гидравлические станции комплектуются отечественными негорючими жидкостями, использование которых исключает возгорание в процессе эксплуатации. С учетом влияния климатических условий предлагаются несколько модификаций гидравлических станций:

- зимнее исполнение, которое обеспечивает надежную эксплуатацию в зимнее время благодаря дополнительной установке специального нагревателя гидравлической жидкости;

- летнее исполнение, в котором обеспечивается охлаждение гидравлической жидкости с помощью специального вентилятора;

- стационарный и переносной варианты исполнения. Гидравлическая станция комплектуется электрошкафом и пультом управления и может устанавливаться в любом месте цеха. Предусмотрен также вариант малогабаритной станции, которая может устанавливаться на кране для перевозки ковшей с расплавленным металлом.

Разработка огнеупорных изделий разливочного узла для обеспечения разлива мелких слитков и фасонного литья. Несмотря на то что в процессе испытаний замечаний к вещественному составу огнеупоров не было, потребовалось устранение отдельных замечаний, главным из которых был обнаруженный эффект «замерзания» металла в разливочном канале в момент перекрытия затвора и в процессе перемещения ковша от формы к форме. Было проверено несколько технических решений, связанных с изменением конструкции огнеупорных элементов разливочного узла с использованием менее теплопроводных материалов и внедрения дополнительной совре-

менной теплоизоляции. Частичному снижению «замерзания» способствовало увеличение диаметра разливочного канала в верхней части



Рис. 2. Малогабаритные гидравлические цилиндры для шибрных затворов



Рис. 3. Рукав высокого давления в защитной оплетке

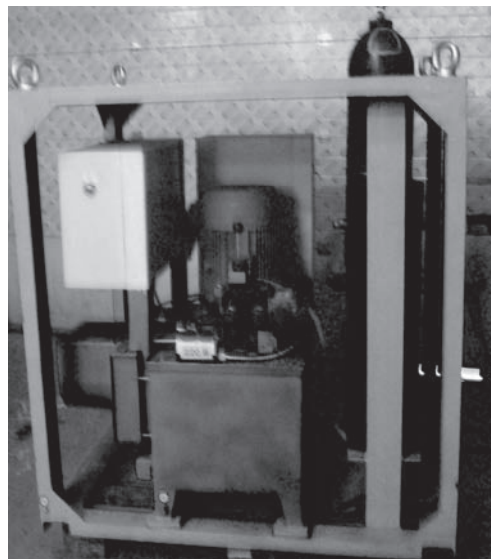


Рис. 4. Гидравлическая станция РУС-ГТ-ФЛ-ПГ для литейного производства

разливочного узла. Определены оптимальные диаметры и длина ковшевого стакана и стакана-коллектора. Огнеупорные изделия для ши-

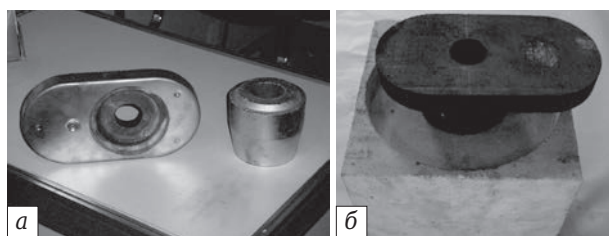


Рис. 5. Шибберная плита с подводом газовой смеси и ковшевой стакан (а), гнездовой блок с плитой и стаканом (б)

берного узла (рис. 5) соответствуют мировому уровню и изготовлены из современных материалов (корундоцирконографит и др.).

Дополнительно были проведены научно-исследовательские работы по снижению потерь тепла через огнеупоры шибберного узла и применены новые теплоизоляционные материалы с температурой службы до 1400 °С. Эти материалы способствуют снижению эффекта замерзания металла в разливочном канале шибберного затвора.

Разработка нового узла шибберной системы «Устройство подогрева металла в разливочном узле». Ранее этот узел не входил в состав шибберной системы, и его наличие является основным условием для обеспечения разливки металла в литейном производстве. Для снижения замерзания металла в разливочном канале был использован принцип подачи газовой смеси через шибберную плиту в канал разливочного узла. Газовая смесь подается в момент перекрытия затвора и под определенным давлением поступает в разливочный канал. Количество смеси должно обеспечить поддержание необходимой температуры для предотвращения замерзания металла. Положительный результат разливки в условиях ФГУП «Уралвагонзавод» был получен благодаря этому новому элементу затвора. Однако при разливке первых опытных плавов не были определены количество и состав подаваемого газа, не было создано оборудование, которое обеспечивало бы синхронность проведения операций: открытие – закрытие затвора, подача газовой смеси; отсутствовали элементы безопасности подачи смеси газа и не отработано время операции прожигания канала. Для разливки опытных плавов требовалось несколько специалистов, причем действия между ними с трудом согласовывались. Потребовалось привлечение нескольких организаций различного профиля.

Совместно с МИСиС [4] было проведено математическое моделирование процесса потерь тепла расплавленного металла в разливочном канале (участок внутренней поверхности гнездового блока и ковшевого стакана). Было опре-

делено, что скорость охлаждения металла в канале превышает скорость охлаждения металла в ковше в 5 раз. Поэтому необходим дополнительный подвод тепла за счет подачи газовой смеси. Подобранны состав и количество газовой смеси, один из компонентов которой благодаря экзотермической реакции с элементами стали обеспечивает создание заданной среднетемпературой температуры по всему объему разливочного канала. Второй компонент газовой смеси на первом этапе частично снижает температуру металла, а в дальнейшем поддерживает необходимую температуру на заданном уровне, обеспечивая поперечную циркуляцию металла в канале. Разработанная газовая смесь в любом отношении не является взрывоопасной и способствует развитию конвекции за счет усиления циркуляции металла в ковше. В результате работы получены теплотехнические расчеты для шибберной системы, используемой в литейном производстве. Разработанные в процессе работы параметры, составы газовой смеси и конструкция узла устройства подогрева металла в разливочном узле являются интеллектуальной собственностью компании «Шиббер».

Разработана также автоматическая система подачи газовой смеси, сблокированная с механической и гидравлической системами привода, что является одним из главных факторов системы безопасности управления затвором. Благодаря разработанной системе все операции по перемещению шибберных плит и подогреву разливочного канала газом осуществляет один работник.

Разработка и совершенствование отдельных элементов технологии. При внедрении шибберной системы потребовалось решение отдельных элементов технологии разливки фасонного литья.

Открытие шибберного затвора. В черной металлургии в качестве стартовой смеси применяют различные материалы (дунит, спеченный магнезит, хромиты, песок, кокс и др.). Степень открытия составляет 50–60 %. Были разработаны специальные смеси, позволяющие обеспечить открытие затвора при малом диаметре канала с учетом длительности работы на установке печь-ковш и др. Смесь обеспечила 95 %-ное открытие затвора. Для обеспечения разливки рекомендованы отечественная и импортная стартовые смеси. При разливке фасонного литья в отличие от разливки на МНЛЗ не допускается попадание стартовой смеси внутрь формы. Был разработан новый способ отсечения стартовой смеси, не позволяющий ей попадать в форму и ухудшать качество слитка.

Обеспечение начала разливки. Начальный момент разливки представляет определенную сложность. После высыпания стартовой смеси начинается разливка металла. Большое значение имеет точность установки сталеразливочного ковша над разливочной воронкой литейной формы. Металл должен попасть в центр воронки (диаметр ~30 мм), чтобы не было разбрызгивания металла. При отклонении от центра разливки ухудшается качество слитка. При разливке с помощью стопора фиксация центра разливки происходит с помощью «зайчика», отраженного от нижней части стакана. При разливке с применением шиберного затвора необходима коррекция установки центра разливочного отверстия над воронкой, что требует определенного опыта у обслуживающего персонала. Для ликвидации этого явления на шиберный затвор установлен специальный индикатор — такое решение позволило обеспечить центровку и способствовало лучшему формированию струи металла.

Формирование струи металла. Технология разливки фасонного литья предполагает наличие «подкачек», представляющих собой закрытие стопором пробки с целью кратковременного прекращения подачи металла в форму. Далее при открытии стопора происходит резкая подача порции металла, что улучшает качество заполнения формы и способствует вытеснению воздуха из жидкого металла. При шиберной разливке количество «подкачек» резко снижается благодаря возможности регулирования скорости подачи расплавленного металла в зависимости от степени заполнения ковша. При необходимости можно перекрыть струю и после некоторой паузы открыть затвор для подачи определенной порции металла. При внедрении шиберной разливки обнаружен также положительный эффект, связанный с компактностью струи металла. Струя получается более плотной, чем при разливке с помощью стопорного устройства.

Организационно-технические мероприятия. Отсутствие внедрения шиберной разливки на фасонном литье во многом определяется сложностью организации производства с новыми схемами работы.

1. Необходимость установки литейных форм на одной линии с минимальным расстоянием между формами. Данное мероприятие является одним из факторов, влияющих на замерзание металла в разливочном канале. Расположение литейных форм на одной линии позволяет крановщику сократить время переезда и центровки ковша над разливочной воронкой. Необходимо на каждом

предприятии определить оптимальную схему разливки.

2. При проведении опытных разливок время переезда ковша с шибером в положение «Закрыто» составляло более 3 мин. Испытания позволили определить минимальное время открытия шиберного затвора без прожигания. В конце разливки, когда разливочный канал полностью прогрет, время замерзания металла в канале сокращается. При использовании современных автоматических разливочных линий имеется реальная возможность создания оптимальной технологии разливки с помощью шиберных систем.

Этап № 3. Продолжение работ по внедрению шиберной разливки в литейном производстве

В настоящее время многие литейные предприятия для улучшения качества отливок проводят реконструкцию литейного производства. В основном проводимые работы относятся к закупке оборудования для формовочных линий и изготовления литейных форм. Модернизации передела, связанного с разливкой металла, уделяется меньше внимания. В 2011–2012 гг. ООО «ПК «БСЗ» (г. Бежецк) предприняло попытку объединения усилий нескольких организаций в решении задачи по внедрению шиберной разливки в литейном производстве. Предприятие проводит подготовительные работы по приобретению установки ковш-печь с освоением шиберной заливки форм для комплекса АФЛ-1 в ЛЦ № 3. Для выполнения работ по изготовлению конструкторской документации на доработку сталеразливочного ковша ООО «ПК «БСЗ» привлекло ЗАО «Литафлом», которое является одним из ведущих научных организаций отрасли. Все вопросы внедрения шиберной системы, начиная от поставки оборудования, проведения пусконаладочных работ и внедрения, были поручены компании «Шибер».

Для выполнения работ в мартеновском цехе был подготовлен 8-т сталеразливочный ковш, на который был установлен шиберный затвор марки РУС-40-ФЛ-ПП, разработанный специально для данного предприятия. Кроме шиберного затвора ковш был укомплектован устройством для установки продувочных фурм, разработанным компанией «Шибер». На первом этапе промышленных испытаний были разлиты три плавки металла марки 20ГЛ и отработаны оптимальные режимы подачи газовой смеси для прогрева и прожигания ковшевого стакана. В результате первых испытаний были достигнуты удовлетворительные результаты:

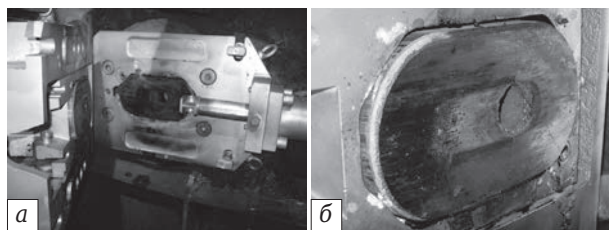


Рис. 6. Шиберный затвор РУС-40-ФЛ-ПП (а) и шиберная плита (б) после службы

— переезд с формы на форму происходил без подтека и прожигания канала кислородной трубкой;

— время переездов составляло от 20 до 90 с;

— число открытий и закрытий затвора 34–43;

— брак по отливкам балка надрессорная и рама боковая, залитым в ходе разливки, отсутствовал.

Были определены некоторые специфические особенности новой технологии. Так, при полном открытии шиберного затвора заливка форм отливок балка надрессорная происходила без перелива металла через край литниковой чаши. Для заливки форм отливок рама боковая и корпус автосцепки требовалось дросселирование струи металла.

В дальнейшем в течение 2011–2012 гг. на участке ручной формовки, который в настоящее время еще приспособлен к шиберной разливке, проводилось более 10 опытных разливок. При разливке дорабатывались отдельные элементы технологии, связанные с режимами дросселирования струи металла при заливке крупного и среднего литья, определением влияния шиберной разливки на химический состав и механические свойства стали и др. В настоящее время в мартеновском цехе ежемесячно проводится несколько разливок. Это позволяет до ввода в эксплуатацию строящегося ЛЦ-3, в котором предусмотрена установка форм на разливочной машине, получить необходимый опыт эксплуатации. На первой стадии внедрения разливку металла проводили специалисты компании «Шибер». В настоящее время после проведения технического обучения подготовлены несколько специалистов-разливщиков из персонала цеха. На рис. 6 показано состояние

шиберного затвора конструкции РУС-40-ФЛ-ПП и шиберной плиты после службы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в России была проведена разливка металла с помощью разработанных компаний «Шибер» шиберных затворов конструкций РУС-60М и РУС-40-ФЛ-ПП. Проведенные работы подтвердили принципиальную возможность внедрения шиберных систем в литейном производстве. Разработаны отечественное оборудование и огнеупоры мирового уровня для обеспечения комплексного внедрения шиберной разливки с учетом специфики разливки литейного производства. В процессе промышленных испытаний отработаны основные элементы технологии разливки металла в литейные формы. Уровень качества полученных отливок удовлетворяет требованиям основного потребителя. Для дальнейшего внедрения шиберной разливки в литейном производстве требуется набор статистических данных для получения положительного заключения от заказчиков металлопродукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кононов, В. А.** Перспективы применения шиберных затворов при разливке металла / В. А. Кононов, А. А. Алпатов, А. И. Соколов [и др.] // *Сталь*. — 2002. — № 3. — С. 59–65.
2. **Кононов, В. А.** Основные тенденции развития шиберных систем / В. А. Кононов, А. А. Алпатов, Н. В. Кононов, В. П. Василенко // *Новые огнеупоры*. — 2011. — № 5. — С. 24–28.
3. **Кононов, В. А.** Шиберные затворы для литейных ковшей / В. А. Кононов, А. А. Алпатов, Н. В. Кононов // *Литейное производство*. — 2000. — № 2. — С. 27–29.
4. **Кононов, В. А.** Эффективность внедрения шиберной разливки в литейном производстве / В. А. Кононов, В. П. Василенко, С. И. Герцык, М. В. Шишимиров // *Металлургия, машиностроение*. — 2009. — № 6. — С. 2–5.
5. **Кононов, В. А.** Эффективность внедрения шиберной разливки в литейном производстве / В. А. Кононов, В. П. Василенко, С. И. Герцык, М. В. Шишимиров // *Литейщик России*. — 2010. — № 11. — С. 23–26. ■

Получено 07.02.13

© В. А. Кононов, В. П. Василенко, А. А. Алпатов,
2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



<http://expo-asia.ru/>

Metal + Metallurgy China 2014 — Международная выставка по литью, металлообработке и промышленным печам и международная выставка металлургической промышленности

19–22 мая 2014 г. • г. Пекин, Китай

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

УДК 621.3.035.82:666.76.002.2

РАЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И АСПИРАЦИОННЫХ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ТРАКТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

Рассмотрены проектные и конструктивные решения технологических и аспирационных пылегазовых трактов и условия их эксплуатации, обеспечивающие высокую эффективность систем пылеулавливания в производстве огнеупоров и ряда строительных материалов. Приведены характеристики прокладочных материалов и распределительных устройств, обеспечивающих равномерную раздачу пылегазового потока по сечению газоходов. Особое внимание уделено выбору тягодутьевых устройств и теплоизоляции газоходов и пылеуловителей. Даны оригинальные номограммы для определения толщины изоляции газоходов и плоских поверхностей.

Ключевые слова: газоходы, пылеулавливание, вентиляторы, дымососы, высота дымовой трубы.

Аэродинамическое усовершенствование пылеуловителей, обеспечивающее более высокую степень извлечения пыли из пылегазового потока, требует особого внимания к организации, устройству и эксплуатации пылегазовых трактов и систем пылеудаления. Очевидно, что эффективность систем пылеулавливания значительно зависит от проектного и конструктивного решения пылегазовых трактов и условий их эксплуатации [1, 2]. Трассы газоходов необходимо проектировать по возможности кратчайшими, с минимальным числом фланцев, креплений и компенсаторов. На отдельные звенья их следует разбивать таким образом, чтобы обеспечить возможность изготовления и монтаж отдельных участков газо- и воздухопроводов в виде транспортабельных блоков.

Газоходы и воздухопроводы изготавливают из листовой стали марки ВСтЗкп2 или ВСтЗпсб толщиной 3 и 5 мм соответственно, фланцы — из листовой, полосовой или угловой стали, при $D_y = 500 \div 1400$ мм — из полосовой и угловой стали. При выборе сечения газоходов руководствуются следующим: пыль не должна оседать в газоходах и забивать их, гидравлическое сопротивление газоходов должно быть минимальным. Для выполнения этих условий линейная скорость пылегазового потока в газоходах ω_r должна превышать скорость свободного витания частиц дисперсной фазы $\omega_{с.в.}$, методика определения которой описана в публикации [3]. При обычно рекомендуемом диапазоне изменения значений ω_r ($8 < \omega_r < 16$ м/с) число Рейнольдса Re должно отвечать турбу-

лентному режиму движения пылегазового потока ($1,5 \cdot 10^4 < \omega_r < 1,5 \cdot 10^6$).

Устройство длинных горизонтальных газоходов, особенно подводящих запыленный газ к пылеуловителям, нецелесообразно. При значительной запыленности газов и необходимости применения длинных газоходов их выполняют с зигзагообразной конфигурацией в вертикальной плоскости с установкой ловушек в зонах невозможного выпадения пыли. В этом случае для уменьшения гидравлического сопротивления газоходов скорость движения газов в них снижают до 9–10 м/с. При передаче по газоходам влажного газа с температурой, близкой к точке росы, газоходы теплоизолируют. В соответствии с правилами техники безопасности теплоизолируют также газоходы для горячего газа. Рекомендуемые скорости газа (м/с) приведены ниже:

Газоходы общего назначения	10–12
В газоходах при входе в циклоны ЦН-15, ЦР, ЦР _к , СКЦН-34, ЛИОТ, СИОТ, ВЦНИИОТ	12–15
Батарейные расходы ПБЦ, БЦ, ПКН.	9–10
Группа циклонов ЦН	12–15
Пылеуловители инерционные ПИ-10, вихревые и дымососы-пылеуловители типа ДП	14–18
Скрубберы полые СП, насадочные СДК, гидродинамические ГДП и ПГП, пенные аппараты	12–14
Скрубберы Вентури ГВПВ, СВ-Кк, коагуляционные мокрые пылеуловители КМП и КЦМП	14–16
Фильтры рукавные ФРКИ, ФРКДИ, ФР, ФРОС, УРФМ-ПМ, фильтры с зернистыми слоями	12–14

На газоходах с температурой пылегазового потока выше 70 °С предусматривают компенсаторы температурных удлинений. Компенсаторы устанавливают также на газоходах перед дымососами и вентиляторами во избежание передачи усилий на механизмы и вибраций от механизмов на газоходы.

Эффективность пылеулавливания во многом зависит от степени неравномерности распределения пылегазового потока как по отдельным секциям многосекционного аппарата, так и по рабочему сечению самого аппарата. Степень неравномерности распределения газа неодинаково влияет на эффективность пылеуловителей различных типов. Наибольшее влияние она оказывает на аппараты с малым гидравлическим сопротивлением: пылеосадительные камеры, простейшие инерционные пылеуловители, прямооточные циклоны, полые форсуночные скрубберы и т. д. Менее чувствительны аппараты, у которых гидравлическое сопротивление находится в пределах 400–800 Па. К ним относятся группы циклонов, батарейные циклоны, пенные аппараты, насадочные скрубберы СДК, гидродинамические промыватели ГДП и ПДП. Эффективность фильтров и высоконапорных труб Вентури еще меньше зависит от степени неравномерности распределения пылегазового потока [4].

Направляющие устройства особенно эффективны в случае расширяющихся газоходов (разделительные стенки в диффузорах) и в изогнутых коленах (направляющие лопатки в коленах и на повороте струй). Принудительное выравнивание при помощи сеток, решеток и тому подобных устройств эффективно во всех случаях, но не всегда желательно по конструктивным либо эксплуатационным соображениям.

Если отношение площади сечения рабочей камеры аппарата F_k к площади сечения подводящего трубопровода F_0 невелико ($F_k/F_0 \leq 3$) и допустима небольшая степень неравномерности, то подвод потока может быть осуществлен при помощи диффузора с углом раскрытия α , равным 8–10°, при круглом сечении и 12–15° при прямоугольном сечении с углом расширения сечения в одной плоскости [5].

Подводящие участки часто выполняют в виде колена. В этом случае следует устанавливать направляющие лопатки — профилированные или упрощенные, т. е. изогнутые по поверхности цилиндра. Наиболее выгодным углом установки лопаток, т. е. углом между направлением потока и хордой лопатки, в случае равномерного распределения скоростей в набегающем потоке для колена с постоянным

поперечным сечением можно считать $\alpha \approx 48^\circ$ [4, 6]. Если есть основания опасаться отложения пыли на внутренней поверхности криволинейных лопаток, то допускают некоторое ухудшение распределения скоростей и применяют направляющие лопатки в виде пластин. Для пластин предпочтительно равномерное размещение по сечению. Угол атаки пластин берут равным примерно 85°.

Вместо колен с крутым поворотом целесообразно использовать колена с плавным поворотом с большим радиусом закругления при $r/b_0 > 1,0$, где r — радиус закругления; b_0 — диаметр (ширина) колена. При невозможности применения больших радиусов закругления устанавливают направляющие лопатки. Число лопаток n выбирают по данным, приведенным ниже:

r/b_0	< 0,1	0,1–0,4	0,4–1,0	1,0
n	4–3	2	1	0

Для установок, состоящих из группы параллельно работающих пылеулавливающих аппаратов, к которым подводится поток от общего коллектора или из которых собирается в общий коллектор, важно обеспечить равномерное газораспределение по всем аппаратам. Это условие соблюдается при правильном выборе форм и размеров, раздающих и собирающих коллекторов, которые бывают постоянного и переменного сечения (конусные), клиновидные. Поток газа выходит или всасывается в них через отдельные отверстия в боковых стенах, расположенных по длине коллектора. Раздача потока по аппаратам коллекторами переменного сечения всегда приводит к значительно более равномерному распределению скоростей (расходов). Поэтому там, где это возможно, им следует отдавать предпочтение перед раздающими коллекторами постоянного сечения, особенно если последние больших размеров. При этом уменьшение сечения раздающего коллектора должно быть пропорционально уменьшению расхода газов по его длине.

Симметричный подвод потока к коллектору или отвод от него резко улучшает степень равномерности распределения скоростей (расходов) по ответвлениям. При этом чем больше число подводящих и отводящих отверстий, тем выше равномерность распределения скоростей. При спаренных коллекторах для получения равномерного расхода через боковые ответвления можно использовать ответвления с переменными диаметрами.

Установкой регулирующих лопаток шибров на входе или выходе из аппарата можно

получить практически равномерное распределение скоростей по всем секциям аппаратов. Окончательно устанавливая лопасти под оптимальными углами целесообразно не на входных шиберах, а на шиберах, помещенных на выходе из аппарата. Образование отложений пыли на лопастях шиберов может нарушить достигнутую первоначально равномерность распределения скоростей как по сечению аппарата, так и по отдельным аппаратам. Однако вероятность образования таких отложений на лопастях шиберов после пылеулавливания аппаратов мала.

Эффективность пылеулавливания в значительной мере зависит от выбора и условий эксплуатации тягодутьевых устройств, обеспечивающих движение пылегазового потока от технологических агрегатов к пылеуловителям. В огнеупорном производстве в качестве тягодутьевых устройств наиболее перспективны вентиляторы ЦП7-40, Ц6-30, ВВД, ВМ, ВГДН, ВДН и дымососы ДН [2, 4, 6].

Центробежные вентиляторы ЦП7-40 предназначены для систем пылеочистных установок и пневмотранспорта при гидравлическом сопротивлении сети не более 4000 Па. Их поставляют на общей раме с электродвигателем (согласно заказ-наряду). Каждый вентилятор можно использовать для различных видов работы при комплектовании разными по мощности электродвигателями в пределах аэродинамических характеристик. Вентиляторы имеют бронированные лопадки и могут быть использованы при температуре газа до 200 °С. Центробежные вентиляторы Ц6-30 предназначены для транспортировки газов, содержащих неабразивные или липкие вещества концентрации до 0,5 кг/м³.

Центробежные вентиляторы высокого давления ВВД № 8, 9 и 11 предназначены для перемещения при температуре до 100 °С воздуха и газов, не содержащих липких веществ. Содержание пыли в среде при применении ВВД № 11 не должно превышать 150 мг/м³. Вал вентилятора ВВД № 11 приводится во вращение от электродвигателя эластичной муфтой, а вентиляторов ВВД № 8 и 9 — ременной передачей или эластичной муфтой. Рабочее колесо вентилятора имеет 12 лопаток, изогнутых по направлению вращения колеса.

Мельничные вентиляторы ВМ15, ВМ16, ВМ17, ВМ18, ВМ18А, ВМ19А, ВМ20А предназначены для работы при температуре газов до 200 °С. Рабочие колеса вентиляторов ВМ18А, ВМ19А, ВМ20А изготавливают из низколегированной стали 10ХСНД. Мельничные вентиляторы выпускают правого и левого вращения, они

могут работать при запыленности газов до 80 г/м³. Подшипники вентиляторов имеют жидкую картерную смазку. Для охлаждения масла (при температуре газов > 70 °С) в корпус подшипников вставляют змеевик водяного охлаждения. Расход воды с температурой не выше 20 °С для вентиляторов ВМ18А, ВМ19А, ВМ20А должен составлять не менее 0,7 м³/ч, для всех остальных — не менее 0,5 м³/ч.

Дутьевые вентиляторы ВДН благодаря достаточно высоким значениям развиваемого давления, а также широкой номенклатуре по производительности применяют в системах пылеулавливания. Вентиляторы горячего дутья ВГДН отличаются от дутьевых только конструктивными особенностями, позволяющими применять их при температуре газов до 400 °С.

Центробежные дымососы одностороннего всасывания ДН длительно работают при температуре до 250 °С. От вентилятора ВДН они отличаются увеличенной толщиной лопаток рабочего колеса, наличием накладок у корня этих лопаток, брони по образующей улитки и обязательного водяного охлаждения подшипников. Технические и аэродинамические характеристики вентиляторов и дымососов приведены в публикации [5].

При выборе вентилятора или дымососа и электродвигателя к нему предварительно определяют следующие показатели:

1) производительность Q (для малозапыленного воздуха дымовых газов $Q = Q_p$);

2) полный напор H для условий, отличающихся от стандартных, причем

$$H = H_p (273 + t) / (273 + t_x) \cdot 101,3 / B \rho_v / \rho_r, \quad (1)$$

где t — температура воздуха или газа, °С; t_x — температура, для которой дана характеристика машины, °С; B — барометрическое давление в зоне установки вентилятора, кПа; ρ_r — плотность газа при $t = 0$ °С и $B = 101,3$ кПа, кг/м³; ρ_v — плотность воздуха при тех же условиях, кг/м³;

3) потребляемую мощность на валу электродвигателя N , которую при перемещении пылегазового потока рассчитывают по формуле

$$N = 1,2 QH(\eta_v \eta_n), \quad (2)$$

где η_v — КПД вентилятора (принимается по характеристикам); η_n — КПД передачи, зависящий от рода передачи ($0,9 \leq \eta_n \leq 1,0$);

4) установленную мощность электродвигателя N_y :

$$N_y = K_3 N, \quad (3)$$

где K_3 — коэффициент запаса мощности (для центробежных вентиляторов при измерении

Формулы для пересчета характеристик вентиляторов

По ρ	По n	По D
$Q_2 = Q_1$	$Q_2 = Q_1(n_2/n_1)$	$Q_2 = Q_1(D_2/D_1)^2$
$H_2 = H_1(\rho_2/\rho_1)$	$H_2 = H_1(n_2/n_1)^2$	$H_2 = H_1(D_2/D_1)^2$
$N_2 = N_1(\rho_2/\rho_1)$	$N_2 = N_1(n_2/n_1)^3$	$N_2 = N_1(D_2/D_1)^3$
$\eta_2 = \eta_1$	$\eta_2 = \eta_1$	$\eta_2 = \eta_1$

N от 0,5 до 5 кВт и более K_3 меняется от 1,5 до 1,1).

Мощность электродвигателя принимают равной или ближайшей большей по каталогу электродвигателей. Тип электродвигателя выбирают с учетом его эксплуатации. Характеристики вентилятора на другие обороты и размеры, плотности газа пересчитывают по формулам, приведенным в таблице [5]. При подборе тягодутьевых машин запас на производительность принимают 10 % и на требуемое давление 21 %. Если один вентилятор не обеспечивает требуемой производительности, то допускается установка параллельно работающих вентиляторов. Для определения их производительности при заданной характеристике сети строят график их суммарной характеристики и находят точку пересечения ее с характеристикой сети. При неправильном выборе возможно, что второй вентилятор не увеличит производительности, так как первый вентилятор будет прогонять часть газа через второй вентилятор. Если достигнуть требуемого давления от одного вентилятора невозможно, для повышения давления допускается установка двух последовательно работающих вентиляторов. Для определения получаемого эффекта графически находят точку пересечения характеристик сети и суммарной мощности двух вентиляторов.

Для рассеивания очищенных газов в атмосфере при умеренной производительности типичных в огнеупорном производстве пылеуловителей применяют металлические трубы высотой до 45 м. Моспроектom выпущен альбом типовых металлических труб диаметром 400, 500, 630, 800 и 1000 мм. Первые три диаметра труб имеют высоту 20 и 30 м, последние 20, 30 и 45 м. Трубы раскрепляют оттяжками, расположенными в зависимости от высоты трубы в один или два яруса. В каждом ярусе устанавливают по три стяжки. Максимально допустимая температура отходящих газов в случае применения металлических труб без футеровки составляет 350 °С.

Для защиты металлических труб от коррозии при отводе серосодержащих дымовых газов внутреннюю поверхность труб в период

монтажа, когда они находятся в горизонтальном положении, покрывают двумя слоями жаро- и коррозионно-стойкого лака ФГ-9. Наружную сторону труб и оттяжку покрывают двумя слоями того же лака с добавлением 5 % алюминиевой руды.

При проектировании новых предприятий минимальную высоту дымовой трубы H рассчитывают по формуле

$$H = \sqrt{AQF_{m\alpha} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) / \left[(\text{ПДК} - c_{\Phi}) \cdot (V\Delta T)^{1/3} \right]}, \quad (4)$$

где A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия неблагоприятного вертикального и горизонтального рассеивания загрязняющего вещества в атмосфере; Q — количество вредного вещества (или пыли), выбрасываемого в атмосферу, г/с; F — безразмерный коэффициент, учитывающий осаждение загрязняющего вещества в воздухе; m , n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; α — коэффициент временного осреднения, характеризующий зависимость РВД от времени осреднения; ρ/ρ_0 — показатель вытянутости розы ветров для конкретного района; ПДК и c_{Φ} — предельно допустимая и фактическая концентрации вредного вещества (или пыли), выбрасываемого в атмосферу, мг/м³; V — расход выходящей из устья трубы газовой смеси, м³/с; ΔT — разность между температурами выбрасываемой газовой смеси T_r и окружающего атмосферного воздуха T , °С.

В зависимости от условий принимают следующие значения коэффициента F :

- для газообразных веществ и высокодисперсных аэрозолей, скорость осаждения которых не превышает 0,05 м/с, $F = 1$;
- для крупнодисперсной пыли, если средний эксплуатационный коэффициент очистки не более 90 %, $F = 2$; если 75–90 %, $F = 2,5$; если менее 75 %, $F = 3$.

Величину $\Delta T = T_r - T_b$ определяют, исходя из среднегодовой или среднемесячной температуры выбрасываемой газовой смеси T_r по действующим для предприятий технологическим и санитарным нормативам либо по данным измерений. При определении T_r учитывают подсос воздуха и охлаждение выброса в случае использования мокрой пыле- и газоочистки. Температуру окружающего воздуха T_b принимают согласно действующим нормам.

При расчетах высоты трубы в первом приближении произведение коэффициентов m , n

полагают равным 1 и по формуле (4) рассчитывают H . Затем по найденному значению H определяют вспомогательные параметры f и V_m , причем

$$f = 10^3 w D / \left(\frac{H^2}{\Delta T} \right), \quad (5)$$

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{V \Delta T / H}, \quad (6)$$

где w — скорость выхода газовой смеси из устья трубы, м/с; D — диаметр устья трубы, м.

Коэффициент m рассчитывают по формуле [5]

$$m = 1 / \left(0,67 + 0,1 f^{\frac{1}{2}} + 0,3 f^{\frac{1}{3}} \right). \quad (7)$$

Коэффициент n определяют по следующим соотношениям: при $V_m \leq 0,3$ м/с $n = 3$, при $0,3 < V_m \leq 2$ $n = 3 - \sqrt{(V_m - 0,3) \cdot (4,36 - V_m)}$, при $V_m > 2$ м/с, $n = 1$.

Если произведение найденных коэффициентов m и n не равно единице, то H необходимо уточнять по рекуррентной формуле

$$H_{i+1} = H_i \sqrt{m_i n_i / (m_{i-1} n_{i-1})}, \quad (9)$$

где m_i , n_i — безразмерные коэффициенты, соответствующие H_i ; m_{i-1} , n_{i-1} — безразмерные коэффициенты, соответствующие H_{i-1} .

В публикации [5] показано, что $\alpha = 1/13$ при среднегодовом ПДВ и $\alpha = 1/2$ при среднесуточном ПДВ. Для всех труб предусматривают систему молниезащиты, создаваемую на основе Временных указаний по проектированию и

устройству молниезащиты зданий и сооружений (СН 305–65).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Krasovickij, I. V.** Aerodynamische Verfahren zur Erhöhung der Leistungserzeugung der Entstaubung : monographia / I. V. Krasovickij, P. Baltrenas, B. G. Kolbeschkin [et al.]. — Vilnius : Technika, 2006. — 352 S.
2. **Энтин, В. И.** Аэродинамические способы повышения эффективности систем и аппаратов пылеулавливания в производстве огнеупоров / В. И. Энтин, Ю. В. Красовицкий, Н. М. Анжеуров [и др.]. — Воронеж : Истоки, 1998. — 362 с.
3. **Красовицкий, Ю. В.** Обеспыливание промышленных газов в фаянсовом производстве / Ю. В. Красовицкий, А. В. Малинов, В. В. Дуров. — М. : Химия, 1994. — 272 с.
4. **Красовицкий, Ю. В.** Новые конструктивные решения зернистых фильтров и перспективы их применения при тепловой сушке в химической и пищевой технологиях / Ю. В. Красовицкий, Р. А. Важинский, Н. Н. Лобачёв [и др.] // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та, 2008. — Т. 14. — С. 608–614.
5. **Швыдский, В. С.** Очистка газов : справочное пособие / В. С. Швыдский, М. Г. Ладыгичев. — М. : Теплоэнергетика, 2002. — 640 с.
6. **Красовицкий Ю. В.** Энергетический анализ и выбор энергосберегающих параметров импульсной регенерации фильтров, улавливающих пыль из сушильного агента / Ю. В. Красовицкий, Р. А. Важинский, Н. Н. Лобачёв [и др.] // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 14, № 3. — С. 605–607. ■

Получено 11.06.13

© Ю. В. Красовицкий, Е. В. Архангельская,
2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



15th CHINA (GUANGZHOU) INT'L EXHIBITION

ON METAL AND METALLURGY — 15-я китайская международная выставка металлов и металлургии

Специализация:

- Металлы и металлургия
- Оборудование производства и обработки толстолистового металла, труб, проволоки и др.
- Нержавеющие стали, метизы, пружины
- Обработка листового металла, прессового и штамповочного оборудования
- Отливки и литье + технологический симпозиум
- Промышленные печи
- Термообработка
- Оборудование автоматизации металлургического производства

16–18 июня 2014 г.
г. Гуанчжоу, Китай

<http://www.julang.com.cn/english/index.asp>

К 70-ЛЕТИЮ ЕВГЕНИЯ ИВАНОВИЧА СУЗДАЛЬЦЕВА



11 ноября 2013 г. исполняется 70 лет начальнику лаборатории ГНЦ РФ ОАО «ОНПП «Технология», доктору технических наук, лауреату двух премий Правительства России, национальной премии Рособоронэкспорта, премии имени К. Э. Циолковского, заслуженному изобретателю России, почетному машиностроителю Евгению Ивановичу Суздальцеву.

Е. И. Суздальцев родился в поселке Титово Пензенской области. С 1962 г. учился в Пензенском педагогическом институте, по окончании которого некоторое время работал на кафедре теоретической физики этого института. С 1970 г. после переезда в г. Обнинск и по настоящее время Евгений Иванович работает в ГНЦ РФ ОАО «ОНПП «Технология». Начав свою трудовую деятельность на предприятии в качестве инженера, он прошел путь до должности начальника одной из ведущих лабораторий предприятия.

Основное направление научной и производственной деятельности Е. И. Суздальцева — разработка высокотермостойких радиопрозрачных материалов и технологий изготовления изделий из них, внедрение их результатов в опытное и серийное производство. Комплексный подход к решению поставленных задач, что является отличительной особенностью его успешной деятельности, состоит в том, что проводятся глубокие подготовительные проработки и обширные исследования процессов, составляющих основу технологий, разработка новых материалов и новых способов получения изделий, всестороннее исследование свойств материалов и изделий в условиях, близких к эксплуатационным.

Е. И. Суздальцеву принадлежит приоритет в разработке многих новых керамических материа-

лов и технологий — высокоплотной кварцевой керамики, безусадочной керамики, слоистой кварцевой керамики, кварцевой керамики с повышенной диэлектрической проницаемостью, термоэрозивной устойчивостью, сподуменовый стеклокерамики, технологий получения высокодисперсных порошков кварцевого и высокоглиноземного стекла, технологий изготовления обтекателей из кварцевой керамики и сподуменовый стеклокерамики. Созданы научные основы синтеза высокотермостойких радиопрозрачных стеклокристаллических материалов и технология изготовления изделий из них, позволившие на рубеже XX–XXI веков обеспечить импортозамещение ситалловых обтекателей для комплектации современной ракетной техники.

В 1980 г. Е. И. Суздальцев защитил кандидатскую диссертацию «Исследования по синтезу материалов и технологии получения материалов изделий из кварцевой керамики». В 2002 г. — докторскую диссертацию «Синтез высокотермостойких радиопрозрачных стеклокристаллических материалов и разработка технологии изготовления на их основе обтекателей летательных аппаратов».

В 1998 и 2007 гг. Е. И. Суздальцев стал лауреатом премий Правительства Российской Федерации. За высокий уровень научных работ и исследований он избран действительным членом Академии инженерных наук РФ, членом-корреспондентом Российской инженерной академии. Е. И. Суздальцев является членом диссертационного совета при Институте металлургии и материаловедения РАН им. А. А. Байкова, членом редакционных коллегий журналов «Новые огнеупоры» и «Огнеупоры и техническая керамика».

За многолетнюю плодотворную изобретательскую деятельность Е. И. Суздальцеву было присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель Российской Федерации».

Научно-исследовательская лаборатория под руководством Е. И. Суздальцева успешно решает как научные, так и технологические задачи, разрабатывает и внедряет в производство новые материалы и процессы, проводит исследования, направленные на улучшение качества продукции и повышение эффективности производства. Свой большой опыт и знания Е. И. Суздальцев передает коллегам по работе и молодым специалистам. Он является руководителем дипломных проектов выпускников вузов и процесса подготовки специалистов высшей квалификации.

Коллеги и друзья, редакционная коллегия и редакция журнала «Новые огнеупоры» сердечно поздравляют Евгения Ивановича Суздальцева с 70-летием и желают ему крепкого здоровья и новых творческих успехов.

Л. А. Чевыкалова¹, К. Т. Н. И. Ю. Келина¹, И. Л. Михальчик¹, А. В. Аракчеев¹,
К. Т. Н. Л. А. Плясункова¹, А. А. Касимовский², К. С. Матюшин²

¹ ОАО «ОНПП «Технология», г. Обнинск Калужской обл., Россия

² ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», Москва, Россия

УДК 621.763.046.44

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДИБОРИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ SPS

Представлены результаты экспериментальных исследований по разработке ультравысокотемпературной керамики на основе диборида циркония (ZrB_2) с различными активаторами спекания. Керамика получена методом спекания в разряде плазмы.

Ключевые слова: ультравысокотемпературная керамика (УНТС), диборид циркония, карбид кремния, нитрид кремния, импульсное плазменное спекание (SPS), микроструктура, микротвердость.

ВВЕДЕНИЕ

Ранее [1, 2] были показаны состояние и перспективы разработки ультравысокотемпературных керамических материалов для применения в гиперзвуковых авиакосмических объектах. Настоящая работа является первым практическим результатом исследований авторов настоящей статьи в этой области.

Жаростойкие бориды и карбиды, такие как ZrB_2 , ZrC , HfB_2 , HfC и TaC , имеют экстремально высокую температуру плавления ($> 3000^\circ C$), хорошую химическую и физическую стабильность при повышенных температурах на воздухе и поэтому являются кандидатами для применения в конструкционных целях при температурах выше $1800^\circ C$. Среди этих видов ультравысокотемпературной керамики (УНТС) керамика на основе ZrB_2 обладает наименьшей теоретической плотностью ($6,09 \text{ г/см}^3$) и поэтому представляет интерес для изготовления передних кромок гиперзвуковых летательных аппаратов. Наряду с высокой температурой плавления керамика ZrB_2 обладает повышенной стойкостью к термическому удару благодаря высокой теплопроводности, которая составляет от 65 до $135 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Керамика ZrB_2 , содержащая SiC, имеет повышенную стойкость к окислению в интервале $1000 - 1800^\circ C$ благодаря образованию менее летучих соединений на основе диоксида кремния [3, 4].

При получении УНТС к качеству исходного сырья предъявляются высокие требования, особенно при синтезе из готовых компонентов. За рубежом, как правило, для этих целей применяют тонкие высокочистые микронные порошки, например Grade B производства фирмы «H. C. Starck Ltd», Германия, с удельной

поверхностью частиц $1 \text{ м}^2/\text{г}$, с максимальным содержанием примесей — до 2,7 мас. % (C 0,25, O 2, N 0,25, Fe 0,1, Hf 0,2), с размерами частиц 0,1–8,0 мкм [4, 5]. Отечественная промышленность в настоящее время порошки с такими свойствами не производит, поэтому в работе использовали порошки производства Донецкого химического комбината.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исходные материалы

В качестве исходного сырья использовали микронные порошки ZrB_2 , представляющие собой агломераты неопределенной формы размерами 5–20 мкм, состоящие из частиц размерами 0,5–4,0 мкм (рис. 1). Для получения материалов в качестве спекающих добавок использовали два вида порошков: карбид кремния (образцы 1.1–1.3 и 2.1–2.3), который выступает как замедлитель роста зерна, и нитрид кремния (образцы 1–3) — как наноактиватор спекания.

Карбид кремния вводили в количестве 20, нитрид кремния 5 мас. %. Использовали по-

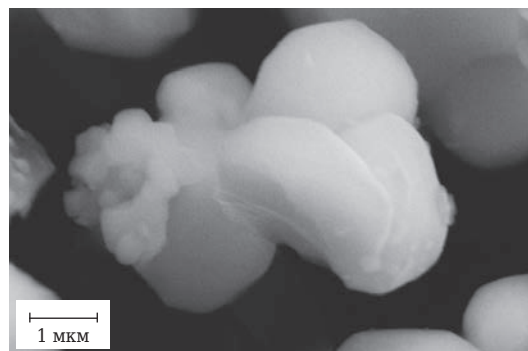


Рис. 1. Микроструктура порошка ZrB_2

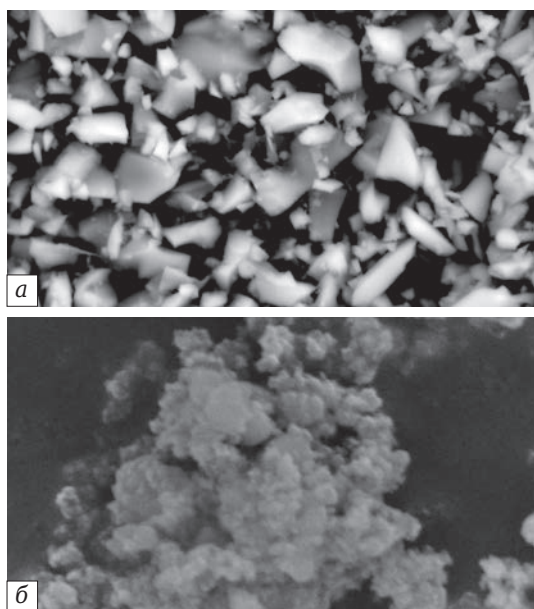


Рис. 2. Микроструктура порошков — активаторов спекания: а — SiC, $\times 10000$; б — Si_3N_4 (ПХС), $\times 20000$

рошки SiC производства ОАО «Запорожский абразивный комбинат» с размером частиц около 3 мкм и удельной поверхностью 11,5 м²/г (рис. 2, а); плазмохимические (ПХС) ультрадисперсные порошки нитрида кремния производства ОАО «Neomat», г. Рига, представляющие собой агломераты округлой и неопределенной формы размерами 5–40 мкм и состоящие из частиц размерами 0,05–0,10 мкм (рис. 2, б). Разрушение агломератов и смешение исходных компонентов $\text{ZrB}_2 + \text{SiC}$ и $\text{ZrB}_2 + \text{Si}_3\text{N}_4$ проводили на валковой мельнице шарами из Al_2O_3 в бензине в течение 48 ч для получения однородного распределения добавок.

Изготовление образцов

Образцы спекали в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» на установке FCT-HP D 25 импульсного

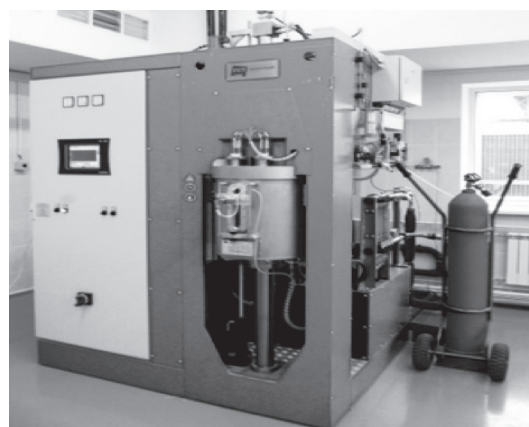


Рис. 3. Установка FCT-HP D 25 импульсного плазменного спекания

плазменного спекания — SPS (рис. 3). В этой установке реализован один из лучших методов компактирования тонких керамических порошков посредством пропускания через образец коротких импульсов постоянного тока 8000 А с циклом нагрева до 1900 °С и наружного механического давления в графитовой пресс-форме с выдержкой не более 10 мин. Процесс SPS проводили в формах диаметром 20 мм в вакууме с усилием прессования 20 кН.

Влияние длительности спекания и уровня температур систематически исследовали многие авторы при получении материалов [6, 7]. Основываясь на известных данных о спекании аналогичных систем и характеристиках исходных порошков, параметры процесса SPS, такие как максимальная температура, скорость и время выхода на заданную температуру, время выдержки (импульсное), варьировали в широких пределах (табл. 1).

На первом этапе исследований нагрев композита $\text{ZrB}_2 + \text{SiC}$ проводили с одинаковыми скоростью нагрева (260 град/мин), временем выхода на заданную температуру (5 мин 30 с) и

Таблица 1. Режимы спекания образцов ZrB_2

Образец	Температура, °C		Выход на заданную температуру		Время выдержки (импульсное), мин
	заданная	достигнутая	скорость нагрева, град/мин	длительность нагрева	
ZrB ₂ –20 % SiC					
1.1	1750	1760	260	5 мин 30 с	3
1.2	1825	1842	262	5 мин 30 с	3
1.3	1900	1914	264	5 мин 30 с	3
2.1	1900	1904	100	14 мин 30 с	10
2.2	1900	1906	100	14 мин 30 с	20
2.3	1900	1916	264	5 мин 30 с	10
ZrB ₂ –5 % Si ₃ N ₄					
1	1750	1770	260	5 мин	5
2	1850	1869	262,5	5 мин 20 с	5
3	1850	1859	100	14 мин	10

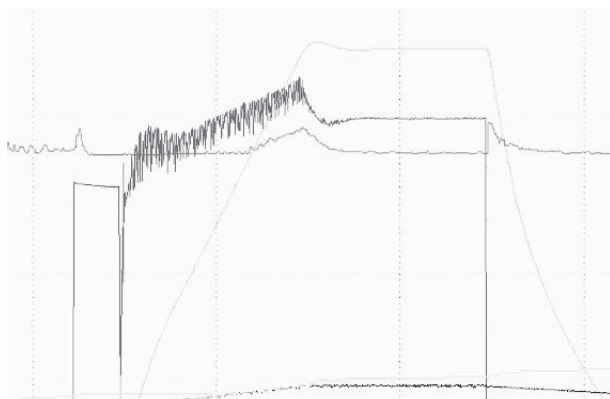


Рис. 4. График типового режима SPS

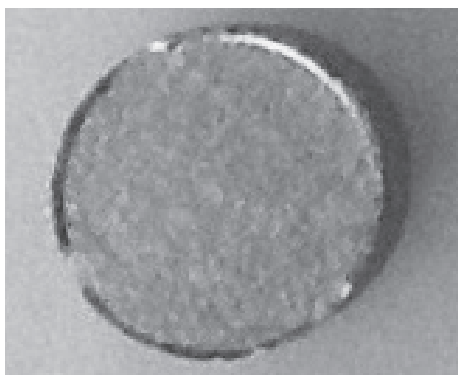


Рис. 5. Внешний вид образца 1.1 после спекания

выдержкой на импульсном режиме (3 мин) при трех температурах — 1750, 1825 и 1900 °С соответственно. Суммарно длительность режима составляла 15–20 мин, что более чем в 10–15 раз меньше, чем при использовании традиционного метода горячего прессования. Характерный режим спекания и внешний вид образца 1.1 после спекания показаны на рис. 4 и 5.

Методы исследований

Микроструктуру образцов исследовали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии с дополнительным картированием элементов по поверхности образцов. Полированные поверхности и сколы образцов изучали с помощью оптического металлографического микроскопа «Neophot-30», сканирующего электронного микроскопа EVO-40XVP по методике ПМ 596.1412-2006 и ЭДС «Roentec Quantax QS1» (129 эВ). Рентгенофазовый анализ проводили на установке ДРОН-6 с использованием комплекса программ PDWin (излучение $\text{Cu K}\alpha$, фильтр Ni). Плотность и пористость определяли гидростатическим взвешиванием. В ОАО «ОНПП «Технология» микротвердость по Виккерсу определяли на микротвердоме-ре ПМТ-3М при нагрузке 150 г, в ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» — на приборе «Micromet

5114» с использованием пирамиды Виккерса при нагрузке 2 кг (19,62 Н). Длительность нагрузки во всех испытаниях составляла 15 с. Критический коэффициент интенсивности напряжений K_{Ic} образцов измеряли методом микроиндентирования. Длина с радиальных трещин, образующихся при микроиндентировании материала, связана с параметром K_{Ic} выражением [8, с. 245]

$$K_{Ic} = 0,016(E/H_{\mu})^{1/2}(P/c^{3/2}),$$

где E — модуль Юнга; H_{μ} — микротвердость; P — нагрузка микроиндентирования; c — среднее расстояние от центра отпечатка до конца радиальной трещины.

Для расчета K_{Ic} образцов использовали табличные значения модуля Юнга для ZrB_2 : $E = 496$ ГПа [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показали исследования, при прочих равных условиях повышение температуры спекания до 1900 °С положительно сказывается на увеличении плотности композита с 3,97 до 4,81 г/см³, при этом открытая пористость уменьшается от 15,9 до 0,07 % (табл. 2). Дальнейшее варьирование указанными выше технологическими показателями SPS-процесса привело к повышению плотности образца 2.2 до 4,97 г/см³ (теоретическая плотность 5,37 г/см³).

Для материала состава $\text{ZrB}_2\text{--Si}_3\text{N}_4$ максимальное значение плотности, равное 5,32 г/см³ (теоретическая плотность 5,91 г/см³), достигнуто в образце 2 при 1850 °С (скорость нагрева 260 град/мин, время выхода на заданную температуру 5 мин и выдержка на импульсном режиме 5 мин). При этом следует отметить, что для всех образцов независимо от температуры спекания характерна практически нулевая пористость (0,04–0,08 %). Это обуславливает возможность в дальнейшем в данной системе уменьшить содержание Si_3N_4 от 5 до 2 %, что, в свою очередь, согласуется с литературными данными [10].

Таким образом, на примере двух систем показано, что при использовании порошков ZrB_2 независимо от типа, количества активатора спекания и технологических факторов SPS-процесса получается керамика плотностью не более 90 % от теоретической. При этом значения открытой пористости составляют 0,014–0,040 %, что, возможно, свидетельствует о повышенном содержании легкоплавких примесей.

Результаты рентгенофазового анализа показали присутствие во всех образцах ярко вы-

Таблица 2. Свойства керамических материалов на основе ZrB_2

Образец	Плотность, г/см ³	Открытая пористость, %	Микротвердость* ¹ HV ₁ , ГПа	Микротвердость* ² , ГПа	Средняя длина трещин, мкм	K _{1с} , МПа · м ^{1/2}
<i>ZrB₂–20 % SiC</i>						
1.1	3,97	15,9	11,8	10,8	56,2	5,9
1.2	4,76	0,14	13,7	16,9	56,2	4,0
1.3	4,81	0,07	18,1	18,4	60,2	3,5
2.1	4,88	0,08	10,9	11,2	49,6	5,9
2.2	4,97	0,04	14,5	18,0	56,5	4,0
2.3	4,96	0,12	15,3	17,1	49,1	4,9
<i>ZrB₂–5 % Si₃N₄</i>						
1	5,27	0,04	9,5	10,8	31,6	5,9
2	5,32	0,04	10,1	12,0	48,1	6,0
3	5,27	0,08	10,8	11,9	51,7	5,5

*¹ Данные ОАО «ОНПП «Технология» на приборе ПТМ-3М.
*² Данные ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» на приборе «Micromet 5114».

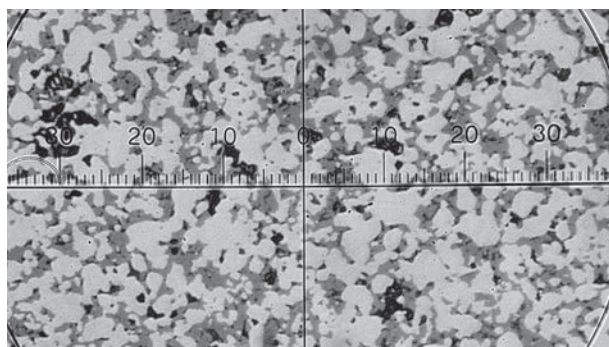


Рис. 6. Микроструктура образца 2.2 керамики состава ZrB_2 –SiC; 1 дел. = 4 мкм

раженной фазы гексагонального ZrB_2 . В образцах 1.1–1.3 и 2.1–2.3 в малом количестве присутствует также гексагональный α -SiC; в образцах 1–3 наблюдаются следы соединений моноклинного ZrO_2 и гексагонального BN.

Исследования полированных поверхностей образцов (шлифов) состава ZrB_2 –SiC методом оптической микроскопии показали, что независимо от параметров технологического процесса микроструктура керамики состоит

из агломератов неопределенной морфологии размерами 10–60 мкм и отдельных зерен (или мелких агломератов) размерами 1–4 мкм (рис. 6). Между агломератами и зернами распределяется более хрупкая межзеренная фаза, которая частично выкрашивается в процессе подготовки полированной поверхности шлифа (рис. 7, а, б).

Микроструктура образцов состава ZrB_2 –Si₃N₄ также представлена агломератами неопределенной морфологии, состоящими из более мелких по сравнению с образцами состава ZrB_2 –SiC зерен размерами 4–24 мкм, и отдельными зернами округлой формы размерами 1–4 мкм (рис. 7, в). По границам агломератов и зерен наблюдаются раковины, образовавшиеся вследствие выкрашивания межзеренной фазы в процессе подготовки шлифов или мелких частиц матрицы.

По данным сканирующей электронной микроскопии в образце 1.1 состава ZrB_2 –SiC наблюдаются сообщающиеся и кольцевые поры по границам зерен и агломератов (рис. 8, а), которые по мере повышения температуры спекания (образец 1.3) изменяются в сторону

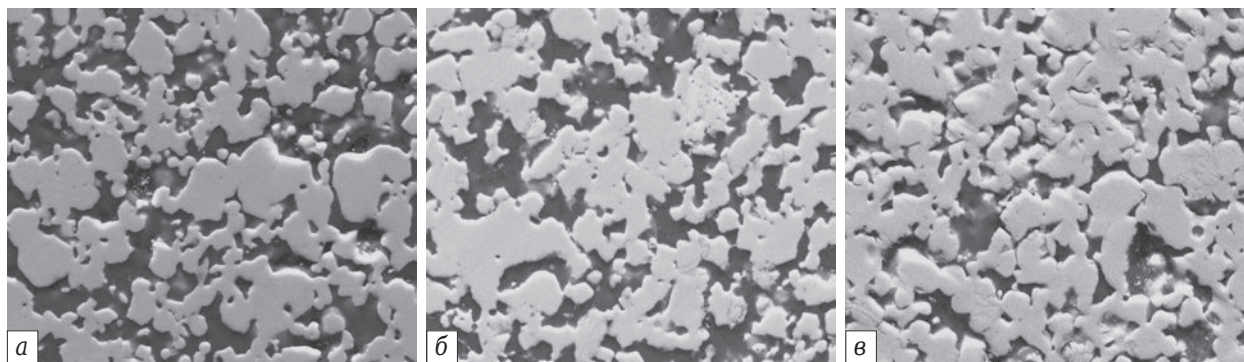
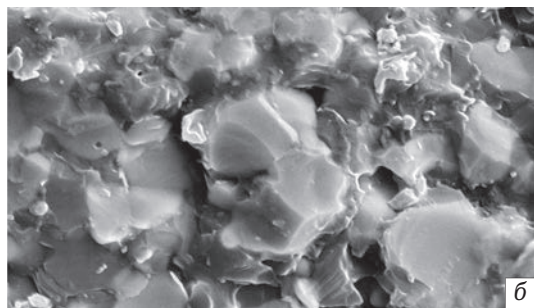
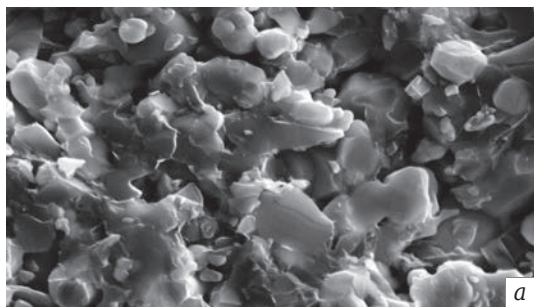
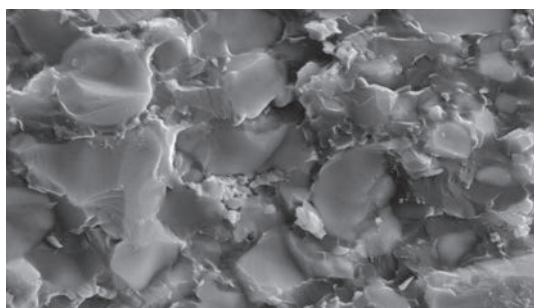


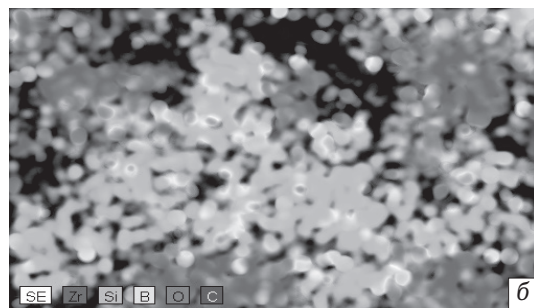
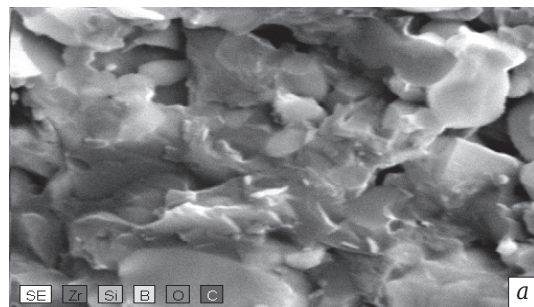
Рис. 7. Микроструктура керамики ZrB_2 –SiC (а — образец 1.3; б — образец 2.3) и керамики ZrB_2 –Si₃N₄ (образец 3). ×5000

Таблица 3. Свойства керамических материалов в системах ZrB_2-SiC и $ZrB_2-Si_3N_4$

Источник информации	Плотность, г/см ³ (%)	Пористость, %	Микротвердость HV_1 , ГПа	K_{1c} , МПа · м ^{1/2}
<i>$ZrB_2-20\% SiC$</i>				
[12] (HP)	$5,36 \pm 0,04$ (98)	$0,6 \pm 0,33$	$20,9 \pm 1,9$	$4,3 \pm 0,2$
[13] (SPS)	(98,5–99,6)	$0,6 \pm 0,33$	16,7–16,9	5,0–5,9
[14]	(99,0)	< 1	17,5–17,9	4,07
[15] (HP)	(97,9)	–	15,2	3,8
<i>$ZrB_2-2\% Si_3N_4$</i>				
[10] (HP)	(~ 99 %)	–	13,4	$3,7 \pm 0,1$


 Рис. 8. Микроструктура керамики ZrB_2-SiC : а — образец 1.1; б — образец 1.3. $\times 4000$

 Рис. 9. Морфология зерен матрицы ZrB_2 (образец 1.2). $\times 4000$

образования изолированных пор размерами 1–2 мкм (рис. 8, б). Морфология зерен матрицы округлая и неправильная (рис. 9). Между зернами и по границам агломератов распределена фаза с преимущественным содержанием кремния (рис. 10) в виде частиц неопределенной формы размерами менее 1 мкм. При этом для всех исследованных образцов этой группы характерно равномерное распределение элементов в объеме (рис. 11).


 Рис. 10. Микроструктура межзеренной фазы (а) и картограмма распределения элементов на этом участке (б) в керамике ZrB_2-SiC (образец 1.1)

Микроструктура образцов 2.1–2.3 состава ZrB_2-SiC представлена крупными (10–40 мкм) и мелкими агломератами, а также зернами размерами менее 5 мкм, между которыми распределена фаза, образованная частицами неопределенной морфологии размерами 1–2 мкм (рис. 12) с преимущественным содержанием кремния (рис. 13). Картирование элементов поверхности показало, что кремнийсодержащая фаза занимает больший объем в образце 2.1 по сравнению с образцом 2.2 (рис. 14).

По совокупности характеристик структура образца 2.2, полученного при более высоких значениях параметров SPS-процесса (температура 1906 °С, скорость нагрева 100 град/мин, длительность нагрева 14 мин 30 с, импульсное время выдержки 20 мин), по сравнению с другими образцами является более предпочтительной для обеспечения высоких физико-механических свойств керамики.

Микроструктура образцов 1–3 состава $ZrB_2-Si_3N_4$ плотная, образована зернами ма-

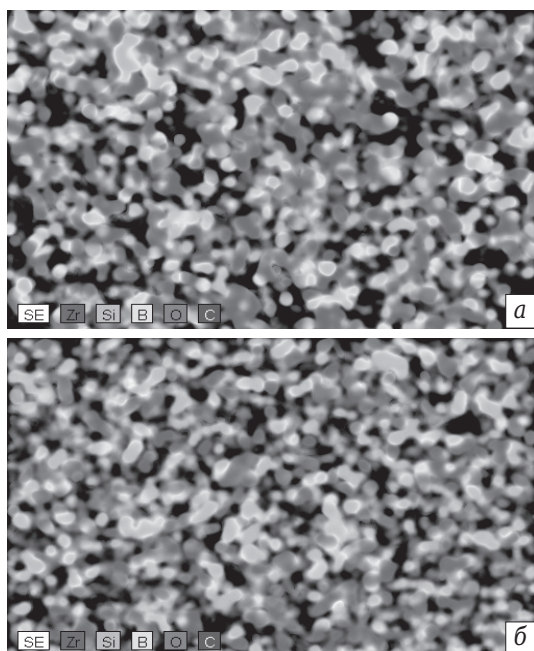


Рис. 11. Результаты картирования элементов поверхности в образцах состава $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$: *a* — образец 1.1; *б* — образец 1.2

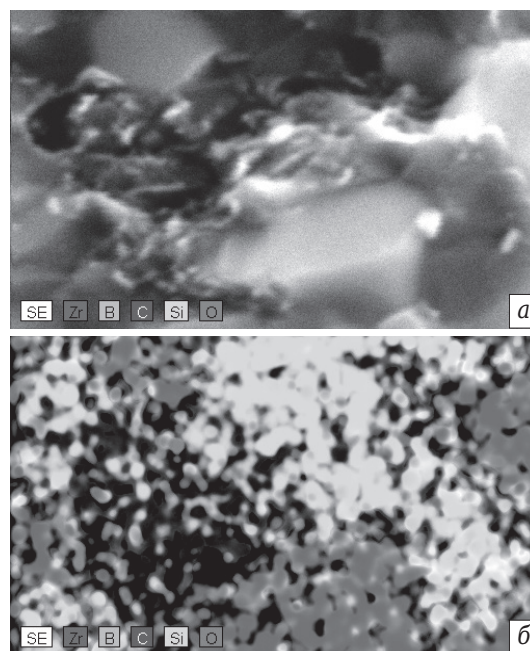


Рис. 13. Распределение элементов (*б*) на участке (*a*) в образце 2.2 состава $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$

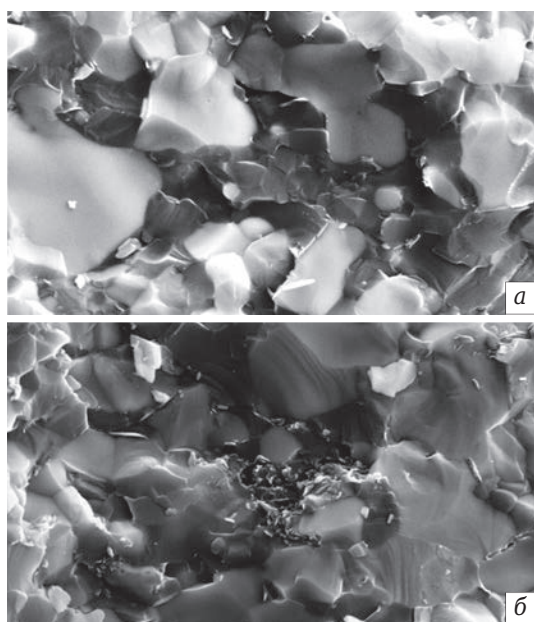


Рис. 12. Микроструктура керамики $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$: *a* — образец 2.1; *б* — образец 2.2. $\times 5000$

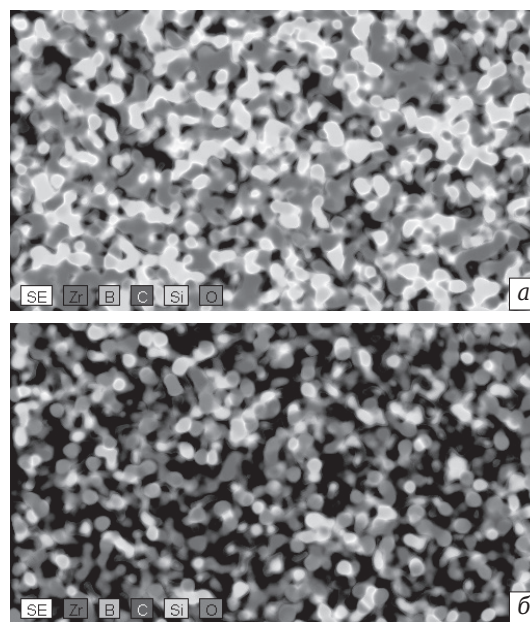


Рис. 14. Результаты картирования элементов поверхности в образцах состава $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$: *a* — образец 2.1; *б* — образец 2.2

трицы с хорошо развитыми гранями (рис. 15). По границам зерен распределена фаза с неопределенной и чешуйчатой морфологией частиц, с преимущественным содержанием кремния (рис. 16). Элементы, входящие в состав образцов, распределены равномерно по поверхности скола (рис. 17). Разрушение образцов при ударе происходит преимущественно по границам зерен, что может быть связано со слабым контактом зерен матрицы и межзе-

ренной фазы, а также с ее чешуйчатой морфологией (рис. 18).

Исследования физико-механических свойств образцов показали, что значения микротвердости керамики в системе $\text{ZrB}_2\text{-SiC}$ составляют 15,3–18,1 ГПа, что соответствует значениям известных аналогов (16–18 ГПа), но значительно уступает результату (27 ГПа), полученному в работе [11]. В системе $\text{ZrB}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$ получены также низкие значения микротвердости (9,5–

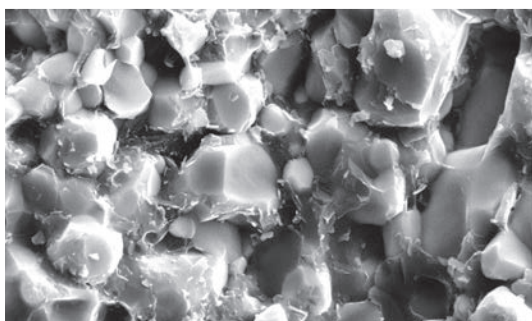


Рис. 15. Микроструктура керамики состава $ZrB_2-Si_3N_4$, образец 2. $\times 4000$

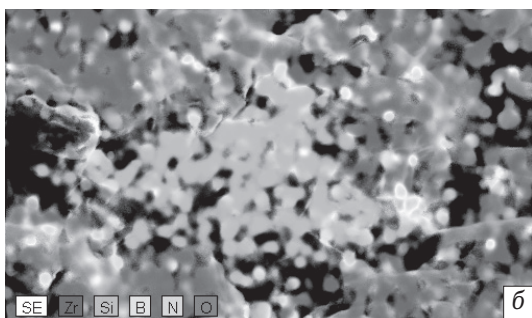
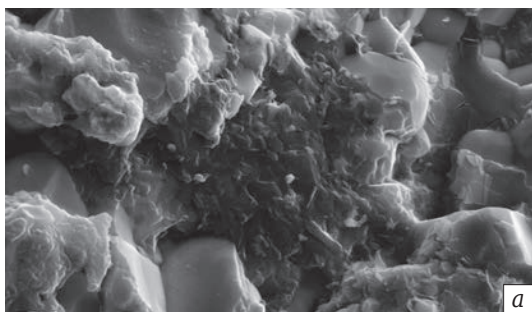


Рис. 16. Распределение элементов (б) на участке (а, $\times 4000$) в образце 3 состава $ZrB_2-Si_3N_4$

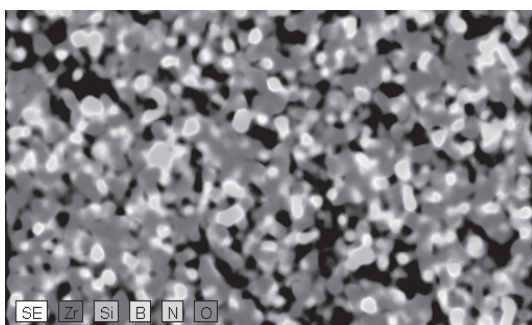


Рис. 17. Карта распределения элементов в керамике состава $ZrB_2-Si_3N_4$ (образец 1)

10,8 против 13,4 ГПа для керамики, изготовленной методом горячего прессования [10]). На рис. 19 показаны примеры изображений отпечатков пирамиды Виккерса в образцах, показавших максимальные значения K_{IC} , и микротрещин, появившихся в результате микроиндентирования.

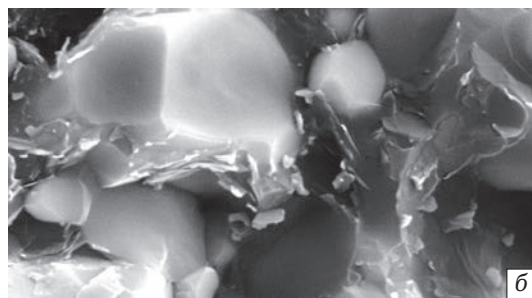
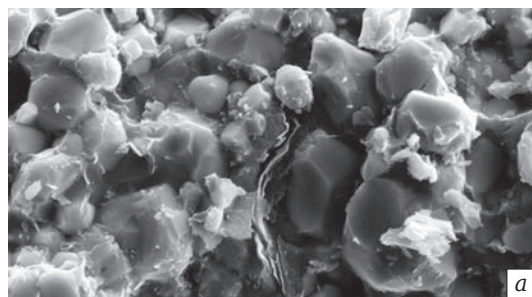


Рис. 18. Иллюстрация характера разрушения образцов состава $ZrB_2-Si_3N_4$ преимущественно по границам зерен: а — $\times 4000$; б — $\times 6000$

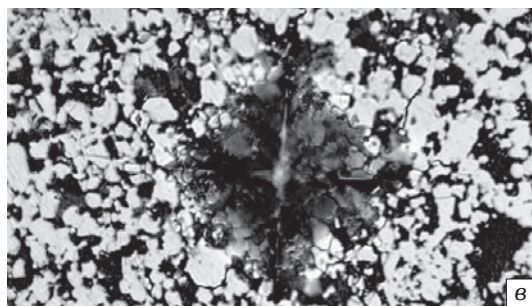
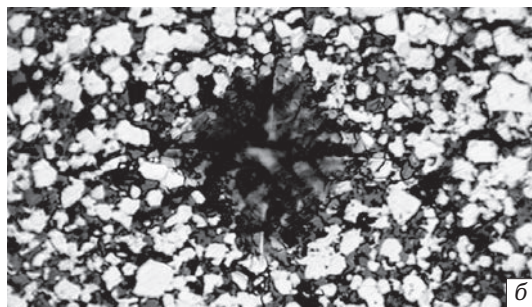
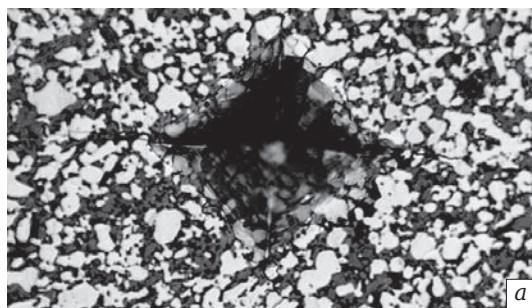


Рис. 19. Примеры изображений отпечатков пирамиды Виккерса в образцах керамики ZrB_2-SiC и $ZrB_2-Si_3N_4$, показавших максимальные значения K_{IC} : а — 5,9 МПа $\cdot$ м^{1/2} (образец 1.1); б — 5,9 МПа $\cdot$ м^{1/2} (образец 2.1); в — 6,0 МПа $\cdot$ м^{1/2} (образец 2)

Анализ результатов определения микротвердости двумя методами и на разных приборах (ПТМ-3М и «Micromet 5114», см. табл. 2) показывает, что значения показателя различаются в 1,1–1,3 раза. Возможно, это связано с определениями при разных нагрузках — 150 и 200 г соответственно.

Сравнение полученных результатов с данными о свойствах известных зарубежных материалов, полученных в аналогичных системах методами HP и SPS с использованием тонких порошков (табл. 3), показывает, что даже при 90 % от теоретической плотности керамика имеет высокий уровень физико-механических свойств, близкий к зарубежным аналогам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом SPS получены образцы материалов в системах $ZrB_2 - 20\% SiC$ и $ZrB_2 - 5\% Si_3N_4$ плотностью 90 % от теоретической, пористостью до 0,04 %, с микротвердостью от 10 до 18 ГПа и коэффициентом интенсивности напряжений на уровне 4–6 МПа·м^{1/2}. В настоящее время ведутся исследования стойкости материалов к высокотемпературному окислению на воздухе при температуре 1500 °С в течение 15 мин.

В дальнейшем планируется провести работу по оптимизации свойств исходных порошков, типа и количества (или комбинации) добавок для достижения плотности, близкой к теоретической, и повышению стойкости к окислению, а также аналогичные исследования с порошками диборида гафния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Келина, И. Ю.** Состояние и перспективы разработки ультравысокотемпературных керамических материалов для применения в гиперзвуковых авиакосмических объектах / И. Ю. Келина, А. С. Шаталин, Л. А. Чевыкалова [и др.] // Авиационная промышленность. — 2011. — № 1. — С. 40–45.
2. **Келина, И. Ю.** 2-я международная конференция «Сверхвысокотемпературная керамика: материалы для применения в экстремальных условиях», 13–18 мая 2012 г., г. Хернштайн, Австрия / И. Ю. Келина, Н. И. Бакланова, Н. Б. Морозова // Новые огнеупоры. — 2012. — № 7. — С. 59–61.
3. **Chamberlain, A.** Oxidation of ZrB_2 -SiC Ceramics under Atmospheric and Reentry Conditions / A. Chamberlain, W. Fahrenholtz // Refractories Applications Transactions. — 2005. — Vol. 1, № 2.
4. **Hwang, S. S.** Improved Processing and Oxidation-resistance of ZrB_2 Ultra-High Temperature Ceramics Containing SiC Nanodispersoids / S. S. Hwang, A. L. Vasiliev, N. P. Padture // J. Mater. Scien. and Eng. A. — 2007. — № 464. — P. 216–224.

5. **Fahrenholtz, W. G.** Reactive Processing and Co-Extrusion of Ultra-High Temperature Ceramics and Composites / W. G. Fahrenholtz, G. E. Himas, A. L. Chamberlain, J. W. Zimmerman // Received 28 February 2006. — P. 34. (Fahrenholtz, W. G. Reactive Processing and Co-Extrusion of Ultra-High Temperature Ceramics and Composites / W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas, A. L. Chamberlain [et al.] // Final Report, 1 Jan. 2003 – 31 Dec. 2005, NTIS Issue Number 0616, Contract Number F49620-03-1-0072 (Заключительный технический отчет по контракту F49620-03-1-0072, 1 января 2003 – 31 декабря 2005), 2006. — 34 p.
6. **Zhang, G. J.** Ultrahigh Temperature Ceramics (UHTCs) Based on ZrB_2 and HfB_2 Systems: Powder Synthesis, Densification and Mechanical Properties / G. J. Zhang, W. M. Guo, D. W. Ni, Y. M. Kan // J. Phys. : Conf. Ser. — 2009. — № 176.
7. **Bellosi, A.** Fast Densification of Ultra-High Temperature Ceramics by Spark Plasma Sintering / A. Bellosi, F. Monteverde, D. Sciti // International Journal of Applied Ceramic Technology. — 2006. — Vol. 3, № 1. — P. 32–40.
8. **Головин, Ю. И.** Наноиндентирование и его возможности / Ю. И. Головин. — М. : Машиностроение, 2009. — 316 с.
9. **Андреевский, Р. А.** Прочность тугоплавких соединений и материалов на их основе : справ. изд. / Р. А. Андреевский, И. И. Спивак. — Челябинск : Металлургия (Челябинское отделение), 1989. — 368 с.
10. **Beilosi, A.** Ultrahigh Temperature Ceramics: microstructure control improvement related to materials design and processing procedures / A. Beilosi // Proceedings 5th European Workshop on Thermal Protection Systems and Hot Structures Noordwijk, The Netherlands, 2006.
11. **Fahrenholtz, W. G.** Design of Ultra-High Temperature Ceramics for Improved Performance / W. G. Fahrenholtz, G. E. Hilmas, J. Watts // Received 28 February 2009. — P. 49.
12. **Justin, J. F.** Ultra-High Temperature Ceramics: densification, properties and thermal stability / J. F. Justin, A. Jankowiak // AerospaceLab. — 2011. — № 3.
13. **Licheri, R.** Spark Plasma Sintering of ZrB_2 - and HfB_2 -Based Ultra High Temperature Ceramics Prepared by SHS / R. Licheri, R. Orru, C. Musa, A. M. Locci // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. — 2009. — Vol. 18, № 1. — P. 15–24.
14. **Scatteia, L.** Ultra-High Temperature Diboride Ceramics for RLV's Hot Structures / L. Scatteia, F. De Filippis, G. Marino // European Conference Aerospace Sciences Received.
15. **Hwang, S. S.** Improved Processing and Oxidation-resistance of ZrB_2 Ultra-High Temperature Ceramics Containing SiC Nanodispersoids / S. S. Hwang, A. L. Vasiliev, N. P. Padture // J. Mater. Scien. and Eng. A. — 2007. — № 464. — P. 216–224. ■

Получено 07.02.13

© Л. А. Чевыкалова, И. Ю. Келина,
И. Л. Михальчик, А. В. Аракчеев, Л. А. Плясункова,
А. А. Касимовский, К. С. Матюшин, 2013 г.

ФУТЕРОВКА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ КОНВЕРТЕРОВ ПОВЫШЕННОЙ СТОЙКОСТИ

Приведены результаты исследования стойкости футеровки горизонтальных конвертеров и причин малой стойкости фурменной зоны футеровки. Описаны разработанные по результатам исследований конструкции футеровки фурменной зоны горизонтального конвертера, а также фурменного блока. Разработаны технологии изготовления периклазохромитовых фурменных блоков с применением плавного материала с повышенным содержанием Cr_2O_3 , а также теплопроводной огнеупорной массы, устойчивой к воздействию шлако-штейновых расплавов. Футеровка повышенной стойкости испытана и внедрена в конвертерах ОАО «Алавердинский горнометаллургический комбинат», ОАО «Уфалейский никелевый завод». Это позволило увеличить стойкость футеровки в 1,5–2,0 раза.

Ключевые слова: футеровка, медно-никелевые конвертеры, фурменный блок, периклазохромитовый огнеупор, фурменный пояс, шлако-штейновый расплав, отходы гранитного производства.

Наименьшим сроком эксплуатации в цветной металлургии обладает футеровка медно-никелевых конвертеров. Это объясняется весьма тяжелыми условиями службы огнеупорной кладки в этих агрегатах. Стойкость футеровки конвертера лимитируется сроком службы фурменной зоны футеровки конвертера. Фурменная зона конвертера состоит из трех подзон: фурменного пояса, надфурменной зоны (7–12 рядов), подфурменной зоны (1–2 ряда). Все зоны традиционно футеруют периклазохромитовыми огнеупорами марок ПХС 5-17,19. Низкая стойкость фурменной зоны обусловлена следующими факторами:

- термическими ударами при сливе и подаче шлако-штейнового расплава;

- термическими ударами на границе воздух – огнеупор – шлако-штейновый расплав при продувке конвертера в процессе службы (перепад составляет 20–1200 °С);

- наличием барботажа воздух – расплав и, как следствие, эрозийным износом;

- высокими механическими усилиями, развивающимися в футеровке от реактивного давления металлического корпуса;

- скалыванием ввиду разных свойств пропитанной и исходной части огнеупорной кладки;

- образованием легкоплавких соединений (типа оливинит – монтичеллит) в системе огнеупор – расплав, которые смываются шлако-штейновым расплавом;

- ударными механическими нагрузками при загрузке конвертера;

- высокими температурами в районе дутья (1400–1500 °С);

проникновением расплава по швам фурменного пояса, приводящим подчас к прожиганию кожуха и аварийной остановке конвертера.

Схема традиционной футеровки конвертера показана на рис. 1. Футеровка конвертера выполнена периклазохромитовыми огнеупорами (ПХС), фурменный пояс выложен желобковыми кирпичами (ПХС). Кладку вели насухо. Стойкость футеровки медных конвертеров составляет 45–50 сут, никелевых до 5–15 сут,

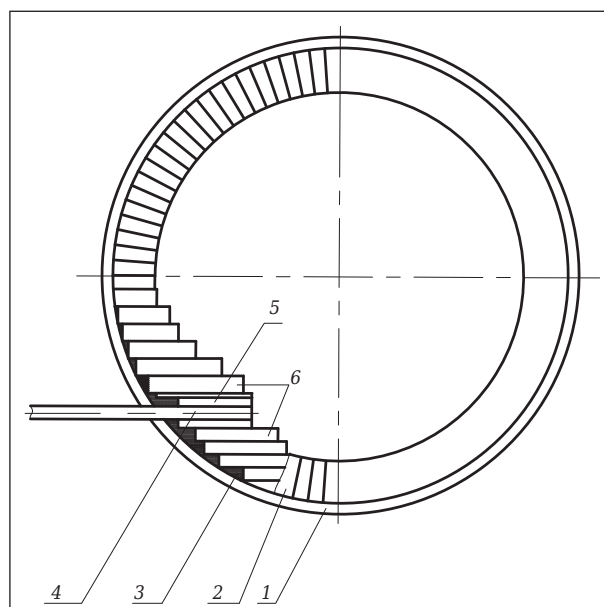


Рис. 1. Система традиционной футеровки горизонтального конвертера: 1 — металлический корпус; 2 — основная кладка; 3 — хромитопериклазовая засыпка; 4 — фурменная трубка; 5 — желобковый кирпич; 6 — надфурменный и подфурменный кирпич длиной 460 мм

что крайне мало, тем более что при частых ремонтах с отработанной футеровкой теряется много ценного металла (медь, никель, свинец, золото).

На основании экспериментальных данных были выбраны основные направления исследовательских работ, касающихся повышения стойкости футеровки медно-никелевых конвертеров. Первое направление — разработка технологии изготовления плотных и термостойких огнеупорных изделий специальной формы для фурменного пояса. Второе направление — разработка и усовершенствование технологии изготовления коррозионно-стойких плавлено-зернистых огнеупоров за счет введения в их шихту химически чистого Cr_2O_3 из плавящихся материалов. Третье направление — разработка схем футеровки на основе высокостойких огнеупорных изделий, растворов и масс.

- По первому и второму направлениям авторами настоящей статьи была разработана технология изготовления фурменных блоков для кладки фурменного пояса медно-никелевых конвертеров на основе периклазохромитового плавящего материала с повышенным содержанием Cr_2O_3 (до 20–25 %) по ТУ 148-38–81. Выпущена промышленная партия блоков (рис. 2) в количестве 1000 т на комбинате «Магнезит» [1–3]. По физическим свойствам опытные фурменные блоки превосходят традиционно применяемые огнеупоры. При футеровании фурменного пояса опытными блоками количество швов сокращается в 4 раза, что уменьшает вероятность проникновения в них шлако-штейнового расплава. Техническая характеристика фурменного блока приведена ниже:

Открытая пористость, %	14–16
Предел прочности при сжатии, МПа	35
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,09
Температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °С	1600
Термостойкость (1300 °С — вода), теплосмены	5–6
Масса, кг	43

- По третьему направлению были разработаны технологии огнеупорных масс, одна из которых обладает повышенной теплопроводностью, а вторая имеет высокую стойкость к шлако-штейновому расплаву и термостойкость [4, 5]. Авторами также была разработана конструкция футеровки фурменного пояса горизонтальных конвертеров медно-никелевого производства (рис. 3). Кладка фурменного пояса, включающая хромотопериклазовую засыпку

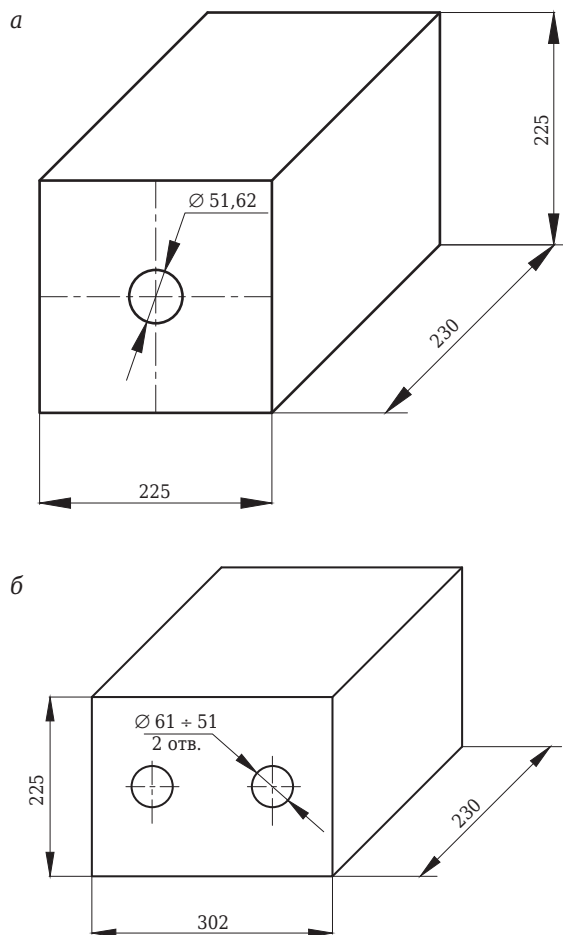


Рис. 2. Фурменные блоки: а — ПХКЦ-23 (ПХКЦ-24); б — ПХКЦ-25 (ПХКЦ-26)

и огнеупорные фурменные блоки, отличалась тем, что для повышения стойкости футеровки надфурменные и подфурменные кирпичи длиной 460 мм были заменены на кирпичи длиной 520 мм. Образующиеся в результате этого полости заполнялись хромотопериклазовым бетоном. Такая конструкция позволила увеличить стойкость футеровки конвертеров Кировоградского медеплавильного и Уфалейского никелевого комбинатов на 30–40 %.

Однако стойкость хромотопериклазового бетона к расплавам не является определяющей. Одним из основных факторов, влияющих на стойкость футеровки фурменной зоны, является скалывание огнеупора, наблюдающееся при колебании температур в процессе слива и подачи шлако-штейнового расплава. Процесс скалывания обусловлен возникающими в огнеупоре термическими напряжениями. Трещины скола в основном проходят по границе части огнеупора, пропитанной шлако-штейновым расплавом, и наименее измененной зоны огнеупора. Граница проходит параллельно ра-

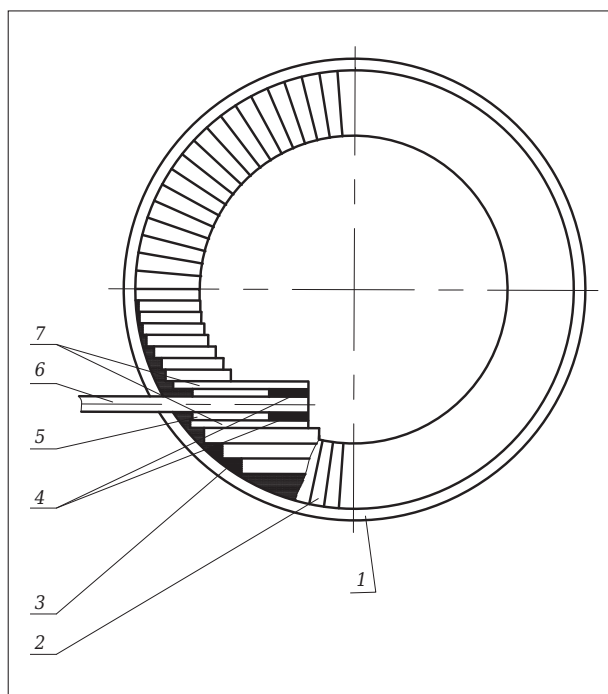


Рис. 3. Схема усовершенствованной футеровки горизонтального конвертера: 1 — металлический корпус; 2 — основная кладка; 3 — теплопроводящая огнеупорная масса; 4 — химически устойчивая огнеупорная масса; 5 — фурменные блоки ПХКЦ-23, ПХКЦ-24 или ПХКЦ-25, ПХКЦ-26; 6 — фурменная трубка; 7 — надфурменный и подфурменный кирпич длиной 520 мм

бочей поверхности огнеупора. Толщина слоя составляет от 80 до 150 мм. Скалывание происходит вследствие различных ТКЛР исходных огнеупоров и части огнеупора, пропитанной шлако-штейновым расплавом. Результаты исследований огнеупоров марок ХМ, ПХС, М, ХПТ и ПХПП показали, что ТКЛР исходных и пропитанных огнеупоров значительно различаются. На толщину слоя, пропитанного шлако-штейновым расплавом, влияет недостаточный отвод тепла через кожух конвертера, что при учете автогенности процесса приводит к прогреву кладки на большую глубину. Малый градиент температур в рабочем окате кладки обуславливает глубокое проникновение шлако-штейнового расплава в огнеупор (80–150 мм), и пропитанная часть огнеупорного изделия скалывается при охлаждении конвертера до температуры ниже 800 °С (температура застывания шлако-штейнового расплава), что часто происходит при сливе расплава.

• Для увеличения теплоотвода из кладки и тем самым повышения градиента температуры по толщине кладки была разработана специальная огнеупорная масса на основе огнеупорного порошка и отходов металлургического производства в виде чугуновой стружки. Для повышения теплопроводности в массу вводи-

ли хромитопериклазовый порошок фракции 1–3 мм, чугуновый порошок фракции 5–1 мм, жидкое стекло в следующем соотношении, %: хромитопериклазовый порошок 18–37, чугуновый порошок 58–75, жидкое стекло 6–8. Масса обладает повышенной теплопроводностью, превышающей в 3–4 раза теплопроводность магнезиальной засыпки, традиционно используемой между кладкой фурменной зоны и кожухом конвертера и имеющей достаточную для этой зоны огнеупорность. Увеличение теплопроводности кладки позволило уменьшить толщину пропитки кладки шлако-штейновым расплавом на 20–30 мм. Температура кожуха конвертера в фурменной зоне при этом составляет 120–150 °С, что не уменьшает его прочности. Разработанная огнеупорная масса успешно прошла испытания и внедрена в кладке 40-т конвертеров ОАО «Алавердинский горно-металлургический комбинат» с увеличением стойкости футеровки 40 %. Массу целесообразно использовать в аналогичных конвертерах ОАО «Уфалейский никелевый завод», ОАО «Кировоградский медеплавильный комбинат», ОАО «Красноуральский медеплавильный комбинат».

• Авторами настоящей статьи была разработана также технология получения огнеупорной массы, обладающей повышенной химической стойкостью к шлако-штейновым расплавам и высокими абразивостойкостью и теплопроводностью. Для получения огнеупорной массы с улучшенными показателями в известную огнеупорную массу для защитного покрытия футеровки тепловых агрегатов цветной металлургии, содержащую магнезиальный и углеродсодержащий материалы, спекающую и связующую добавки, в качестве спекающей добавки вводили отходы гранитного производства следующего состава, %: SiO₂ 57–65, Al₂O₃ 13–15, CaO 1,5–3,0, MgO 0,5–15,0, Na₂O 4–10, K₂O 1,5–3,0, FeO 1,0–2,0. В качестве связующей добавки применяли жидкое стекло при следующем соотношении компонентов, мас. %: хромитопериклазовый порошок 65–70, углеродсодержащий материал 20–30, отходы гранитного производства 4,5–10,0, жидкое стекло (сверх 100 %) 4–10.

Совместная добавка в огнеупорную массу отходов гранитного производства и жидкого стекла приводит в ходе изготовления и формирования защитного слоя футеровки к образованию насыщенной составляющими гранитных отходов связки и обедненных K₂O и Na₂O отходов гранитного производства. Благодаря этому у массы появляются новые характеристики:

— во-первых, в начальный период работы агрегата (когда расплав заливается в холодный

конвертер) происходит образование между зернами наполнителя форстеритовой связки на основе обедненной гранитной составляющей. Причем эта связка образуется при пониженных температурах (1100–1300 °С), имеющих место в условиях конвертерного передела цветной металлургии. По-видимому, этому способствует то обстоятельство, что обедненные K_2O и Na_2O отходы гранитного производства имеют оптимальную для конвертерного передела температуру начала размягчения и плавления, т. е. у обедненной части гранитных отходов по сравнению с их исходным составом температуры образования связки (1100–1300 °С) выше (а значит, защитный слой не разрушается за счет чрезмерного размягчения и плавления). В то же время при 1100–1300 °С происходит достаточно полное спекание с хромитопериклазовой основой. В результате этого предложенная масса имеет повышенную стойкость за счет предотвращения образования форстеритовой связки;

— во-вторых, насыщенное составляющими гранитных отходов жидкое стекло обволакивает зерна огнеупорной массы. В результате этого в начальный период работы агрегата (когда расплав заливается в холодный конвертер) защитная пленка вокруг зерновой составляющей массы упрочняется и образует между зернами керамическую связь, устойчивую в расплавах штейнов;

— в-третьих, эта же защитная пленка после упрочнения повышает устойчивость углеродсодержащих зерен массы к воздействию свободного кислорода в не пропитанной штейно-шлаковым расплавом части защитного слоя. В пропитанной штейно-шлаковым расплавом части защитного слоя эта плотная пленка разрушается под действием закиси железа. Однако освободившийся от пленки углеродсодержащий материал восстанавливает закись железа, затрудняя тем самым движение фронта пропитки в глубь защитного слоя.

Таким образом, в обеих частях защитного слоя (пропитанной и не пропитанной штейно-шлаковым расплавом) сохраняются повышенные стойкость к воздействию давления расплава и химическая стойкость по отношению к кислороду. Повышение стойкости достигается только при совместном применении отходов гранитного производства и жидкого стекла.

Футеровка, разработанная с применением фурменных блоков из специальных масс и конструкций фурменного пояса, показала повышенную стойкость при службе в горизонтальных конвертерах в ОАО «Кировоградский медеплавильный комбинат» и ОАО «Уфалей-

ский никелевый комбинат». Стойкость футеровки увеличилась в 1,5–2,0 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Созданы фурменные блоки, позволившие уменьшить количество швов в футеровке конвертера в 4 раза.

2. Разработана специальная огнеупорная масса, обладающая повышенной теплопроводностью, способствующая снижению проникновения шлако-штейнового расплава в огнеупорные изделия на 20–30 мм, что резко повышает стойкость футеровки в результате скалывания.

2. Разработана огнеупорная масса, обладающая высокой химической стойкостью к воздействию шлако-штейновых расплавов.

3. Стойкость усовершенствованной футеровки медно-никелевого конвертера повысилась в 1,5–2,0 раза. Футеровка испытана в ОАО «Алавердинский горно-металлургический комбинат», ОАО «Уфалейский никелевый завод» и ОАО «Красноуральский медеплавильный комбинат».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Словиковский, В. В.** Служба периклазохромитовых фурменных блоков в горизонтальных конвертерах // В. В. Словиковский, В. И. Еромкина, Г. В. Кононенко [и др.] // Огнеупоры. — 1983. — № 7. — С. 49–52.
2. **Словиковский, В. В.** Повышение стойкости фурменного пояса горизонтальных конвертеров медно-никелевого производства // В. В. Словиковский // Цветные металлы. — 2006. — № 2. — С. 32–34.
3. **Словиковский, В. В.** Периклазохромитовые огнеупоры из плавящихся материалов / В. В. Словиковский, В. И. Ерошкина, Г. В. Кононенко [и др.] // Огнеупоры. — 1985. — № 3. — С. 47–49.
4. **А. с. 1583391 СССР.** Огнеупорная масса // Словиковский В. В., Чунаев В. В., Лошкарёва Л. Н., Веронян В. Н., Лазорев И. Н., Лушкина Т. Г. ; № 4418701/31-33(07797) ; опубл. 1990, Бюл. № 29; приоритет 17.06.86.
5. **А. с. 1349422 СССР.** Футеровка фурменного пояса горизонтального конвертера / Словиковский В. В., Чунаев В. В., Гомоюнов Л. М., Козубенко А. А., Максимов В. С. ; № 3946181/22-02 ; опубл. 1987, Бюл. № 40 ; приоритет 21.08.85.
6. **А. с. 1087494 СССР.** Способ изготовления магнетизмальных изделий / Словиковский В. В., Чунаев В. В., Нагорных С. Н., Сидоров И. П., Козубенко А. А. ; № 3473876/29-33 ; опубл. 1984. ■

Получено 24.05.13

© В. В. Словиковский, А. В. Гуляева,
2013 г.

Сяо Го Цао, Цзя Ван, Ци Бай Ву, Хай Янь Чжан, Цзянь Донг

Отделение материаловедения и энергии Гуандунского технологического университета,
г. Гуанчжоу, провинция Гуандун, Китай

УДК 666.3-492.2:666.368(510)

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ НАНОПОРОШКА ДЛЯ АЛЮМОИТТРИЕВОЙ КЕРАМИКИ С ДОБАВКОЙ Yb, ПРОЗРАЧНОЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА

Методом химического соосаждения был изготовлен прозрачный керамический нанопорошок из алюмоиттриевого граната с добавкой Yb (Yb:YAG). В качестве осадителя был применен двууглекислый аммоний, а в качестве поверхностно-активного вещества (ПАВ) — полиэтиленгликоль. Благодаря добавке полиэтиленгликоля можно снизить слипание и размер частиц приготовленного порошка из Yb:YAG. Морфология, термостойкость и фазовая структура нанопорошка были изучены на сканирующем электронном микроскопе (SEM). Были проведены также термогравиметрическое исследование и дифференциальный термический анализ (TG-DTA), исследование методом рентгеновской дифракции (XRD) и инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье. Установлено, что хорошо кристаллизованный нанопорошок можно получить путем обжига предшественников при 900 °C в течение 3 ч. Средний размер частиц порошка из Yb:YAG составил 100–200 нм. При содержании полиэтиленгликоля 2,0 об. % был получен диспергированный порошок со сферическими частицами диаметром 100 нм.

Ключевые слова: химическое соосаждение, нанопорошок из алюмоиттриевого граната с добавкой Yb (Yb:YAG), поверхностно-активное вещество (ПАВ), полиэтиленгликоль.

ВВЕДЕНИЕ

Алюмоиттриевый гранат ($Y_3Al_5O_{12}$) имеет структуру граната, обладает отличной химической стойкостью, хорошей оптической стойкостью и сопротивлением ползучести при высоких температурах [1–4]. Отдельные кристаллы привлекали большое внимание еще в начале 60-х годов XX века ввиду их важности для производства флуоресцентных материалов и твердотельных лазеров. Однако при изготовлении граната возникают трудности [5]. Например, очень трудно добавить Nd в количестве более 1 % в качестве люминесцентного элемента в отдельном кристалле алюмоиттриевого граната (YAG). Алюмоиттриевая керамика обладает большими преимуществами, чем алюмоиттриевые кристаллы. Для ее получения не требуется особой технологии. Можно изготавливать крупные образцы с добавкой высоких концентраций (> 1 %) редких земель. Алюмоиттриевую керамику можно получать с помощью твердофазовой реакции [6, 7], золь-гель методом [8, 9] и методом соосаждения [10–13]. Метод соосаждения был разработан и широко используется для изготовления алюмоиттриевых порошков с беспримесными чистыми фазами. Некоторые исследования [14, 15] показали, что беспримесные алюмоиттриевые порошки

можно легко получить при относительно низкой температуре обжига (< 1000 °C) методом соосаждения.

Показано, что лазер из алюмоиттриевого граната с добавкой Yb (Yb:YAG laser) обладает некоторыми преимуществами по сравнению с лазером из YAG с добавкой Nd, а именно: низкой тепловой нагрузкой, продолжительным сроком службы верхнего состояния, большой шириной поглощения вокруг диапазона лазерного излучения InGaAs, относительно большим сечением излучения, высокими теплопроводностью и способностью накопления энергии [16]. Прозрачная керамика из Yb:YAG привлекает все больше внимания.

В настоящем исследовании хорошо диспергированные порошки из Yb:YAG были синтезированы методом соосаждения с применением полиэтиленгликоля в качестве ПАВ. Было изучено влияние разного количества полиэтиленгликоля на получение алюмоиттриевого порошка. Изготовленный прозрачный керамический нанопорошок был исследован на сканирующем электронном микроскопе, были проведены дифференциальный термический анализ TG-DTA и исследование на рентгеновском дифрактометре (XRD).

ХОД ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве исходных материалов были взяты $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (99,99 %, фирма «Tianjin Fine Chemicals», Китай) и $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99,99 %, той же фирмы). Водные нитратные растворы из Yb^{3+} были изготовлены путем растворения Yb_2O_3 в разбавленной азотной кислоте при помешивании и нагреве. Смешанные растворы Al^{3+} , Y^{3+} и Yb^{3+} были изготовлены путем растворения определенного количества нитратов металлов в молярном отношении $\text{Yb}:\text{Y}:\text{Al} = m:(3-m):5$, а жидкостный коэффициент полиэтиленгликоля в приготовленных растворах удерживался на уровне 0,5, 1,0, 2,0 и 4,0 %, соответственно. Осадок был синтезирован путем добавления по каплям 1 М раствора NH_4HCO_3 в нитратный раствор при постоянном перемешивании. Молярное отношение всех ионов металлов составило 10:1. После титрования суспензии были выдержаны в течение 48 ч, профильтрованы и отмыты сначала в дистиллированной воде, а затем в этаноле. Полученный продукт был высушен при 120 °C в течение 3 ч. Алюмоиттриевые предшественники с добавкой Yb ($\text{Yb}:\text{YAG}$ precursors) были обожжены при различных температурах в течение 3 ч в воздухе.

Процесс образования фаз алюмоиттриевого порошка с добавкой Yb отслеживался с помощью рентгеновской дифракции на рентгеновском дифрактометре модели D/MAX фирмы «Rigaku», Япония. Дисперсное состояние и морфологию порошка $\text{Yb}:\text{YAG}$ исследовали на сканирующем электронном микроскопе S-3400N фирмы JEOL, Япония. Были изучены термические характеристики предшественников $\text{Yb}:\text{YAG}$ с помощью $TG\text{--}DTA$ -анализа (анализатор $TG\text{--}DTA$, SDT-2960, TA, США) в диапазоне от комнатной температуры до 1150 °C при скорости нагрева 10 °C /мин на воздухе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты $TG\text{--}DTA$ -анализа предшественника YAG с добавкой 2 % Yb показаны на рис. 1. В диапазоне 100–250 °C наблюдается эндотермический пик, появление которого объясняется испарением молекул воды. Соответствующие потери массы 45 % видны на TG -кривой. Большие потери массы предшественника (52 %) происходят при температуре ниже 450 °C. Широкий эндотермический пик появляется в диапазоне 250–850 °C в результате разложения карбоната, нитрата и иона гидроксила [17, 18]. Выше 850 °C потери массы не видны. Четкий экзотермический пик при 975 °C на DTA -кривой указывает на кристаллизацию алюмоиттриевого граната.

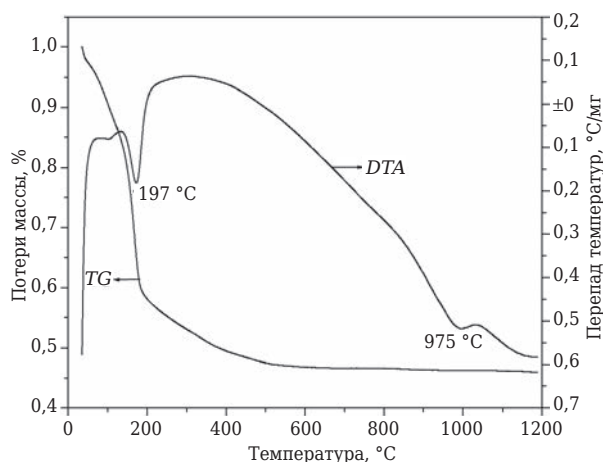


Рис. 1. Результаты $TG\text{--}DTA$ -анализа предшественника YAG с добавкой 2 % Yb

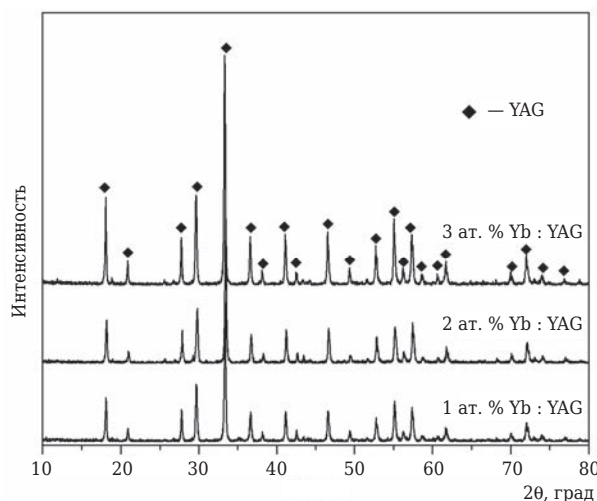


Рис. 2. Рентгенограммы алюмоиттриевых порошков с добавкой 1, 2, 3 % Yb, обожженных при 1100 °C в течение 3 ч

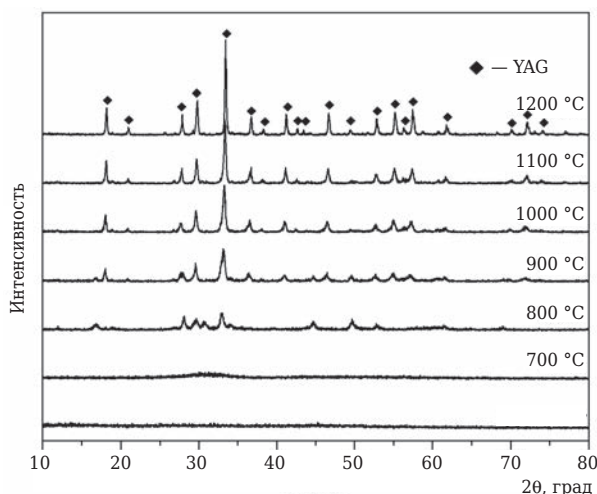


Рис. 3. Рентгенограммы алюмоиттриевого порошка с добавкой 2 % Yb, обожженного при различных температурах

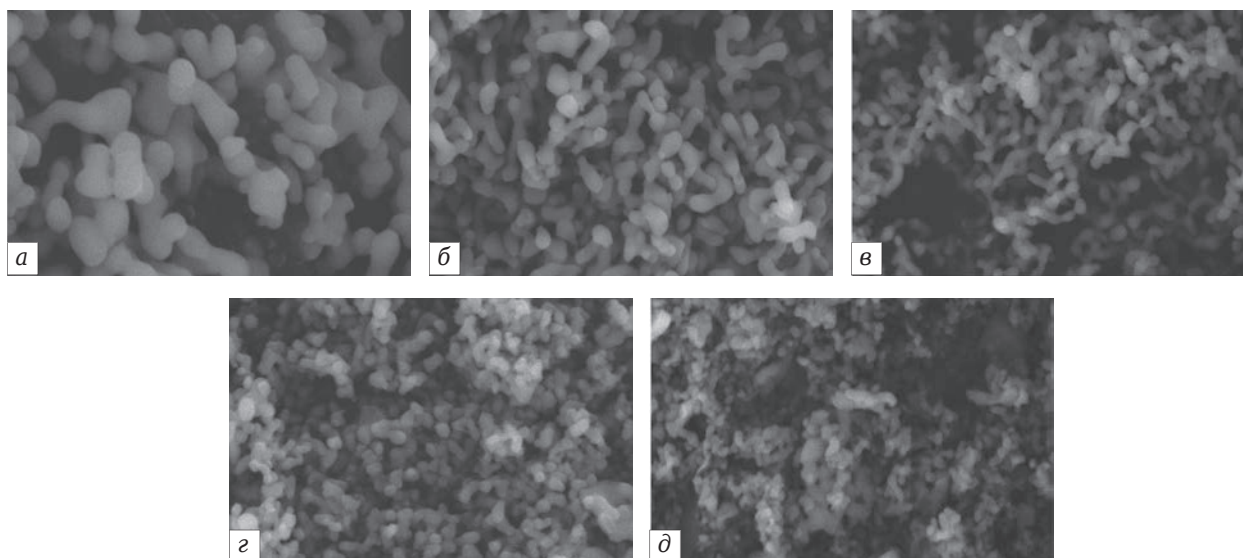


Рис. 4. SEM-микрофотографии порошков YAG, синтезированных методом соосаждения: а — без полиэтиленгликоля в качестве ПАВ; б–д — с полиэтиленгликолем в количестве 0,5 (б), 1,0 (в), 2,0 (г), 4,0 % (д)

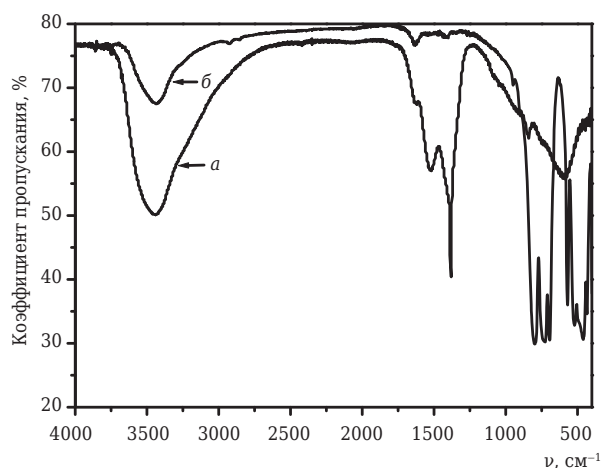


Рис. 5. Инфракрасный спектр предшественника (а) и алюмоиттриевого порошка с добавкой 2,0 % Yb, обожженного при 1100 °С в течение 3 ч (б)

На рис. 2 показаны рентгенограммы алюмоиттриевых порошков с добавкой 1, 2 и 3 % Yb. Порошки были обожжены при 1200 °С в течение 3 ч. Все обнаруженные пики характерны для YAG; никаких других фаз не обнаружено.

На рис. 3 показаны рентгенограммы предшественника и алюмоиттриевых порошков с добавкой 2 % Yb. Порошки были обожжены при различных температурах в течение 3 ч. Поскольку явных дифракционных пиков не наблюдается, можно сделать вывод, что предшественник и порошки из предшественника, обожженные ниже 800 °С, являются по природе аморфными. Самый большой характерный пик Yb : YAG имеет довольно слабую интенсивность, что указывает на кристаллизацию аморфного YAG. По мере повышения температуры обжи-

га до 900 °С появляются высокие острые пики, что указывает на улучшение кристалличности YAG. Следовательно, Yb : YAG кристаллизуется напрямую из аморфной фазы без всяких промежуточных фаз. Температура кристаллизации ниже, чем та, что определялась при DTA-анализе, потому что экзотермический пик при этом анализе зачастую отстает от кристаллизации в результате гистерезиса температуры [15]. При дальнейшем нагреве порошков до 900 °С наблюдается постоянное улучшение формы пиков и их интенсивности, что указывает на рост кристаллов порошков Yb : YAG по мере повышения температуры; однако изменений в фазовом составе нет.

На рис. 4 показаны микрофотографии порошков Yb : YAG. Порошки были синтезированы методом соосаждения с применением разного количества полиэтиленгликоля в качестве ПАВ. Зерновой состав порошков YAG, обожженных при 1200 °С, значительно меняется в зависимости от количества полиэтиленгликоля. Большая часть частиц без полиэтиленгликоля имеет размер в диапазоне 100–300 нм (рис. 4, а). При содержании полиэтиленгликоля 0,5 % размер частиц составляет 100–200 нм, а при содержании 1,0 и 2,0 % наблюдаются сферические частицы диаметром 100 нм (см. рис. 4, б, в и г). Однако при увеличении количества полиэтиленгликоля до 4,0 % происходит сильное слипание частиц (см. рис. 4, д).

На рис. 5 представлен спектр инфракрасной спектроскопии с трансформацией по Фурье предшественника и порошков YAG с добавкой 2 % Yb, обожженных при 1200 °С в течение 3 ч. Широкий пик поглощения при 3000–3700 см⁻¹

[9] и пик поглощения примерно при 1650 см^{-1} [19] можно объяснить вибрацией О–Н воды. Два пика поглощения в образцах, термообработанных при 1200°C , становятся слабее. Следует отметить, что два остаточных пика поглощения, возможно, объясняются поглощением влаги во время тестирования. Пики поглощения примерно при 1522 и 1384 см^{-1} можно объяснить вибрацией О–N в нитрате. Широкие, накладывающиеся друг на друга пики в нижней полосе частот ($500\text{--}1000\text{ см}^{-1}$) объясняются присутствием инфракрасных вибраций Al–O и Y–O [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нанокристаллический порошок Yb:YAG был синтезирован с применением полиэтиленгликоля методом соосаждения бикарбонатом аммония. Предшественники напрямую превращены в чистую беспримесную фазу YAG при температуре примерно 900°C . Результаты показали, что разное количество добавки полиэтиленгликоля значительно влияет на дисперсное состояние конечного порошка Yb:YAG. Оптимальное количество полиэтиленгликоля для приготовления хорошо диспергированных сферических порошков Yb:YAG со средним размером частиц 100 нм составляет $2,0\%$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Cockayne, B.** The uses and enigmas of the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--Y}_2\text{O}_3$ phase system / B. Cockayne // J. Less Common Met. — 1985. — № 144. — P. 199–206.
2. **Geusic, J. E.** Laser oscillations in Nd-doped yttrium aluminum, yttrium, gallium and gadolinium garnets / J. E. Geusic, H. M. Marcos, L. G. Van Uitert // Appl. Phys. Lett. — 1964. — № 4. — P. 182–184.
3. **Li, C.** Scattering effect and laser performance for the Nd:YAG transparent ceramics / C. Li, W. Liu, H. Gao [et al.] // Appl. Phys. B-Lasers O. — 2011. — № 104. — P. 625–631.
4. **Wen, L.** Fabrication of transparent YAG ceramics by a solid-state reaction method / L. Wen, X. Sun, W. Ma // J. Chinese Ceram. Soc. — 2003. — № 31. — P. 819–822.
5. **Lu, J.** Optical properties and highly efficient laser oscillation of Nd : YAG ceramics / J. Lu, M. Prabhu, J. Song [et al.] // Appl. Phys. B-Lasers O. — 2000. — № 71. — P. 469–473.
6. **Ikesue, A.** Fabrication and optical properties of high-performance polycrystalline Nd:YAG ceramics for solid-state lasers / A. Ikesue, T. Kinoshita, K. Kamata, K. Yoshida // J. Amer. Ceram. Soc. — 1995. — № 78. — P. 1033–1040.
7. **Esposito, L.** Reactive sintering of YAG-based materials using micrometer-sized powders / L. Esposito, A. L. Costa, V. Medri // J. Eur. Ceram. Soc. — 2008. — № 28. — P. 1065–1071.
8. **Yang, L.** Synthesis of YAG powder by the modified sol-gel combustion method / L. Yang, T. Lu, H. Xu, N. Wei // J. Alloy. Compd. — 2009. — № 484. — P. 449–451.
9. **Sun, Z. H.** Synthesis of yttrium aluminum garnet (YAG) by a new sol-gel method / Z. H. Sun, D. R. Yuan, H. Q. Li [et al.] // J. Alloy. Compd. — 2004. — № 379. — P. L1–L3.
10. **Li, X.** Synthesis of Nd^{3+} doped nano-crystalline yttrium aluminum garnet (YAG) powders leading to transparent ceramic / X. Li, Q. Li, J. Wang, H. Liu // Opt. Mater. — 2007. — № 29. — P. 528–531.
11. **Tong, S.** Synthesis of YAG powder by alcohol-water co-precipitation method / S. Tong, T. Lu, W. Guo // Mater. Lett. — 2007. — № 61. — P. 4287–4289.
12. **Li, X.** Rapid synthesis of YAG nano-sized powders by a novel method / X. Li, H. Liu, J. Y. Wang [et al.] // Mater. Lett. — 2004. — № 58. — P. 2377–2380.
13. **Yang, R.** Synthesis of yttrium aluminum garnet (YAG) powder by homogeneous precipitation combined with supercritical carbon dioxide or ethanol fluid drying / R. Yang, J. Qin, M. Li, G. Liu // J. Eur. Ceram. Soc. — 2008. — № 28. — P. 2903–2914.
14. **Li, J. G.** Co-precipitation synthesis and sintering of yttrium aluminum garnet (YAG) powders : the effect of precipitant / J. G. Li, T. Ikegami, J. H. Lee [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. — 2000. — № 20. — P. 2395–2405.
15. **Li, X.** Preparation and properties of YAG nano-sized powder from different precipitating agent / X. Li, H. Liu, J. Y. Wang [et al.] // Opt. Mater. — 2004. — № 25. — P. 407–412.
16. **Xu, X. D.** Spectroscopic and thermal properties of Cr, Yb : YAG crystal / X. D. Xu, Z. W. Zhao, H. H. Wang [et al.] // J. Cryst. Growth. — 2004. — № 262. — P. 317–321.
17. **Li, J.** Synthesis of nanosized Nd : YAG powders via gel combustion / J. Li, Y. Pan, F. Qiu [et al.] // Ceram. Int. — 2007. — № 33. — P. 1047–1052.
18. **Liu, W. B.** Synthesis of Nd:YAG powders leading to transparent ceramics: The effect of MgO dopant / W. B. Liu, W. X. Zhang, J. Li [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. — 2011. — № 31. — P. 653–657.
19. **Saraswati, V.** Structural evolution in alumina gel / V. Saraswati, G. V. N. Rao, G. V. Rama Rao // J. Mater. Sci. — 1987. — № 22. — P. 2529–2534.
20. **Fu, Y. P.** Preparation of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$: Ce powders by microwave-induced combustion process and their luminescent properties / Y. P. Fu // J. Alloy. Compd. — 2006. — № 414. — P. 181–185. ■

Получено 25.01.13

© Сяо Го Цао, Цзя Ван, Ци Бай Ву, Хай Янь Чжан,
Цзянь Донг, 2013 г.

Пер. — С. Н. Клявлиня
(ОАО «Комбинат «Магнезит»), 2013 г.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены химико-минералогическая характеристика и физико-механические свойства муллитокремнеземистого огнеупора МКРА-50 до и после службы в сталеразливочном ковше. Рассмотрены вопросы вторичного окисления металла в присутствии футеровки. Раскрыт механизм образования субсоединений и газообразных комплексов в стали и показано их влияние на процессы образования фаз в футеровке ковша. Рассмотрены термохимические методы преимущественного выбора огнеупорных материалов на основе корунда и оксида магния.

Ключевые слова: муллитокремнеземистый огнеупор МКРА-50, футеровка сталеразливочного ковша, длиннопризматический муллит, герцинит, монтичеллит, субоксиды магния, газообразные комплексы, температура каплеобразования.

Качество и себестоимость стальной продукции в последние годы во многом определяется стойкостью футеровки. В этой связи повышению качества огнеупорных материалов и увеличению срока службы огнеупоров в футеровке металлургических агрегатов уделяется большое внимание [1–5]. При тесном сотрудничестве металлургов и огнеупорщиков разрабатываются новые и совершенствуются существующие схемы производства огнеупоров, повышается их качество [6–8]. Современные тенденции в производстве качественных огнеупорных материалов свидетельствуют о том, что одним из важных вопросов является сравнительный анализ огнеупоров как до службы в тепловых агрегатах, так и после службы. Цель настоящей работы — исследование огнеупорных изделий марки МКРА-50 до и после службы в сталеразливочных ковшах. Химико-минеральный и фазовый составы проб огнеупоров исследовали петрографическим, микрорентгеноспектральным и рентгеноструктурным методами анализа. Основные физико-механические свойства огнеупорных изделий определяли по стандартам [9, 10].

Огнеупоры МКРА-50 используют в футеровке ковшей для разливки стали 0,8кп/пс следующего состава, мас. %: С 0,06, Мп 0,30–0,35, Si 0,01, Cr 0,01–0,03, Ni 0,01–0,03, Cu 0,01–0,03, P 0,015. Стойкость ковша составляет в среднем 10,3 налива в месяц, что значительно выше, чем у ковша с кремнеземистой футеровкой. Огнеупоры МКРА-50 изготавливают из шамота на основе дистен-силлиманитового концентрата в пересыпающемся слое во вращающейся печи. Основные физико-механические свой-

ства и химический состав изделий МКРА-50 указаны в ТУ У 26.2-0019053-208–2001 [10]. Содержание Al_2O_3 в огнеупорах составляет 55,39–57,39 %, Fe_2O_3 1,48–1,78 %, TiO_2 1,4 %. Кажущаяся плотность изделий МКРА-50 2,4 г/см³, открытая пористость 13,42 %. Для прогноза службы огнеупорных изделий в тепловых агрегатах важны физико-механические характеристики, определенные в условиях, приближенных к реальным. Так, предел прочности при сжатии изделий МКРА-50 при 1350 °С составляет 30 МПа, а по нормативным документам при 25 °С 50 МПа [10].

Поскольку открытая пористость в огнеупорах определяется характером пор, был сделан анализ пор и их распределения в огнеупоре МКРА-50. Структура огнеупора МКРА-50 плотная, с отдельными мелкими порами. Крупные поры в основном разрознены. Иногда наблюдаются скопление пор, а также сообщающиеся поры. Мелкие поры имеют округлую форму, а более крупные — овальную, эллипсовидную; сообщающихся пор немного. Однако в пористой связке между зернами шамота располагаются особо крупные и сообщающиеся поры. Обращает на себя внимание тот факт, что в местах скопления мелких зерен шамота связка плотная. По размеру поры в изделии МКРА-50 распределяются в следующем количестве:

Размер пор, мкм.....	8	16	24	30–40	45–55
Содержание, об. %...	32,67	21,4	12,11	12,11	8,7
Размер пор, мкм.....	60–80	100	Сообщающиеся		
Содержание, об. %...	7,04	4,14	1,83		

Огнеупоры МКРА-50 отличаются сравнительно однородной структурой. В основном в зернах шамота присутствует длиннопризматический муллит размерами 5–7 и 39,5–55,3 мкм. Встречаются сростки муллита размерами 31,6–94,8 мкм. Кристаллы муллита сцементированы прослойками стекла. Распределение стекла равномерное. Наблюдаются остаточные зерна α - Al_2O_3 с реакционной каемкой муллитового состава. Муллит нестехиометрического состава содержит в виде твердого раствора соединения титана и железа. В огнеупоре между зернами шамота в связке наблюдается игольчатый муллит размером не более 55,3 мкм; обнаружен, кроме того, короткопризматический муллит. Количество муллита в огнеупоре составляет 74,9 %. По сравнению с огнеупорностью муллита из шамотов, полученных во вращающейся печи в пересыпающемся слое из разного вида сырья, огнеупорность муллита из шамота в изделиях МКРА-50 отличается на 5–10 °С [11] и составляет 1780 °С.

Качество огнеупора МКРА-50 тесно связано с надежностью работы футеровки. Исследовали пробы огнеупора после службы в сталеразливочном ковше в зоне контакта футеровки ковша со сталью сортамента 0,8кп/пс. Особо уделяли внимание пробам, отобранным в нижнем слое ковша на уровне 3/4 от верха. В пробах огнеупора выделяются три зоны: рабочая, переходная и наименее измененная. Толщина рабочей зоны 2–10 мм, цвет зоны — черный. Переходная зона темно-коричневого цвета толщиной до 20 мм плавно переходит в наименее измененную. Темно-коричневая окраска переходной зоны постепенно меняет интенсивность. Наименее измененная зона имеет цвет исходного огнеупора. Качество футеровки можно оценить по определению температуры размягчения, начала плавления и начала течения футеровки. Температура каплеобразования рабочей зоны 1760 °С, переходной 1710 °С, наименее измененной 1790 °С, плотность соответствующих зон 2,65, 2,55, 2,45 г/см³.

По данным микрорентгеноспектрального анализа на микрозонде «Самеса», в рабочей зоне проб после службы отмечается повышенное содержание элементного железа в сравнении с его количеством в исходном огнеупоре. При переходе от рабочей зоны к переходной и к наименее измененной содержание элементного железа существенно уменьшается. Пик количества железа отмечается в рабочей зоне. Химический состав наименее измененной зоны практически соответствует составу исходного изделия МКРА-50.

Химико-минеральный и фазовый составы рабочей зоны проб огнеупоров после службы представлены железистым монтichelлитом с содержанием FeO 4,61 %, герцинитом $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, алюмосиликатным стеклом переменного состава с показателем преломления $N = 1,51 \div 1,6$. Согласно оптическим свойствам количество Al_2O_3 в таких стеклах колеблется от 37,1 до 60 %. Стекла с высоким содержанием Al_2O_3 имеют температуру плавления 1550–1600 °С [12]. Кроме того, в зоне обнаружены непрозрачные стекла, насыщенные оксидами железа. Известно [12], что с увеличением содержания FeO в стекле от 0,84 до 1,58 % температура расплава повышается до 1660 °С. Самой тугоплавкой фазой среди новообразований является герцинит. В качестве основы для образования этого вида шпинели выступает α - Al_2O_3 , обнаруженный в зернах шамота исходных проб огнеупора. Температура плавления $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ составляет 1800 °С [13]. О процессах шпинелеобразования в футеровке сталеразливочных ковшей сообщается также в статье [14]. Следует отметить, что в рабочей зоне наблюдаются глобулярные металлические корольки на основе железа; обнаружены также остаточный α -корунд, длиннопризматический муллит, лещательеритовое стекло. Доля стекла различного состава около 50 %.

Переходная зона проб огнеупоров состоит из рекристаллизованных сростков муллита с $N = 1,682$. По краям муллит просвечивает черным цветом вследствие насыщения вюститом. В некоторых случаях по границам зерен муллита располагается железистый монтichelлит. Кроме того, обнаружены герцинит и твердые растворы состава $\text{FeO} - \text{Al}_2\text{O}_3$. Количество сростков муллита больше, чем монтichelлита и герцинита. Изредка наблюдаются дисперсные корольки металлической фазы. Структура наименее измененной зоны практически соответствует структуре исходного огнеупора. Микроструктура проб огнеупора МКРА-50 после службы показана на рис. 1. Таким образом, высокая температура каплеобразования рабочей зоны объясняется химико-минеральным составом — образованием тугоплавких соединений, и прежде всего герцинита, в процессе диффузии вюстита, растворенного в стали. Этим же объясняется и высокая плотность рабочей зоны.

О насыщении FeO приповерхностного слоя футеровки сообщают авторы статей [15, 16]. Молекулы FeO поступают в огнеупор при взаимодействии футеровки с окисленным металлом. Количество FeO, переходящего из расплава в футеровку, возрастает с увеличением

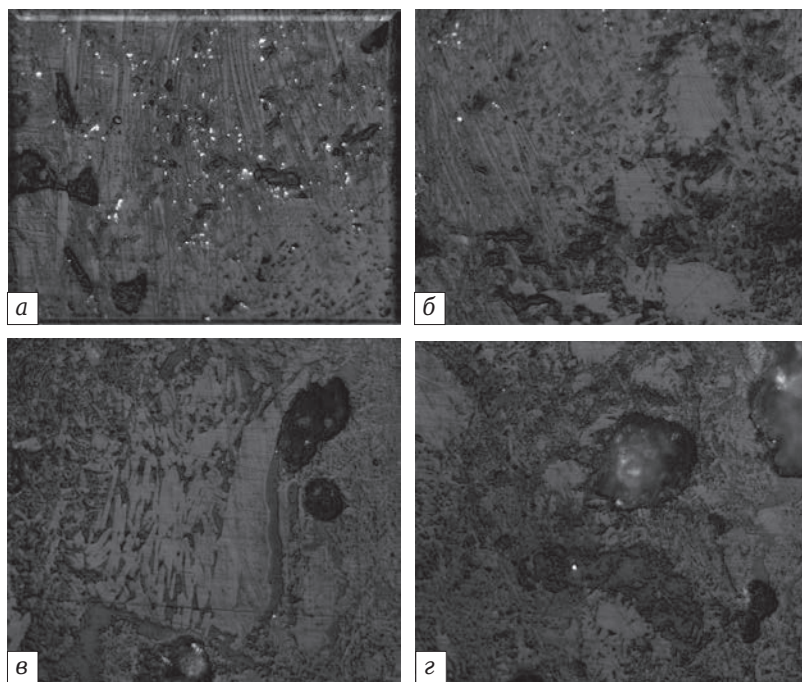


Рис. 1. Микроструктура футеровки из огнеупоров МКРА-50 после службы в сталеразливочном ковше: а — рабочая зона; б — переходная зона; в — наименее измененная зона; з — королек металла. $\times 500$. Свет отраженный

выдержки и площади футеровки; плотность поверхностного слоя растет. Об образовании герцинита в футеровке за счет FeO металла сообщается также в публикации [17]. Обнаружение автором настоящей статьи в ходе исследований дисперсных глобулярных королек металла на основе железа в рабочей зоне огнеупора объяснить простым затеканием металлического расплава в структуру огнеупора невозможно (см. рис. 1, а, з). Известно, что ниже 570°C вюстит термодинамически неустойчив и в равновесных условиях распадается на Fe и Fe_3O_4 . Авторами статьи [18] зафиксированы вюстит и продукты его распада в окалине, собранной с поверхности расходуемого электрода после переплава армко-железа (рис. 2). Кроме того, на возможность существования в жидкой стали комплексов состава Me_xO указывают исследователи Э. В. Криночкин, С. Т. Курочкин и другие [18]. Образование дисперсных металлических королек в пробах после службы происходит в результате конденсации и диспропорционирования вюстита, а также комплексов типа Me_xO с появлением структур распада, в том числе железосодержащих металлических фаз. В стали присутствуют марганец и кремний. Согласно [19] наблюдается газообразное соединение $\text{Mn}(\text{CO})_5$ с $\Delta H = -2750$ кДж/моль, поэтому можно предположить, что в футеровку кроме субоксидов диффундируют газообразные комплексы типа $\text{Mn}(\text{CO})_5\text{--SiO}$.

О существовании SiO в жидкой стали известно [18]. Имеются сведения, что образующийся в металле CO свидетельствует о зарождении газовой фазы или может выделяться в уже существующие пузырьки других газов. Следует отметить, что авторы статьи [18] с применением микрорентгеноспектрального анализа зафиксировали также в глобулах со структурой распада кремний и следы железа.

Газообразные субоксиды и комплексы диффундируют также и в переходную зону. Об этом свидетельствует повышенное содержание в ней элементного железа. Косвенно на повышенное содержание железа в переходной зоне указывает также ее темно-коричневый цвет. Повышенная температура каплеобразования рабочей зоны свидетельствует о том, что образующаяся рабочая зона пре-

дохраняет футеровку от коррозии и эрозионного воздействия расплавленного металла.

Реакции металлов с оксидами имеют большое значение для получения огнеупорных материалов. В сплавах, содержащих углерод, процессы взаимодействия расплавленного металла с огнеупором происходят интенсивнее, так как оксиды углерода являются стабильными и летучими соединениями [17]. При этом огнеупор насыщается FeO , увеличивая свой окислительный потенциал. Согласно данным [15, 16] для раскисленного металла происходит обратное восстановление FeO из футеровки (из периклазовых, алундовых огнеупоров) в металл, что способствует его вторичному

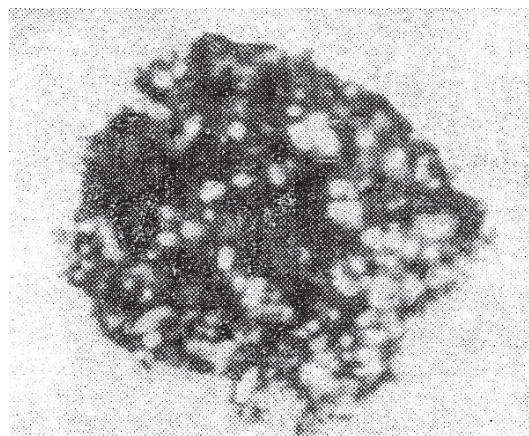


Рис. 2. Продукты распада вюстита

окислению. В состоянии равновесия для огнеупоров на основе Al_2O_3 при 1873°C содержание кислорода составляет около 0,07 мас. %, так как при $\Delta G = 0$ железо, оксид алюминия и герцинит имеют единичную активность. Показатель насыщения для железа, находящегося в контакте с чистым FeO при этой температуре, составляет 0,22 мас. %. Активность FeO в герцините, находящегося в контакте с железом и Al_2O_3 , составляет $1/3$ [17].

В настоящее время широко применяют огнеупорные изделия на основе MgO . Растворимость магния в железе практически равна нулю [17]. Известно [13], что содержание кислорода в железе будет увеличиваться вплоть до насыщения при одновременном растворении тигля из периклаза [13]. Установлено [17], что через 22 ч выдержки металла в тиглях из оксида магния в железе концентрация кислорода составляет 0,15 %. Для более грубых поверхностей тиглей из MgO скорость накопления кислородом значительно выше. Таким образом, несмотря на то, что у магния сродство к кислороду выше, чем у алюминия, а растворимость магния в железе ниже, в качестве огнеупорного материала лучше использовать оксид алюминия [17]. На это указывают приведенные автором настоящей статьи данные, а также ранее проведенные исследования футеровки после службы.

Следует учесть, что магний может образовывать субоксиды магния. Субоксиды магния наблюдали при получении магния электролизом [20]. Особое внимание следует уделить данным академика Ф. Т. Решетникова о существовании субоксидов магния и кальция [21].

Субоксиды магния диспропорционируют на магний металлический и соответствующий оксид. К тому же вследствие большого сродства к кислороду магний применяют в качестве раскислителя в производстве стали и цветных металлов. Ввиду большого сродства к азоту магний способен образовывать в сталях и сплавах включения нерастворимого нитрида магния Mg_3N_2 , снижающего их коррозионную стойкость и ухудшающего пластические свойства [22]. Известны нитриды магния состава $\text{Э}_3\text{M}_4$ (Э — элемент, M — азот). Растворимость азота в жидком металле 0,007–0,012 %, в высоколегированных сталях до 0,02–0,30 %. В мартеновской стали растворимость азота меньше, чем в электростали. Следует учесть, что азот приводит к старению металла.

В настоящее время существенно изменились подходы к высоконадежным конструкционным материалам. Среди факторов, снижающих срок эксплуатации металлоизделий,

имеют место и оксидные неметаллические включения. Неметаллические включения на основе $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ присутствуют в низколегированных сталях различных производителей. Коррозионная активность таких неметаллических включений подтверждена многими исследователями. Включения могут образовываться как в результате раскисления металла, так и в процессе разрушения футеровки. Механизм их образования можно оценить с применением комплексных методов исследования, в том числе технической петрологии. Механизм вторичного окисления металлического расплава за счет футеровки играет существенную роль при производстве ответственных конструкционных сталей. Особенно это явление усиливается при более высоких значениях удельной поверхности футеровки.

Приведенные в настоящей статье результаты исследований не только представляют научный интерес, но и способствуют правильному выбору того или иного огнеупорного материала для футеровки металлургического агрегата, в том числе сталеразливочных ковшей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Подкорытов, А. П.** Комплексный подход к футеровке промежуточных ковшей с целью увеличения серийности разливки открытой струей // *А. П. Подкорытов, П. Вольф, И. Ю. Семион* [и др.] // *Сталь*. — 2013. — № 1.
2. **Гартен В.** Комплектация и оснащение технологического участка заделки монолитной футеровки сталеразливочных ковшей металлургического предприятия : тезисы докладов на Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва) / *В. Гартен* // *Новые огнеупоры*. — 2013. — № 3. — С. 18.
3. **Вакалова, Т. В.** Повышение плотности алюмосиликатной керамики на основе огнеупорного глиносодержащего сырья : тезисы докладов на Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (14–15 марта 2013 г., Москва) / *Т. В. Вакалова, Н. С. Крашенинникова, А. А. Решетова* [и др.] // *Новые огнеупоры*. — 2013. — № 3. — С. 28.
4. **Борисова, Ю. А.** Опыт эксплуатации периклазоуглеродистой футеровки в сталеразливочных ковшах электросталеплавильного цеха // *Ю. А. Борисова, Е. В. Мурашко, Н. А. Босякова* [и др.] // *Сталь*. — 2012. — № 3. — С. 33–36.
5. **Абдрахманов, Р. И.** Эксплуатация сталеразливочных ковшей с различными огнеупорными футеровками / *Р. И. Абдрахманов, С. В. Шевченко, А. Ю. Игонин* // *Сталь*. — 2012. — № 3. — С. 30–33.
6. **Аксельрод, Л. М.** Развитие огнеупорной отрасли — отклик на запросы потребителей / *Л. М. Аксельрод* // *Новые огнеупоры*. — 2013. — № 3. — С. 107–123.

7. **Аксельрод, Л. М.** Десятая международная конференция огнеупорщиков и металлургов в Москве / Л. М. Аксельрод // *Сталь*. — 2012. — № 7. — С. 12–18.
8. **Тассо, П.** Современные огнеупорные материалы для сталеразливочного и промежуточного ковшей / П. Тассо // *Сталь*. — 2011. — № 7. — С. 40–42.
9. Огнеупоры и огнеупорные изделия. В 3 т. Т. 3. — М. : Изд-во стандартов, 1988. — 427 с.
10. Запорожские огнеупоры : каталог продукции. — Запорожье : Заря, 2002. — 141 с.
11. **Шарапова, В. В.** Актуальные вопросы использования шлама нормального электрокорунда при производстве алюмосиликатных огнеупоров / В. В. Шаропова // *Новые огнеупоры*. — 2013. — № 3. — С. 35, 36.
12. **Мазурин, О. В.** Свойства стекол и стеклообразующих расплавов. В 6 т. Т. 1 / О. В. Мазурин, М. В. Стрельцина, Т. П. Швайко-Швайковская. — Л. : Наука, 1973. — 443 с.
13. Термические константы веществ : справочник. В 12 т. Т. 6 ; под ред. В. П. Глушко. — М. : АН СССР ВИНТИ, 1972. — 573 с.
14. **Вислогузова, Э. А.** Роль процессов шпинеле- и карбидообразования в оксидоуглеродистых огнеупорах для сталеразливочных ковшей / Э. А. Вислогузова, Л. В. Серова, Е. В. Чудинова // *Сталь*. — 2011. — № 1. — С. 22–24.
15. **Ромашкин, А. Н.** Влияние футеровки на окисленность металлического расплава / А. Н. Ромашкин, А. В. Дуб, Т. В. Морозова [и др.] // *Электрометаллургия*. — 2008. — № 12. — С. 23–33.
16. **Wanibe, V.** Transactions of the ISIj / V. Wanibe, T. Shimoda // 1983. — Vol. 23, № 7. — P. 608–618.
17. **Кубашевский, О.** Металлургическая термохимия / О. Кубашевский, С. Оллок. — М. : Металлургия, 1980. — 390 с.
18. **Никитин, Б. М.** О взаимной системе Fe–Fe₂O₃–SiO₂–Si / Б. М. Никитин, В. П. Пирожкова, А. К. Петров // *Изв. АН СССР. Металлы*. — 1977. — № 5. — С. 57–64.
19. Термические константы веществ : справочник. В 12 т. Т. 7; под ред. В. П. Глушко. — М. : АН СССР ВИНТИ, 1974. — 573 с.
20. <http://depprom.ru/metallurgiya-magniya/uprugost-parov-magniya.html>.
21. www.pravda.ru/science/academy/01-07-2011/1082348-reshetnikov-o/.
22. Цветное литье : справочник ; под ред. Н. М. Голдина. — М. : Машиностроение, 1988. — 589 с. ■

Получено 12.04.13
© В. В. Шаропова, 2013 г.



ТЕРМООБРАБОТКА

Восьмая международная специализированная выставка

Единственная в России
выставка термического
оборудования и технологий

9 - 11 сентября 2014

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 5

9-10 сентября

Международная конференция
«ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ТЕРМООБРАБОТКИ»

Разделы выставки:

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

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

Информационная поддержка:



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



Организатор:
Мир-Экспо

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



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 авторское право на публикацию ее в журнале. В качестве гонорара авторы получают 1 экземпляр журнала или оттиск своей статьи, который высылается первому автору или любому другому (по указанию авторов). Направление в редакцию работ, опубликованных или посланных для напечатания в редакции других журналов, не допускается.
- Статья, пришедшая в редакцию от зарубежных авторов, вначале отдается на рецензирование, редактируется, переводится на русский язык и публикуется в журнале «Новые огнеупоры». Затем статья отправляется на публикацию в журнал «Refractories and Industrial Ceramics» вместе с английской версией, присланной автором. Таким образом, конечный вариант статьи, опубликованный в журнале «Refractories and Industrial Ceramics», может немного отличаться от первоначального, присланного авторами. Статья, опубликованная в журнале «Новые огнеупоры», в формате PDF высылается авторам по e-mail.

RULES OF DRAWING UP OF ARTICLES

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

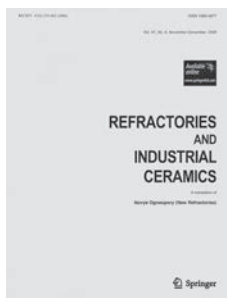
Технические требования к рекламе внутри журнала «Новые огнеупоры» (для каждой страницы)

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

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

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

ВНИМАНИЕ!



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

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

www.springerlink.com/content/1083-4877.

Редакция

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет»,
г. Самара, Россия

УДК 666.774.017:532.135

ВЛИЯНИЕ ПИРОФИЛЛИТА НА СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И УСАДОЧНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ДЛЯ КИСЛОТОУПОРОВ

Показано существенное влияние количества пиррофиллита на структурно-реологические свойства керамических масс для производства кислотоупоров. Установлено, что усадка исследуемых керамических композиций уменьшается с возрастанием содержания в них пиррофиллита и увеличивается при его помоле.

Ключевые слова: пиррофиллит, реологические параметры, дисперсные структуры, керамические массы, кислотоупоры, глинистые материалы, упруго-пластично-вязкие свойства.

Реологические параметры определяются молекулярными силами сцепления между элементами структуры, взаимодействия элементов между собой и с молекулами дисперсионной среды, особенно от их теплового движения. Изменяя эти факторы путем подбора композиций с различным содержанием отощителя и глинистого материала, можно регулировать реологические свойства дисперсных структур и тем самым уменьшить процессы разрушения, протекающие при формовании и сушке керамических изделий [1–8].

Массы для формования опытных образцов готовили из глинистых материалов и пиррофиллита, измельченного до следующего зернового состава, %: фракции крупнее 1 мм 12–15, 1–0,5 мм 20–25, 0,5–0,2 мм 30–40, мельче 0,2 мм 30–32. Упруго-пластично-вязкие показатели керамических масс, как и в предыдущих работах [1–8], определяли на сдвиговом приборе, пластическую прочность — на горизонтальном коническом пластометре при постоянных скорости ($0,052 \cdot 10^{-3}$ м/с) и глубине внедрения конуса. Оптимальную формовочную влажность керамической шихты различного состава устанавливали графически по кривым зависимости пластической прочности P от влажности W . Прочность керамических масс оценивали на разрывной машине при постоянной скорости

деформации, составляющей $0,0415 \cdot 10^{-3}$ м/с. Тщательную обработку керамических составов производили на эффективном смесителе «ВНИИстром-100».

Влияние количества пиррофиллита в керамической смеси на структурно-реологические параметры исследовали на составах, приведенных в табл. 1. Результаты исследований упруго-пластично-вязких свойств исследуемых составов при влажности, соответствующей формовочной, приведены в табл. 2 (при $W_{отн} = 24\%$). Сырьевые материалы: ГЦИ, чапаевский каолин и пиррофиллит — достаточно хорошо изучены [9–11].

Преобладающее развитие быстрых эластичных деформаций у масс составов 4 и 8 свидетельствует о плохой формуемости и склонности к хрупкому разрушению структуры. Увеличение в составах глинистого компонента способствует развитию пластических деформаций и выявляет склонность к пластическому разрушению и свилеобразованию при формовании изделий (см. табл. 2, составы 1 и 5). Отличительной особенностью структуры массы составов 4 и 8 является ее низкая способность к растяжению, причем более низкая у массы состава 8. Так, предел прочности при растяжении δ образцов состава 4 при формовочной влажности составляет $17,78 \cdot 10^{-3}$ Па,

Таблица 1. Составы керамических масс

Компонент	Содержание компонента, мас. %, в составе							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Глинистая часть хвостов гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ)	70	60	50	40	—	—	—	—
Чапаевский каолин	—	—	—	—	70	60	50	40
Пиррофиллит	30	40	50	60	30	40	50	60

Таблица 2. Физико-механические свойства керамических масс

Номер состава	$P, 10^{-3} \text{ Па}$	$K_v, \%$	$B, 10^{-3}$	$\delta, 10^{-3} \text{ Па}$	$E_{отн}, \%$	Деформация, %		
						E_1	E_2	E_3
1	88	3,4	6,0	42,7	11,8	20,8	11,2	63,1
2	67	3,2	6,12	32,8	9,7	27,1	16,4	57,3
3	45	3,0	6,60	24,4	8,4	33,4	18,2	49,2
4	41	2,8	8,48	17,78	6,0	38,2	20,8	44,1
5	74	5,0	5,88	40,8	10,8	21,3	12,2	64,0
6	58	3,8	6,34	32,0	8,8	28,3	17,3	58,1
7	40	3,6	6,78	22,0	8,0	33,7	18,5	49,8
8	35	2,8	8,58	16,8	5,7	36,8	21,4	45,2

а у образцов состава 8 $16,8 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$ (табл. 2). Иначе говоря, δ образцов на основе ГЦИ выше, чем у образцов на основе чапаевского каолина, за счет более высокой пластичности ГЦИ (число пластичности ГЦИ 20–25, чапаевского каолина 15–18). Соответственно, и относительная деформация при растяжении $E_{отн}$ образцов на основе ГЦИ (см. табл. 2, составы 1–4) выше, чем у образцов на основе чапаевского каолина (см. табл. 2, составы 5–8). С увеличением количества пиррофиллита $E_{отн}$ уменьшается (см. табл. 2), что свидетельствует о снижении связующей способности и низкой способности образцов составов 4 и 8 противостоять напряжениям, возникающим в процессах формования и сушки.

Анализ табл. 2 показывает, что содержание в шихте 50 % глинистых материалов способствует развитию в смеси пластической деформации до 49,2 и 49,8 % соответственно у образцов составов 3 и 7, что придает шихте удовлетворительную формуемость. При дальнейшем увеличении содержания пластичного компонента в составах пластические деформации приближаются по величине к пластическим деформациям глинистых материалов, а следовательно, предопределяют свилеобразование в массе при формовании.

Глинистая часть хвостов гравитации (ГЦИ) в отличие от чапаевского каолина характеризуется сравнительно высокой однородностью свойств, так как получается после дезинтеграции и грохочения руды в виде пульпы влажностью 37–45 %, в результате чего усредняется. Чапаевский каолин, как и всякая традиционная природная глина, характеризуется неоднородностью. Так, коэффициент вариации K_v показателей пластической прочности, характеризующей однородность свойств массы, у состава 1 составляет 3,4 %, у состава 5 5,0 % (см. табл. 2). При увеличении содержания в шихте пиррофиллита K_v снижается у образцов на основе чапаевского каолина с 5,0 до 2,8 %, а на основе ГЦИ незначительно — с 3,4 до 2,8 %, что свидетельствует об увеличении однородности шихты.

Экспериментальные исследования, проведенные в ВНИИстроме им. П. П. Будникова, определили, что для получения качественных изделий K_v показателей свойств формовочных глинистых масс должен быть ниже 5 %.

При увеличении влажности массы закономерно снижаются наибольшая пластическая вязкость, условный модуль деформации, условный статический предел текучести и величина критерия B данного состава. Критерий B предложен [12] для оценки качества керамических масс и выбора оптимального варианта сырьевых смесей:

$$B = \lambda \eta \theta / P_{k1},$$

где λ — медленная эластичность; η — вязкость; θ — период истинной релаксации; P_{k1} — предел текучести.

Установлено, что чем больше величина B , тем качественнее по технологическим свойствам состав смеси. Снижение пластической вязкости, условных модуля деформации и статического предела текучести, а также величины критерия B объясняется уменьшением сил межмолекулярного притяжения вследствие развития сольватных слоев и появления в системе значительного количества свободной воды. Уменьшение капиллярных сил объясняется ростом расстояний между частицами. При увеличении влажности до 28 % пластическая прочность составов 4 и 8 уменьшается в 2,0–2,5 раза. При этом значительно снижается предел прочности при растяжении, что приводит к нарушению процесса формования и к искажению конфигурации изделий. Последнее можно устранить путем вылеживания керамической шихты.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о существенном влиянии пиррофиллита на структурно-реологические свойства керамических масс для производства кислотоупоров. Так как пиррофиллит как отощитель в

процессе сушки при пластическом формовании играет важную роль, т. е. способствует ускорению процесса сушки, были изучены усадочные свойства системы глинистый компонент – пиррофиллит – вода. Методика изучения описана в публикациях [1–8].

Изменение усадки в зависимости от отношения П/ГК (ГК – глинистый компонент, П – пиррофиллит) закономерно отражает изменение характерных влагосодержаний в шихте. Чем меньше адсорбированной влаги в них, тем ниже усадка. Это объясняется тем, что в системе с меньшим количеством адсорбированной влаги, т. е. с менее активной поверхностью и менее развитыми водными прослойками, происходят большее сближение частиц и быстрое образование контактов между частицами. На рисунке показана зависимость усадки смесей от отношения П/ГК при формовочной влажности 25 %. Видно, что от П/ГК = 0 до П/ГК = 1,5 усадка сильно уменьшается.

Кривые усадки керамических масс в отличие от кривых усадки глинистых компонентов имеют два участка. В рассматриваемых системах доминирующим по массе и объему является пиррофиллит, практически не дающий усадку. В начале сушки происходит общая капиллярная контракция системы, которая продолжается недолго и заканчивается уже при $W = 20 \div 25 \%$, так как грубодисперсные твердые частицы пиррофиллита быстро образуют контакты. Но усадка глинистой составляющей системы продолжается, причем в большей степени это происходит в ГЦИ, так как она содержит до 10 % монтмориллонита в отличие от чапаевского каолина. Это приводит к уменьше-

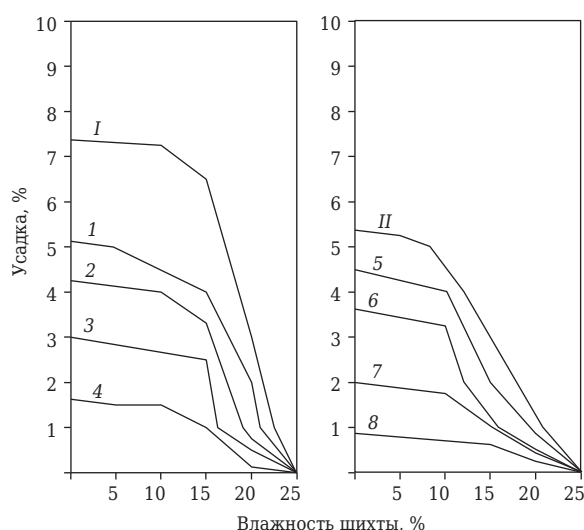
нию объема глинистого компонента в системе, т. е. к увеличению общей пористости, так как общая усадка системы изменяется медленнее, чем самостоятельная усадка глины. Таким образом, пологий участок на кривой усадки керамической массы является следствием продолжающейся самостоятельной усадки глины. Примерное совпадение влажности конца усадки глинистых компонентов и керамических масс исследуемых составов подтверждает сделанные выводы. На пологом участке кривой $\delta = f(W)$ действует механизм усадки за счет межмолекулярных сил притяжения частиц системы.

Особый интерес представляют составы 3 и 7, намеченные к промышленному использованию, в которых оптимальное содержание глинистых компонентов 50 % по формующей способности и отощителя 50 %. Эти смеси вначале имеют меру усадки соответственно 0,37 и 0,34 (при влажности 26 %), а при влажности 24 и 22 % — соответственно 0,33 и 0,28. Такой характер процесса усадки оптимальных смесей достаточно стабилен. Изменение начальной влажности материала вызывает соответствующий сдвиг точки перегиба на кривой $\delta = f(W)$.

Исследование усадки керамических масс в зависимости от дисперсности пиррофиллита показало, что его тонкий помол (исключение фракций > 1 мм и увеличение количества фракций $< 0,2$ мм до 45 %) повышает усадку составов 3 и 7 соответственно до 4 и 3 %. Таким образом, усадка керамических композиций уменьшается с возрастанием содержания в них пиррофиллита.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абдрахимов, В. З.** Влияние глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд на структурно-реологические свойства керамических масс / В. З. Абдрахимов // Комплексное использование минерального сырья. — 1992. — № 5. — С. 72–74.
2. **Абдрахимов, В. З.** Влияние композиции золы и глинистой части «хвостов» гравитации обычной и диспергированной на структурно-реологические свойства керамических масс / В. З. Абдрахимов // Комплексное использование минерального сырья. — 1992. — № 10. — С. 54–56.
3. **Абдрахимова, Е. С.** Исследование характера структурных связей в глинистых суспензиях / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Вестник ВКТУ. — 1999. — № 1. — С. 53–62.
4. **Абдрахимов, В. З.** Исследование структурно-реологических свойств керамических масс для производства кирпича / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, В. П. Долгий // Изв. вузов. Строительство. — 2004. — № 12. — С. 35–37.



Кривые усадки глинистых компонентов и керамических масс: I — ГЦИ; II — чапаевский каолин: 1–8 — составы (см. табл. 1 и 2)

5. **Абдрахимов, В. З.** Исследование структурно-реологических свойств керамических масс для производства черепицы из техногенного сырья / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, А. В. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2006. — № 8. — С. 28–32.

6. **Абдрахимов, В. З.** Исследование упруго-пластично-вязких показателей, влагопроводности и усадочных свойств глинистых материалов / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, И. В. Ковков [и др.] // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 2. — С. 74–81.

7. **Абдрахимова, Е. С.** Структурно-реологические свойства глинистых материалов различного химико-минерального состава / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов, А. В. Абдрахимов // Материаловедение. — 2004. — № 3. — С. 50–56.

8. **Абдрахимов, В. З.** Реология самарских легкоплавких глин / В. З. Абдрахимов // Строительный вестник Российской инженерной академии. — 2008. — Вып. 9. — С. 7–20.

9. **Абдрахимова, Е. С.** Физико-химические методы исследования минералогического состава и структуры пористости глинистой части «хвостов» гравитации» циркон-ильменитовых руд / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Новые огнеупоры. — 2011. — № 1. — С. 25–29.

10. **Абдрахимова, Е. С.** Физико-химические процессы при обжиге кислотоупоров / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов. — СПб. : Недра, 2003. — 288 с.

11. **Абдрахимова, Е. С.** Физико-химические исследования пиррофиллита Никольского месторождения / Е. С. Абдрахимова // Новые огнеупоры. — 2010. — № 2. — С. 10–12.

12. **Вялов, С. С.** Реологические основы механики грунтов / С. С. Вялов. — М. : Высшая школа, 1978. — 447 с. ■

Получено 18.01.12
© Е. С. Абдрахимова,
2013 г.

Представительство Promat GmbH

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

Promat
High Performance Insulation

УНИКАЛЬНЫЕ МИКРОПОРИСТЫЕ ПЛИТЫ STEELFLEX ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ



Достоинства применения в сталковшах:

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

Выпускаемая продукция:

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

Приглашаем Вас оценить все достоинства эффективного применения продукции PROMAT:

Виртуальный калькулятор расчёта температуры на холодной стенке
<http://www.microthermgroup.com/high/EXEN/site/calculator.aspx>

Ищем партнеров для развития дистрибьюторской сети в регионах.



К. Т. Н. В. В. Непомнящий, К. Т. Н. С. М. Волощенко, К. Т. Н. Т. В. Мосина,
Д. Т. Н. К. А. Гогаев, К. Т. Н. М. Г. Аскеров, К. Т. Н. А. М. Миропольский

Институт проблем материаловедения НАН Украины им. И. Н. Францевича,
г. Киев, Украина

УДК 669.056.9:[666.852:621.94

ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНЫМИ ПОРОШКАМИ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С КЕРАМИЧЕСКИМИ ТУГОПЛАВКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ (МЕХАНИЧЕСКИЕ СМЕСИ)

Приведены исследования магнитно-абразивных порошков, полученных механическим смешиванием исходных компонентов в присутствии поверхностно-активных веществ и клеящих материалов. Показано, что изготовленные абразивные порошки по своим эксплуатационным характеристикам не уступают известным порошкам, полученным распылением, спеканием, размолом и другими известными способами.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка (МАО), поверхностно-активные вещества (ПАВ), ЭД-20 — эпоксидная термореактивная смола, суммарные силы резания, режущая и полирующая способность порошков, изометрическая форма частиц, углы резания и радиусы округления режущих выступов.

Несмотря на теоретические и практические результаты, полученные в области магнитно-абразивной обработки (МАО) деталей различных машин и механизмов, необходимо отметить, что в основном эти работы были направлены на изучение кинетики формирования полирующего слоя, исследования влияния магнитно-абразивных порошков на снятие микростружки, а также на разработку различных устройств и приспособлений у станков для МАО. Для исследований использовали порошки, полученные известными методами: сплавлением железа с тугоплавкими соединениями и их распылением, формованием заданных композиций их спеканием, размолом, рассевом и т. д. Сведения о порошках магнитно-абразивных материалов (МАО), полученных механическим смешиванием задаваемых компонентов, в литературе отсутствуют.

Для решения этой задачи в состав композиционных порошков вводили поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной вязкости (типа олеиновой кислоты, трансформаторного масла) и термореактивные эпоксидные смолы (ЭД-20), которые использовали как в отдельности, так и в смеси с ПАВ. Композиционный абразивный порошок с применением ПАВ получали следующим образом: в смеситель загружали расчетное количество железного порошка заданной фракции, в него добавляли олеиновую кислоту, перемешивали до равномерного распределения ПАВ на его поверхно-

сти. В обработанный таким образом порошок железа вводили карбид кремния (или другой тугоплавкий абразив) и перемешивали до получения однородной смеси. Для улучшения технологических и эксплуатационных свойств в смесь добавляли трансформаторное масло и перемешивали до однородного состояния. В результате происходило приклепление абразива к железному порошку. Соотношение используемых компонентов, мас. %: железный порошок 50–52, абразивный порошок 40–42, олеиновая кислота 2,5–3,0, трансформаторное масло 2,5–3,0. Затем порошок помещали в закрытую емкость и в дальнейшем использовали по назначению.

Получение магнитно-абразивных порошков (МАП) с использованием эпоксидной смолы ЭД-20 осуществлялось по такой же технологической схеме. Порошки помещали на противни для окончательной полимеризации эпоксидной смолы и приклепления абразива к поверхности ферромагнетика. Для улучшения технологических и эксплуатационных свойств в композиционный абразивный порошок вводили олеиновую кислоту. После этого порошок помещали в закрытую емкость и использовали по назначению. Абразивный порошок показан на рис. 1. Полученный порошок представляет собой сыпучую, агрегированную однородную массу с равномерным распределением абразива и других компонентов.

При получении композиционных абразивных порошков путем механического смешива-

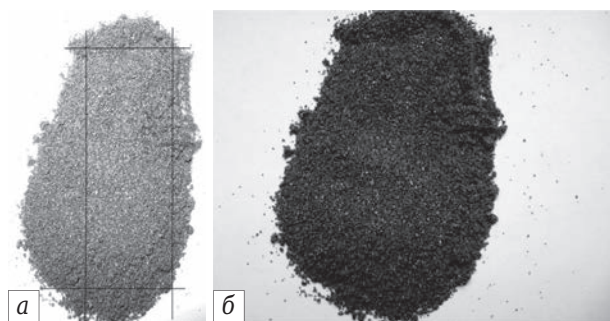


Рис. 1. Абразивные порошки на основе железа с карбидом кремния и органическими присадками: а — олеиновой кислоты; б — эпоксидной смолы

ния компонентов в присутствии ПАВ и других органических соединений, по-видимому, имеет место физико-химическое взаимодействие поверхностей исходных компонентов с органическими соединениями за счет функциональных групп COO и COOH , имеющих в их составе, и кислорода в окисленном и сорбированном состоянии, содержащегося на поверхности ферромагнетика и абразива. Хемосорбционная связь между матрицей и абразивом, а также проявление магнитных, фрикционных, адсорбционных сил, которые возникают при МАО, достаточны для удержания абразивных порошков на обрабатываемой поверхности и осуществления процесса МАО. Присутствие на обрабатываемой поверхности олеиновой кислоты позволяет сделать вывод о ее расклинивающем действии на микротрещины вновь образованной поверхности, т. е. о проявлении эффекта П. А. Ребиндера в процессе МАО [1, 2].

Получаемые порошки МАМ механическим смешиванием с использованием ПАВ по эксплуатационным характеристикам находятся на уровне порошков, изготовленных известными способами. Метод МАО обеспечивает высокий уровень воспроизводимости технологических и эксплуатационных свойств композиционных абразивных порошков. К преимуществам метода следует отнести возможность получения широкого спектра МАП с различными абразивными компонентами по простой технологической схеме, исключить высокотемпературный нагрев, избежать при этом всех сопутствующих твердофазовых реакций. При оптимизации состава порошков в качестве абразивного компонента использовали порошки карбида кремния, а в качестве матрицы применяли восстановленные или распыленные порошки железа. Проведенные исследования позволили подобрать оптимальный состав МАМ (железо 50 мас. %, карбид кремния 40 мас. %, ПАВ и ЭД-20 10 мас. %), который обеспечил значительный уровень режущей способности, рав-

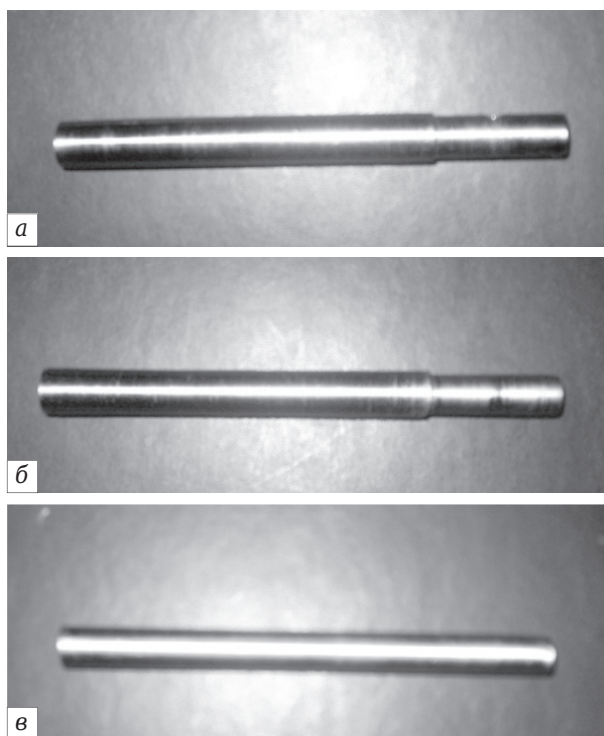


Рис. 2. Образцы после полирования: а — сталь 3; б — сталь 45; в — латунь ЛС 59

ный $9,35 \cdot 10^{-5}$ г/(мм²·мин), и высокую стойкость (25–30 мин). Содержание железа в составе композиционного абразивного порошка менее 30 об. % приводит к снижению индукции насыщения до 0,28–0,32 Тл, что ухудшает условия удержания порошка в рабочем зазоре.

При этом абразивные порошки теряют свои служебные характеристики. Оптимальные значения магнитных свойств, обеспечивающие удержание МАП в рабочем зазоре, могут быть получены при различном объемном содержании железа в абразивных порошках. Минимальное содержание железа в МАП составляет порядка 35 об. %. В магнитно-абразивных станках с открытыми рабочими зазорами максимальные силы резания определяются механической составляющей за счет заклинивания порошка на выходе из зазора [3]. На рис. 2 показаны образцы, прошедшие МАО. Суммарные силы резания по всему рабочему зазору не только определяются механической составляющей, но и зависят от величины магнитного поля, содержания ферромагнетика и количества абразивных частиц в одном зерне, что определяет число режущих центров, приходящихся на единицу площади обрабатываемой поверхности. Образцы, показанные на рис. 2, указывают на то, что предложенные МАП позволяют осуществлять обработку образцов на высоком техническом уровне.

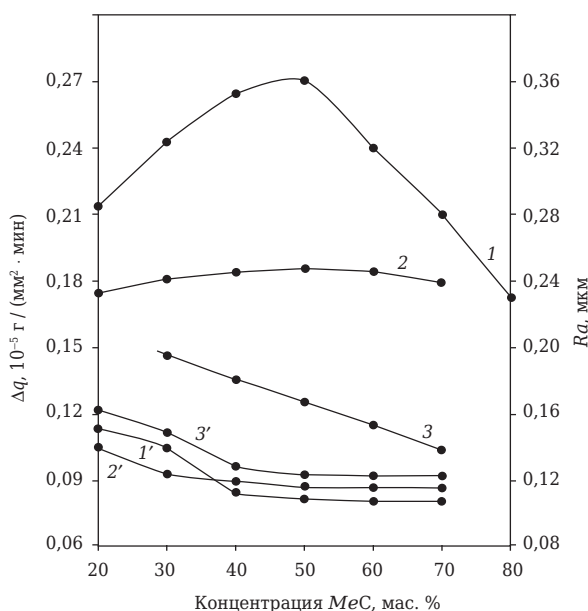


Рис. 3. Зависимости удельного съема q (1–3) материала (сталь 45, HRC 44–45) и его шероховатости Ra (1'–3') от концентрации абразива в механических смесях: 1, 1' – Fe – 40 % SiC; 2, 2' – Fe – 40 % VC; 3, 3' – Fe – 40 % Al_2O_3

Эффективным путем повышения содержания абразива в зерне является уменьшение диаметра частиц. Однако это не всегда оправдано, так как при этом может снижаться съем материала при обработке сравнительно грубых поверхностей за счет уменьшения объема единичных микростружек. При MAO процесс съема материала и формирование нового микропрофиля происходят в результате воздействия на обрабатываемую поверхность частиц абразивного вещества композиционных магнитно-абразивных зерен. Режущая и полирующая способность абразивных частиц определяется их прочностью, твердостью, геометрическими размерами и другими свойствами. В условиях MAO следует ожидать, что эксплуатационные свойства МАМ будут в первую очередь зависеть от параметров геометрии частиц абразивного компонента [4].

В качестве абразивных компонентов использовали стандартные порошки традиционных абразивных материалов: карбида кремния, электрокорунда белого, карбида бора и др. [3]. Из рис. 3 видно, что наибольший съем металла наблюдается при использовании композита на основе железа и карбида кремния; съем вначале растет, потом уменьшается. Это можно объяснить выравниванием профильной поверхности и переходом от микрорезания к диспергированию. В ряду композиций, показанных на рис. 4, видно, как происходит уменьшение индукции насыщения, которое зависит от раз-

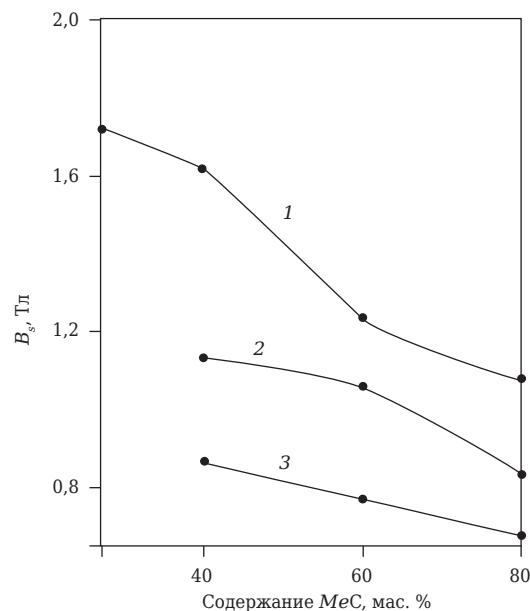


Рис. 4. Изменение индукции B_s от состава: 1 – SiC; 2 – VC; 3 – Al_2O_3

личного содержания абразивов в составе композиций.

Режущая и полирующая способность порошка может изменяться в зависимости от вида и дисперсности абразивного компонента ($Q_{y4} = 30$ мин) для выбранных условий испытаний и зернистости МАМ (100/80 и 200/160). Очевидно, что режущая и полирующая способность МАМ в значительной степени зависит от геометрических параметров частиц абразивного компонента (радиусов округления и углов режущих выступов). Уменьшение твердости обрабатываемого материала однозначно определяет съем при полировании, хотя при этом растут глубина резания и в то же время ее критическое значение, при котором происходит переход от пластической деформации к диспергированию. В зависимости от того, какой из этих процессов превалирует, съем может увеличиваться или уменьшаться [5]. В таблице приведены данные об удельной способности МАП в зависимости от составов.

Известно, что абразивные частицы тугоплавких переходных металлов 4–6-й групп Периодической системы имеют более изометрическую форму с несколько большими углами резания и радиусами округления режущих выступов, чем на основе ионных соединений (корунды) или ковалентных карбидов, нитридов кремния, алюминия и др. Для быстрого получения минимальной шероховатости абразивный компонент должен обеспечить МАМ режущую способность, при которой происходят эффективное удаление следов предшествую-

Состав	Исходная шихта, мас. %	Характеристика МАМ	
		удельная режущая способность, 10^{-5} г/(мм ² · мин)	удельная полная абразивная способность, 10^{-4} г/мм ²
1	SiC — 20, Fe — 70 (ПЖ4МЗ), ПАВ — 10	1,781	0,713
2	SiC — 20, Fe — 70 (ПЖ4МЗ), ЭД-20 — 10	2,134	1,054
3	SiC — 20, Fe — 70 (ПЖ4МЗ), ПАВ, ЭД-20 — 10	2,515	1,256

щей обработки и формирование нового микро-профиля полируемой поверхности с малой высотой неровностей.

Благодаря достаточно высокой стойкости и возможности широкого варьирования режущей и полирующей способности за счет использования необходимого количества абразивного компонента и выбора его дисперсности МАМ, полученные механическим смешиванием с использованием ПАВ различной вязкости и клеящих органических веществ, могут быть рекомендованы для решения широкого круга технологических задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологическая схема формирования механических смесей с использованием ПАВ и органических клеящих веществ обеспечивает достаточно высокий уровень эксплуатационных характеристик и не ограничена выбором компонентов системы. ПАВ и органические клеящие материалы прикрепляют абразивные частицы к ферромагнитной основе за счет хемосорбционной связи. При МАО возникают магнитные, фрикционные и сорбционные силы, которые способствуют закреплению абразивов на поверхности матрицы и обрабатываемой поверхности и обеспечивают высокий уровень эксплуатационных характеристик МАМ.

При получении композиционных МАМ оптимальным компонентом шихты, образующим

матрицу, являются восстановленные, распыленные порошки железа. Оптимальное содержание компонентов в МАМ, обеспечивающее высокую абразивную способность и стойкость, составляет: абразивный компонент — 40 % (63,5 об. %), железо — 50 % (33,4 об. %), ПАВ и ЭД-20 — 10 % (3,1 об. %). Магнитно-абразивные материалы обладают высокой полирующей способностью в сочетании с высоким удельным съемом при использовании широкой гаммы абразивных компонентов и могут найти широкое применение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гороховский, Г. А.** Полимеры в технологии обработки металлов / Г. А. Гороховский. — Киев : Наукова думка, 1975. — 224 с.
2. **Хейникес, Г.** Трибохимия / Г. Хейникес. — М. : Мир, 1967. — 582 с.
3. **ГОСТ 3687–80.** Материалы шлифованные.
4. **Кашеев, В. Н.** О мгновенной абразивной способности минерального зерна / В. Н. Кашеев // Изв. вузов. Физика. — 1957. — № 1. — С. 167–174.
5. **Гридадова, Т. Я.** Методы исследования магнитно-абразивных порошков / Т. Я. Гридадова, А. Ф. Жирняк, В. Е. Оливер [и др.] // Порошковая металлургия. — 1981. — № 4. — С. 73–79. ■

Получено 09.07.13

© В. В. Непомнящий, С. М. Волощенко,
Т. В. Мосина, К. А. Гогаев,
М. Г. Аскеров, А. М. Миропольский, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



г. Бильбао, Испания

**WORLD FOUNDRY CONGRESS 2014 —
71-й Всемирный литейный конгресс**

19–21 мая 2014 г.

Статистика

ПРОИЗВОДСТВО ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В РОССИИ В АПРЕЛЕ 2013 г.

Продукция	Апрель 2013 г.	В % к		Январь – апрель 2013 г. / январь – апрель 2012 г., %
		апрелю 2012 г.	марту 2013 г.	
Чугун, млн т	4,0	96,3	95,3	98,5
Ферросилиций, тыс. т	88,9	110,6	96,4	104,4
Феррохром низкоуглеродистый, тыс. т	15,0	80,8	84,4	94,2
Сталь, млн т	5,8	96,8	96,8	95,9
Трубы стальные, тыс. т	836	110,7	98,9	104,0
Из общего количества стальных труб:				
бурильные для бурения нефтяных или газовых скважин из черных металлов (кроме литейного чугуна)	3,9	102,2	134,1	89,8
обсадные	68,0	83,8	86,3	92,5
насосно-компрессорные	34,8	108,3	91,7	106,6
Проволока из железа или нелегированной стали, тыс. т	121	109,3	100,5	112,6
Проволока из нержавеющей стали и прочих легированных сталей, тыс. т	24,2	95,9	100,9	92,8
Алюминий первичный, тыс. т		91,5	95,1	92,3
Оксид алюминия (глинозем), кроме искусственного корунда, тыс. т		93,0	95,7	93,6

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ

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

Продукция	Апрель 2013 г.	В % к		Январь – апрель 2013 г. / январь – апрель 2012 г., %
		апрелю 2012 г.	марту 2013 г.	
Кирпичи, блоки, плитки и прочие огнеупорные изделия из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	4,9	94,2	122,5	81,9
Кирпичи, блоки, плитки и прочие огнеупорные изделия, кроме изделий из кремнеземистой каменной муки или диатомитовых земель, тыс. т	104	88,7	100,3	92,1
Неформованные огнеупоры, в том числе цементы, строительные растворы, огнеупорные бетоны и аналогичные составы, не включенные в другие группировки, тыс. т	86,1	81,9	98,6	91,6
Огнеупорные безобжиговые изделия и прочие, не включенные в другие группировки, тыс. т	24,4	106,1	99,2	106,3
Расслоенный вермикулит, вспученные глины, вспененный шлак (шлаковая пемза) и аналогичные минеральные вспученные материалы, тыс. м ³	332	93,0	100,8	103,4

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА В АПРЕЛЕ 2013 г.

Страна, регион	Апрель 2013 г., тыс. т	Март 2013 г., тыс. т	Апрель 2012 г., тыс. т	Изменение апрель 2013 г. / апрель 2012 г., %	4 мес 2013 г., тыс. т	4 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 4 мес 2013 г. / 4 мес 2012 г., %
Австрия	539	497	510	5,7	2052	1995	2,9
Бельгия	375	400	320	17,2	1481	1319	12,3
Чехия	325	353	343	-5,2	1339	1359	-1,5
Франция	767	894	835	-8,1	3292	3327	-1,1
Германия	2235	2410	2260	-1,1	9079	9074	0,1
Венгрия	48	51	107	-55,1	199	434	-54,1
Италия	662	620	845	-21,7	2368	3388	-30,1
Нидерланды	333	370	488	-31,8	1546	1975	-21,7
Польша	365	365	378	-3,4	1429	1517	-5,8
Словакия	307	334	325	-5,5	1255	1248	0,6
Испания	341	356	338	0,9	1236	1256	-1,6
Великобритания	851	833	505	68,5	2993	1774	68,7
Прочие страны Европы (ЕС-27)	585	467	696	-15,9	2273	2558	-11,1
ЕС (27 стран), всего	7733	7950	7950	-2,7	30543	31224	-2,2
Босния и Герцеговина	65	75	71	-8,5	264	230	14,8
Сербия	0	0	58	-100,0	0	184	-100,0
Турция	798	826	582	37,1	3185	2769	15,0
Прочие страны Европы, всего	863	900	711	21,4	3448	3183	8,3
Казахстан	235	220	264	-11,0	864	982	-12,0
Россия*1	4004	4204	4158	-3,7	16535	16785	-1,5
Украина	2393	2511	2479	-3,5	9665	9599	0,7
СНГ, всего	6669	6966	6936	-3,8	27134	27480	-1,3
Канада	650	670	641	1,4	2532	2626	-3,6
Мексика	410	425	414	-1,0	1632	1626	0,4
США	2650	2780	2923	-9,3	10588	11419	-7,3
Северная Америка, всего	3710	3875	3979	-6,8	14752	15671	-5,9
Аргентина	223	236	231	-3,5	728	922	-21,0
Бразилия	2285	2204	2329	-1,9	8771	9086	-3,5
Чили	45	100	91	-50,5	253	358	-29,3
Колумбия	20	30	30	-33,3	83	118	-29,7
Парагвай	2	2	5	-60,0	8	16	-50,0
Страны Южной Америки, всего	2575	2572	2686	-4,1	9843	10500	-6,3
ЮАР	430	445	466	-7,7	1715	1653	3,8
Иран	136	139	225	-39,6	563	894	-37,0
Китай	60652	61624	56776	6,8	238878	221662	7,8
Индия	4115	4260	3971	3,6	16446	15644	5,1
Япония	6803	7174	6687	1,7	27357	26665	2,6
Южная Корея	3180	3140	3450	-7,8	12959	13876	-6,6
Тайвань	1030	1020	954	8,0	4025	3786	6,3
Страны Азии, всего	75780	77217	71838	5,5	299665	281634	6,4
Австралия	304	285	320	-5,0	1198	1243	-3,6
Новая Зеландия	48	60	58	-17,2	220	209	5,3
Австралия и Океания, всего	352	346	378	-6,9	1418	1452	-2,3
МИР, всего*2	98247	100409	95168	3,2	389082	373690	4,1

*1 По данным Госкомстата.

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

По данным Всемирной ассоциации производителей чугуна и стали (WSA)

МИРОВАЯ ВЫПЛАВКА СТАЛИ В АПРЕЛЕ 2013 г.

Страна, регион	Апрель 2013 г., тыс. т	Март 2013 г., тыс. т	Апрель 2012 г., тыс. т	Изменение апрель 2013 г. / апрель 2012 г., %	4 мес 2013 г., тыс. т	4 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 4 мес 2013 г. / 4 мес 2012 г., %
Австрия	694	640	656	5,9	2637	2572	2,5
Бельгия	625	650	628	-0,5	2459	2529	-2,8
Болгария	40	40	58	-31,2	167	240	-30,3
Чехия	402	458	467	-14,1	1716	1826	-6,1
Финляндия	299	326	380	-21,3	1213	1432	-15,3
Франция	1245	1337	1420	-12,3	5223	5569	-6,2
Германия	3564	3815	3598	-0,9	14378	14444	-0,5
Греция	50	90	77	-35,1	268	481	-44,3
Венгрия	56	59	138	-59,4	230	553	-58,4
Италия	2115	2201	2392	-11,6	8274	9830	-15,8
Люксембург	165	205	194	-15,0	707	753	-6,0
Нидерланды	578	451	572	1,1	2029	2297	-11,7
Польша	675	680	776	-13,0	2656	3130	-15,1
Словакия	388	425	407	-4,6	1577	1552	1,6
Словения	52	55	59	-11,5	199	235	-15,3
Испания	1386	1345	1256	10,3	4928	5004	-1,5
Швеция	395	392	452	-12,6	1496	1696	-11,8
Великобритания	967	1025	706	36,9	3686	2607	41,4
Прочие страны ЕС (27 стран)	370	399	550	-32,7	1499	1932	-22,4
ЕС (27 стран), всего	14066	14595	14785	-4,9	55341	58682	-5,7
Босния и Герцеговина	63	70	63	0,4	249	212	17,5
Хорватия	20	3	0	...	51	0	...
Македония	28	30	26	5,1	32	91	-64,7
Норвегия	55	55	44	24,7	212	232	-8,9
Сербия	0	0	63	-100,0	0	207	-100,0
Турция	2866	2980	2885	-0,7	11359	11908	-4,6
Прочие страны Европы, всего	3032	3138	3081	-1,6	11904	12650	-5,9
Белоруссия	225	200	235	-4,3	886	881	0,5
Казахстан	285	250	371	-23,3	1001	1364	-26,6
Молдова	0	35	54	-100,0	0	108	-100,0
Россия*1	5759	5925	5948	-3,2	23009	24001	-4,1
Украина	2748	2870	3000	-8,4	11121	11341	-1,9
Узбекистан	60	55	66	-8,8	237	231	2,5
СНГ, всего	8909	9419	9570	-6,9	35991	37856	-4,9
Канада	1160	1200	1165	-0,5	4504	4707	-4,3
Куба	20	25	28	-28,6	83	104	-20,2
Сальвадор	8	9	6	33,3	32	24	33,3
Гватемала	25	30	26	-3,8	105	104	1,0
Мексика	1545	1580	1568	-1,5	6115	5987	2,1
Тринидад и Тобаго	52	60	60	-12,7	199	203	-2,0
США	7258	7291	7829	-7,3	28764	31040	-7,3
Северная Америка, всего	10068	10195	10682	-5,7	39802	42170	-5,6

Страна, регион	Апрель 2013 г., тыс. т	Март 2013 г., тыс. т	Апрель 2012 г., тыс. т	Изменение апрель 2013 г. / апрель 2012 г., %	4 мес 2013 г., тыс. т	4 мес 2012 г., тыс. т	Изменение 4 мес 2013 г. / 4 мес 2012 г., %
Аргентина	429	468	480	-10,6	1537	1823	-15,7
Бразилия	2965	2894	3013	-1,6	11310	11738	-3,6
Чили	95	160	141	-32,6	443	572	-22,6
Колумбия	90	100	122	-26,2	357	456	-21,7
Эквадор	40	40	38	5,3	154	148	4,1
Парагвай	1	1	3	-66,7	4	10	-60,0
Перу	85	95	79	7,6	340	316	7,6
Уругвай	7	7	7	0,0	20	28	-28,6
Венесуэла	235	200	188	25,0	886	785	12,9
Южная Америка, всего	3947	3965	4071	-3,0	15051	15876	-5,2
Алжир	49	62	32	54,3	152	226	-32,7
Египет	532	525	586	-9,1	2238	2225	0,6
Иран	1264	1330	1297	-2,5	4789	4923	-2,7
Марокко	50	55	44	13,8	213	207	3,0
Катар	188	201	184	2,2	765	739	3,5
Саудовская Аравия	457	468	439	4,1	1825	1797	1,5
ЮАР	550	570	648	-15,1	2205	2514	-12,3
Африка/Страны Среднего Востока, всего	3090	3211	3229	-4,3	12187	12631	-3,5
Китай	65650	66293	61480	6,8	258152	238057	8,4
Индия	6620	6860	6394	3,5	26636	25662	3,8
Япония	9170	9446	9077	1,0	35807	35642	0,5
Южная Корея	5497	5664	5869	-6,3	22076	23178	-4,8
Тайвань	1600	1770	1783	-10,3	6456	7032	-8,2
Страны Азии, всего	88537	90033	84603	4,7	349127	329572	5,9
Австралия	399	387	405	-1,5	1586	1607	-1,3
Новая Зеландия	68	78	80	-15,0	295	285	3,5
Океания, всего	467	465	485	-3,8	1880	1892	-0,6
МИР, всего*2	132116	135020	130506	1,2	521283	511327	1,9

*1 По данным Госкомстата.

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

По данным Всемирной ассоциации производителей чугуна и стали (WSA)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**10-я международная выставка-конференция
«Minerals, Metals, Metallurgy & Materials» —
ММММ-2014**

4–7 сентября 2014 г.

г. Нью-Дели, Индия

<http://ural-cci.ru/activities/>

СТАТИСТИКА ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПОТРЕБЛЕНИЮ ОГНЕУПОРОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЯПОНИИ В 2011–2012 гг.*

Statistics // Taikabutsu overseas—Journal of the Technical Association of Refractories, Japan. — 2012. — Vol. 32, № 4. — С. 306. Англ.

Таблица 1. Производство огнеупоров в Японии в 2011–2012 гг.* (по данным Японской ассоциации огнеупоров), тыс. т

Виды огнеупоров	2011 г.	2012 г. (апрель – сентябрь)	Виды огнеупоров	2011 г.	2012 г. (апрель – сентябрь)
<i>Огнеупорные изделия</i>			<i>Неформованные огнеупоры</i>		
Шамотные	66,4	31,4	Бетоны	275,0	137,4
Высокоглиноземистые	63,2	27,6	Пластичные массы	21,0	10,5
Глиноземоуглеродистые	25,3	12,4	Торкрет-массы	152,4	75,8
Кремнеземистые	1,7	1,0	Набивные массы	21,9	11,1
Хромитопериклазовые	25,6	12,6	Покртия	182,7	92,2
Периклазоуглеродистые	60,9	28,8	Мертели	27,7	13,4
Доломитовые	0,0	0,0	(Неясная классификация)	(39,4)	(19,7)
Цирконовые	5,7	2,0	Итого неформованных огнеупоров	720,1	360,1
Карбидкремниевые	10,6	4,7	Всего огнеупоров	1090,4	532,4
Теплоизоляционные	5,6	2,3	* Финансовый год (с 1.04 по 31.03).		
Прочие	32,1	16,1			
(Неясная классификация)	(81,3)	(33,4)			
Итого изделий	370,3	172,3			

Таблица 2. Производство, поставка и потребление огнеупоров в черной металлургии Японии

Финансовый год (с 1.04 по 31.03)	Производство стали (А), тыс. т ^{*1}	Производство огнеупоров ^{*2} , тыс. т			Общая поставка огнеупоров, тыс. т			Поставка огнеупоров для черной металлургии ^{*3} , тыс. т			Удельный расход огнеупоров, кг/т стали		
		изделий	неформованных огнеупоров	всего	изделий	неформованных огнеупоров	всего	изделий (В)	неформованных огнеупоров (С)	всего D = B + C	В/А	С/А	Д/А
2011 г.	106463	297 (30,4) 370 ^{*4}	681 (69,6) 720 ^{*4}	978 (100,0) 1090 ^{*4}	330	701	1031	235 (71,2)	545 (77,7)	780 (75,7)	2,2	5,1	7,3
2012 г. (апрель – сентябрь)	54755	139 (29,0) 172 ^{*4}	340 (71,0) 360 ^{*4}	479 (100,0) 532 ^{*4}	153	348	501	112 (73,2)	273 (78,4)	385 (76,8)	2,0	5,0	7,0

^{*1} По данным Японской федерации черной металлургии.
^{*2} В скобках указан % к общему объему производства огнеупоров.
^{*3} В скобках указана доля черной металлургии в общем объеме поставок огнеупоров.
^{*4} Включая продукцию неясной классификации.

* Статистические данные за период 2001–2011 гг. опубликованы в № 7 за 2012 г. и № 1 за 2013 г., за период 2010–2012 гг. — в № 5 за 2013 г.

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

Вид огнеупорного сырья	Февраль 2013 г.	Март 2013 г.	Апрель 2013 г.
<i>Глинозем и боксит</i>			
Глинозем спеченный, 98,5–99,5 % Al_2O_3 , насыпью, fob США	675–725	675–725	675–725
Глинозем спеченный со средним содержанием щелочей, насыпью, fob	750–850	750–850	750–850
Глинозем плавленый, 95 % Al_2O_3 :			
коричневый, 8–220 меш, китайского производства, fob Китай	800–840	800–840	800–840
белый, мешками по 25 кг, европейского производства, cif Европа, евро/т	850–890	850–890	850–890
Боксит китайский огнеупорный, кусковой 0–25 мм, Al_2O_3 , % / Fe_2O_3 , % / кажущаяся плотность, г/см ³ , fob Xingang:			
Шаньси (Shanxi), кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	420–435	420–435	420–435
Гуйчжоу (Guizhou), fob Zhanjiang / Fangcheng: кольцевые печи, 87 / 2,0 / 3,2	400–430	400–430	400–430
Боксит из Гайаны, огнеупорная марка, fob, Линден	460–510	460–510	460–510
<i>Хромовая руда</i>			
Трансваальская (ЮАР), огнеупорная марка, 46 % Cr_2O_3 , насыпью, fob	425–500	425–500	425–500
<i>Графит кристаллический</i>			
Cif европейские порты:			
крупночешуйчатый:			
94–97 % C, +80 меш	1400–1800	1400–1800	1400–1500
90 % C, +80 меш	1200–1600	1200–1600	1200–1400
среднечешуйчатый:			
90 % C, +100–80 меш	950–1200	950–1200	950–1000
94–97 % C, +100–80 меш	1050–1400	1050–1400	1100–1300
85–87 % C, +100–80 меш	900–1150	900–1150	800–1000
мелкочешуйчатый:			
90 % C, –100 меш	850–1050	850–1050	850–1050
94–97 % C, –100 меш	900–1200	900–1200	900–1200
<i>Магнезиальное сырье</i>			
Греческий сырой магнезит, < 3,5 % SiO_2 , fob порты Восточного Средиземноморья, евро/т	65–75	65–75	65–75
Намертво обожженный периклаз китайского производства, кусковой, 90 % MgO	325–480	325–480	320–350
То же, 92 % MgO	410–450	410–450	410–450
То же, 94–95 % MgO	390–470	390–470	450–480
То же, 97,5 % MgO	531–583	531–583	531–583
Кальцинированный магнезит кусковой, 90–92 % MgO, fob Китай	303–343	303–343	303–343
<i>Карбид кремния</i>			
8–220 меш, cif Великобритания:			
черный, около 99 % SiC, сорт I, евро/т	1900–2100	1900–2100	1900–2100
то же, сорт II, евро/т	1500–1650	1500–1650	1500–1650
огнеупорного сорта, min 98 % SiC, евро/т	1500–1800	1500–1800	1500–1800
то же, min 95 % SiC, евро/т	1350–1450	1350–1450	1350–1450
<i>Минералы силлиманитовой группы</i>			
Андалузит, fob Трансвааль, 57–58 % Al_2O_3 , насыпью, партиями по 2000 т, евро/т	235–280	235–280	235–280
Кианит обожженный, ex-works с предприятий США, 54–60 % Al_2O_3 , партиями по 22 т	373–439	373–439	373–439
<i>Циркон</i>			
Насыпью, fob:			
Австралия (стандарт)	1250–1550	1250–1550	1250–1550
США (стандарт)	2550–2750	2550–2750	2550–2750
ЮАР (керамический сорт)	2300–2650	2300–2650	2300–2650

По данным «Industrial Minerals»



ОБЗОР ПАТЕНТОВ РФ НА ИЗОБРЕТЕНИЯ ПО ОГНЕУПОРАМ

МАГНЕЗИАЛЬНАЯ ТОРКРЕТ-МАССА

Афанасьев А. А., Волков Н. Н., Курбацкий М. Н.,
Третьяков И. А., Миронова Л. В., Хоменко А. А.

Патент RU 2465245

МПК C04B35/035, C04B35/66

Изобретение относится к огнеупорной промышленности и может быть использовано при производстве огнеупоров для ремонта футеровки металлургических агрегатов, в частности при горячем ремонте конвертера. Технический результат изобретения — повышение стойкости к расплаву металла и шлака.

Магнезиальная торкрет-масса содержит огнеупорный магнезиальный наполнитель, фенолоформальдегидную смолу, полифосфат натрия, каменноугольный пек. Смесь отличается тем, что в качестве огнеупорного магнезиального наполнителя фракции 0,01–3 мм содержит смесь плавленного периклаза и обеспыленного лома периклазовых или периклазоуглеродистых изделий в соотношении 2–6:6–2, а также дополнительно глиноземистый пиррофиллит месторождения Куль-Юрт-Тау при следующем соотношении компонентов, мас. %: полифосфат натрия 1–2, фенолоформальдегидная смола 4–5, каменноугольный пек 1–3, пиррофиллит глиноземистый < 2, смесь плавленного периклаза и лома изделий — остальное.

Бюллетень «Изобретения. Полезные модели»*, — 2012. — № 30. — С. 204.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Ивахненко Ю. А., Бабашов В. Г., Тинякова Е. В.,
Юдин А. В., Бутаков В. В., Третьякова О. Т.

Патент RU 2466966

МПК C04B35/80

Изобретение относится к волокнистым керамическим материалам, которые способны выдерживать вибрационные нагрузки и градиент температур как по толщине материала, так и по его поверхности и которые предназначены для теплоизоляции металлических корпусов камер сгорания газотурбинных двигателей. Технический результат изобретения — повышение ра-

* В дальнейшем приводится сокращенное название «Бюллетень».

бочей температуры керамического материала, обладающего высокой упругостью, низкой плотностью и теплопроводностью, до 1650 °С.

1. Способ получения волокнистого керамического материала включает приготовление по крайней мере одного волокнистого керамического шликера, вакуумное формование волокнистого мата, сушку, пропитку золь-гель связующим и гелирование волокнистого мата с последующей термообработкой. Способ отличается тем, что пропитку волокнистого мата осуществляют путем его погружения в золь-гель связующее на 1/4–3/4 его высоты, а термообработку гелированного мата — по ступенчатому режиму, включающему нагрев до 80–100 °С, выдержку 8–72 ч, нагрев до 250–350 °С со скоростью 20–50 °С/ч, выдержку 2–4 ч, нагрев до 1000–1400 °С со скоростью 100–200 °С/ч, выдержку 1–4 ч.

2. Способ по п. 1 отличается тем, что волокнистый керамический шликер содержит волокно оксида алюминия, оксида циркония, алюмосиликатное, муллитовое, кварцевое или их смесь.

3. Способ по п. 1 отличается тем, что в качестве золь-гель связующего используют диоксид кремния, соли оксидов алюминия, циркония, гафния или их смесь.

«Бюллетень». — 2012. — № 32. — С. 211.

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

Номоев А. В., Бардаханов С. П., Буянтуев М. Д.

Патент RU 2465246

МПК C04B35/111, B82B3/00

Изобретение относится к технологии получения керамических изделий на основе оксида алюминия с высокими механическими характеристиками, предназначенных для длительной эксплуатации в условиях повышенных истирающих нагрузок. Технический результат изобретения — повышение микротвердости изделий.

Способ получения корундовой керамики включает смешение субмикронного тонкодисперсного оксида алюминия с модифицирующей добавкой нанопорошков оксидов алюминия, магния и кремния. Способ отличается тем, что спекание осуществляют при темпе-

ратуре 1400–1600 °С, при этом соотношение компонентов шихты субмикронного порошка Al_2O_3 , нанопорошка Al_2O_3 , нанопорошков MgO и SiO_2 составляет 100:2,95:2,0:0,05 мас. %.

«Бюллетень». — 2012. — № 30. — С. 204, 205.

ОГНЕУПОРНОЕ КЕРАМИЧЕСКОЕ ИЗДЕЛИЕ И ОТНОСЯЩЕЕСЯ К НЕМУ ФОРМОВАННОЕ ИЗДЕЛИЕ

Нилика Р., Мюллер М.-А.

Патент RU 2467982

МПК C04B35/043, C04B35/484

Изобретение относится к огнеупорному керамическому изделию для облицовки высокотемпературных агрегатов черной и цветной металлургии, а также печей для обжига минерального сырья. Технический результат изобретения — улучшенные свойства механики разрушения изделий.

1. Огнеупорная образованная из затвердевшего расплава керамическая добавка, состоящая на ≥ 95 мас. % из MgO и цирконата кальция с долей MgO между 45 и 65 мас. % и долей цирконата кальция между 35 и 55 мас. %.

2. Добавка по п. 1, состоящая на ≥ 97 мас. % из MgO и цирконата кальция.

3. Добавка по п. 1 с долей $\text{MgO} > 15$ мас. %.

4. Добавка по п. 1 с долей цирконата кальция > 30 мас. %.

5. Добавка по п. 1 с содержанием $\text{Al}_2\text{O}_3 < 2$ мас. %.

6. Добавка по п. 1 с содержанием $\text{SiO}_2 < 1$ мас. %.

7. Добавка по п. 1 с открытой пористостью < 8 об. %.

8. Огнеупорное керамическое формованное изделие с матрицей на основе MgO и долей между 3 и 30 мас. % добавки по одному из пп. 1–7.

9. Огнеупорное керамическое формованное изделие с долей между 5 и 20 мас. % добавки по одному из пп. 1–7.

10. Формованное изделие по п. 8, состоящее на > 95 мас. % из структурных фаз периклаза и цирконата кальция.

11. Формованное изделие по п. 8, состоящее на > 97 мас. % из структурных фаз периклаза и цирконата кальция.

12. Формованное изделие по п. 8, в котором изделие имеет проникающую структуру.

13. Формованное изделие по п. 8 с открытой пористостью < 20 об. %.

«Бюллетень». — 2012. — № 33. — С. 188, 189.

ВОЛОКНА ИЗ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КОРУНДА И СПОСОБ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ

Рёш Н., Клаусс Б.

Патент RU 2465247

МПК C04B35/622, C04B35/111, D01F9/08

Изобретение относится к волокнам из поликристаллического корунда, по существу состоящим из корунда и оксида элементов главных подгрупп I или II группы Периодической системы, которые могут быть использованы для изготовления тканей и композитных материалов. Для изготовления волокон используется способ, включающий примешивание зародышей и предшественника оксида элементов главных подгрупп I и II группы Периодической системы к хлоргидрату алюминия, добавление водорастворимого полимера, последующее прядение из упомянутой смеси волокон и прокаливание упомянутых волокон при температуре 1100 °С или выше. В качестве зародышей кристаллизации используют сверхмелкодисперсные диаспор, гематит или корунд, которые добавляют в прядильный раствор в количестве 0,1–10 мас. %. Оксиды элементов главных подгрупп I и II группы Периодической системы находятся в составе волокон в количестве 0,01–0,50 мас. %. Кристаллиты упомянутых волокон из корунда характеризуются следующим распределением зерен по размерам: от 0 до 0,06 мкм (34 %), от 0,060 до 0,122 мкм (55 %), от 0,122 до 0,30 мкм (11 %). Технический результат изобретения — волокна обладают улучшенными механическими свойствами.

«Бюллетень». — 2012. — № 30. — С. 205.

Обзор подготовлен редакцией журнала «Новые огнеупоры»

О двухтомном издании Г. Г. Гнесина
«Энциклопедический словарь по материаловедению»
 СПб. : Наука, 2013. Т. I. Терминологический словарь. — 262 с.;
 Т. II. Биографический словарь. — 270 с.

Современное неорганическое материаловедение представляет собой обширную область знаний и включает исключительно большой объем самой разносторонней информации, требующей систематизации и классификации на уровне определений (дефиниций — по Г. Г. Гнесину). Автор в предисловии к тому I приводит знаменитый афоризм Рене Декарта: «Уточняйте понятия, и мы избавим мир от половины заблуждений».

Автор издания — член-корреспондент Национальной академии наук Украины, главный научный сотрудник Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича. Широко известны его работы не только в области физикохимии и технологии конструкционных и функциональных керамических материалов, но и в сфере энциклопедических и исторических исследований в материаловедении. В частности, по его инициативе и при его непосредственном участии в 2008 г. опубликовано уникальное энциклопедическое издание «Неорганическое материаловедение» в двух томах и трех книгах (изд-во «Наукова думка», г. Киев). Одна из последних его публикаций посвящена истории развития технологии керамических материалов («Порошковая металлургия». — 2012. — № 7/8. — С. 151–159).

Содержание как первого, так и второго томов словаря проистекает из предложенного Г. Г. Гнесиным определения материаловедения как науки о природе, свойствах, поведении и применении материалов, а также о закономерностях процессов их получения, структурообразования, соединения и разрушения. И поэтому материаловедение рассматривается как комплексная меганаука, построенная на фундаменте физики твердого тела, физической и неорганической химии, а также на достижениях прикладных наук, черной, цветной и порошковой металлургии, металловедения, функциональных и конструкционных керамических материалов, огнеупоров, композитов и др.

В томе I (Терминологический словарь) собрано и систематизировано около 1500 определений (дефиниций). При этом автор исходил из представления, что «дефиниция — это краткое логическое определение, устанавливающее

существенные отличительные признаки предмета или значение понятий — его содержание и границы». В Терминологическом словаре представлены основные значимые понятия в области материаловедения, относящиеся к следующим группам: химические элементы, используемые в материаловедении, и методы их получения; вещества и химические соединения, методы их синтеза и свойства; материалы (металлы, керамика, монокристаллы, стекла, композиты и пр.), их структура, свойства и области применения; технологические процессы получения и обработки материалов. При этом особое внимание уделено тем терминам, которые характеризуют новейшие достижения, например, в области нанотехнологий, технологий композитов, сверхчистых материалов и пр.

В качестве источников информации при составлении словаря автором использованы специализированные энциклопедии и справочники, содержащие расширенные сведения по теме материаловедения. В отличие от последних автором предложены достаточно краткие (до 90–100 слов) определения, лишённые излишней конкретизации в виде цифровых данных, формул и др. При этом каждому русскому термину в тексте приведен соответствующий англоязычный эквивалент. Вполне очевидно, что приведенные в словаре определения позволяют исключить неоднозначные толкования терминов и унифицировать их использование в научно-технической литературе по материаловедению.

Том II (Биографический словарь) посвящен более чем 700 выдающимся ученым, инженерам, изобретателям, внесшим заметный вклад в формирование современного материаловедения. В Биографическом словаре представлена галерея портретов, включающая естествоиспытателей, физиков, химиков, механиков, металлургов, специалистов в области технологии керамики, стекла, углеродных, композиционных, наноструктурных, тонкопленочных и других материалов. При этом в качестве основного критерия оценки значимости вклада принято испытание временем. В этой связи автором было принято объективное решение не включать в Биографический словарь ныне

живущих известных ученых, за исключением лауреатов Нобелевской премии и премии «Глобальная энергия» (Б. Е. Патон). В словаре показана роль отдельных персон в становлении и развитии науки о материалах. При этом автор не останавливается на их биографиях, а лишь отмечает годы их жизни и приводит (формулирует) краткое описание вклада этих личностей в науку о материалах, сопроводив их портретами.

В довольно обширном введении (с. 5–16) автором сделаны некоторые умозаключения, касающиеся общих тенденций развития науки о материалах, в хронологическом порядке, начиная от древней истории и заканчивая XX веком — эпохой революционных открытий в области фундаментальных наук и технологий.

Для удобства пользователей том I снабжен предметным, а том II — именным указателем. Энциклопедический словарь, изданный тиражом 1000 экз., предназначен для научных работников, преподавателей, инженеров, аспирантов и студентов, научные и производственные интересы которых связаны с различными аспектами обширной области материаловедения. Следует отметить, что издание энциклопедического словаря осуществлено за счет средств ООО «Вириал», Санкт-Петербург (генеральный директор — В. И. Румянцев). ■

© Рецензенты — д. т. н. **Ю. Е. Пивинский**
(ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор»),
д. т. н. **С. С. Орданьян**
(ФГБОУ ВПО СПбГТИ(ТУ)),
2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



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

Одиннадцатая международная научно-техническая конференция:

«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка»

28–30 мая 2014 г., г. Минск, Беларусь

Уважаемые коллеги!

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

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

Секции конференции:

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

Официальные языки конференции – русский и английский.



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



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



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



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

ABSTRACTS

UDC 666.76.002.2

The economical aspects of JSC BKO's refractory materials supply to JSC NLMK, the improvement of production and the metallurgical process' efficiency raising

Mozhzhherin A. V., Margishvili A. P., Musevich V. A., Philin G. V., Duka A. P. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 6–9.

The results and prospects of the cooperation between JSC «Borovichskii Refractory Works» (JSC BKO) and JSC (Novolipetsk Steel Works) (JSC NLMK) are analyzed in the article in application to production, supply and use of refractory materials for all stages of metallurgical treatment. The main developments trends are shown for both the improvement of the refractory materials technology and optimization of their physical and chemical parameters. The implemented series of action allowed to raise the effectiveness of both the pig-iron production and the steel-making at JSC NLMK as well as to reach the decreasing of specific factors per unit of the finished product. Ill. 2. Ref. 3.

Key words: refractories, cooperation between JSC BKO and JSC NLMK, Center for advances of technology and production (CATP), lining, ladle-furnace unit (LFU), steel-teeming ladle, tundish ladle, converter, refractory products supply.

UDC 621.746.047:669.054.2

Operating environment simulator to increase the refractory wear resistance during tapping by billet continuous casting machines

Vdovin K. N., Marochkin O. A., Tochilkin V. V. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 10–13.

The technology and equipment are regarded in the article for the metal flows controlling between steel-teeming and tundish ladles of billet CCM. The CCM's operating environment simulator is development which allows providing the optimal parameters for the steel jets passage into the continuous casting mold for improvement of tapped metal quality and augmentation of tapping process stability. Ill. 6. Ref. 3.

Key words: CCM, tundish, submerged entry nozzle, collector nozzle, simulator, CCM mold.

UDC 622.06:666.762.52.022.2(470)

The state of production and raw material supply base of zirconium refractories in Russia

Sokolov V. A. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 14–17.

The data are given in the article about both Russian and foreign producers of zirconium refractories. It is shown that the main reason for the lag of Russian producers behind the foreign ones in both the overall production and products line of zirconium refractories is the absence of domestic zirconium crude materials. The main titanium-zirconium deposits are described which can allow initiating the manufacturing of zirconium concentrate. Ref. 5. Tab. 6.

Key words: zirconium, baddeleyite, zirconium refractories, fused-cast baddeleyite-corundum refractories, refractories, crude material resources base.

UDC 669.18.046.518:621.746.328-33

The development of slide gate systems for the steel teeming into small ingots and shaped castings

Kononov V. A., Vasilenko V. P., Aliatov A. A. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 18–24.

The technology of slide gates introduction into the steel casting process is regarded in the article and the equipment operated at the steel teeming into small ingots and casting forms is described. Ill. 6. Ref. 5.

Key words: slide gate, steel teeming into ingots, slide gate plate, ladle nozzle, collector nozzle, weldblock, hydraulic station.

UDC 621.3.035.82:666.76.002.2

Well-targeted construction for technological and aspiration dust-gas ducts in the refractories production

Krasovitskii Yu. V., Arkhangel'skaya E. V. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 25–29.

The design and construction decisions for the technological and aspiration dust-gas ducts and for their operation conditions which provide the high dust-catching efficiency are regarded in the article for the production of both refractories and some kind of constructional materials. The features of the gasket materials and distributing devices providing the even distribution of the dust-gas flow over the flue's cross-section are given. The special attention is given to the draught systems' choice and to the heat insulation of the dust-gas ducts and dust-collecting units. The distinctive nomograph charts are presented to define the thickness of the heat insulation for dust-gas ducts and plane surfaces. Ref. 6. Tab. 1.

Key words: dust-gas ducts, dust collecting, fans, exhausters, chimney flue's height.

UDC 621.763.046.44

Investigation on spark plasma sintering (SPS) method for the formation of ultra-high-temperature ceramic material on base of zirconium diboride

Chevykalova L. A., Kelina I. Yu., Mikhail'chik I. L., Arakcheev A. V., Plyasunkova L. A., Kasimovskii A. A., Matyushin K. S. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 31–38.

The experimental data are given in the article for the developing of ultra-high-temperature ceramics on base of zirconium diboride with various sintering activators. The ceramics was obtained by means of spark plasma sintering method. Ill. 19. Ref. 15. Tab. 3.

Key words: ultra-high-temperature ceramics (UHTC), zirconium diboride, silicon carbide, silicon nitride, spark plasma sintering, micro hardness.

UDC 666.762.32-484.2.017:66.041.498.043.1

The lining for the increased-resistant horizontal cooper-nickel converter

Slovikovskii V. V., Gulyaeva A. V. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 39–42.

The resulting investigation of the lining resistance is given in the article for horizontal converters, and the reasons of

the lining's low resistance at the tuyere level zone are discussed. On completion of the investigation the designs of the lining for the horizontal converter's tuyere zone as well as for the tuyere block were developed and described. The manufacturing technologies were developed for periclase-chromite tuyere blocks which includes the fused high- Cr_2O_3 material, as well as for the thermally-conductive refractory mixtures resistant against the slag-matte melts. The increased-resistant linings were tested and implemented at the JSC «Alavardinsk Mining and Metallurgical Works» and at JSC «Ufaley Nickel Plant». The employment of the new lining allowed to increase its resistance by a factor of 1,5–2. Ill. 3. Ref. 6.

Key words: lining, copper-nickel converters, tuyere block, periclase-chromite refractory, tuyere level zone, slag-matte melt, granite production.

UDC 666.3-492.2:666.368(510)

Effect of surfactant on the preparation of nano-powder for Yb doping laser transparent YAG ceramic

Xiao Guo Cao, Jia Wang, Qi Bai Wu, Hai Yan Zhang, Jian Dong // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 43–46.

Yb:YAG transparent ceramic nano-powder was prepared by chemical co-precipitation method, with ammonium bicarbonate as the precipitant and polyethylene glycol as surfactant. The addition of polyethylene glycol can reduce the agglomeration and particle size of the prepared Yb:YAG powder. The morphology, thermal stability and phase structure of Yb:YAG nano-powder were characterized by scanning electron microscopy (SEM), thermogravimetry and differential thermal analysis (TG–DTA), X-ray diffraction (XRD), and Fourier transform infrared spectroscopy. The results show that well-crystallized nano-powder was obtained by calcining the precursors at 900 °C for 3 h. The average particle size of Yb:YAG powder is about 100–200 nm. When the volume amount of polyethylene glycol is 2.0 %, well-dispersed Yb:YAG powder with spherical particles of 100 nm diameter was obtained. Ill. 5. Ref. 20.

Key word: Co-precipitation process, YAG nano-powder with Yb doping, surfactant, polyethylene glycol.

UDC 666.762.14:[669.18.046.5:621.746.32

Contemporary trends in application of mullite-silica refractories for engineering materials production

Sharapova V. V. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 47–51.

The chemical and mineralogical characteristics and physical and mechanical properties are given in the article for

mullite-silica refractory MKRA-50 both before and after of their service life in the steel-teeming ladle. The questions of metal's secondary oxidizing in the presence of lining are regarded. The mechanism for sub-compound's and gaseous complexes' building in the steel is exposed and it is shown how they influence on the phases formation inside the ladle's lining. The thermo-chemical methods for primary selection are considered for refractory materials based on corundum and magnesia oxide. Ill. 2. Ref. 22.

Key words: mullite-silica refractory MKRA-50, steel ladle lining, long-prismatic, hercynite, monticellite, magnesia sub-compounds, gaseous complexes, dropping point.

UDC 666.774.017:532.135

The influence of pyrophyllite on the structure-rheological and shrinkage properties of the ceramic mixtures for the acid-resistant products

Abdrakhimova E. S. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 53–56.

It is shown that the amount of pyrophyllite is substantial for the structure-rheological properties of ceramic mixtures intended for acid resistant ware production. It is established that the shrinkage of investigated ceramic compositions decreases with pyrophyllite content increasing and increases if the pyrophyllite is ground. Ill. 1. Ref. 12. Tab. 2.

Key words: pyrophyllite, rheological parameters, dispersed structures, ceramic mixtures, acid resistant ware, clay materials, elastic-plastic-viscous properties.

UDC 669.056.9:[666.852:621.94

Finishing treatment of metal surface by means of magnetic abrasive powders based on iron with ceramic high-melting compounds (mechanical mixtures)

Nepomnyashchii V. V., Voloshchenko S. M., Mosina T. V., Gogaev K. A., Askerov M. G., Miropol'skii A. M. // New Refractories. — 2013. — No 11. — P. 57–60.

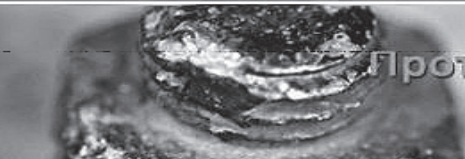
The investigating results are given in the article for magnetic abrasive powders obtained by the initial components mechanical mixing in the presence of surface-active agents and adhesive materials. It is shown that the performance characteristics of fabricated abrasive powders are as good as these of well known powders which are obtained by the sputtering, sintering, grinding and by other known processing. Ill. 4. Ref. 5. Tab. 1.

Key words: magnetic abrasive processing (MAP), surface-active agents (SAA), epoxy thermosetting resin (ETR-20), total cutting forces, cutting and polishing ability of the powers, isometric particles shape, cutting angles and corner radii of the cutting edges.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

СЕРИЯ КОНФЕРЕНЦИЙ
“ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ”





МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
Противокоррозионная защита - ключ
к энергетической и
экологической безопасности

Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина

3–5 декабря 2013 г.

<http://www.oilconference.ru/>