



НОВЫЕ

ISSN 1683-4518

ОГНЕУПОРЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ



VGH

YOUR STEEL. OUR PROFESSION.

20 лет успеха

4

АПРЕЛЬ 2013

VGH AG

Гибкость – это наше преимущество.

Мы в совершенстве владеем искусством технического инжиниринга. Оцените и Вы высочайшее качество нашей работы в области оптимизации огнеупорных решений и разработки эксклюзивных огнеупорных материалов согласно Вашим требованиям.

VGH AG – Ваш компетентный партнер в металлургической промышленности.



РЕКЛАМА

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

VGH 

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

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

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

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



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



Отпечатано в типографии ФГУП Издательство «Известия»
127994, Москва, Пушкинская пл., 5
Тел.: (495) 694-36-36, 694-30-20

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 24.04.13. Формат 60×84 1/8.
Бумага мелованная
Офсетная печать. Усл. печ. л. 10,0
Уч.-изд. л. 9,98. Заказ ****

VIKTORIA GARTEN
HÜTTENINDUSTRIEBEDARF AG — 20 LET

VGH — сказка из огня и стали 7

Уссельманн В., Шехан К. theramer GmbH — команда, ведущая к успеху 10

Аленин А. VGH AG: профессионалы в авангарде огнеупорного рынка Украины 13

Экхардт Г.-Д. Механизм очистки стали от неметаллических включений в раскисленных алюминием сталях 16

Хильгенхёнер Э. Х., Вош Э. А. Т. Применение программного обеспечения MouldScreen® в промышленности: первые испытания новой системы визуализации состояния шлаковой пленки на слябовой МНЛЗ 24

Гартен В., Хохлов А., Уссельманн В., Фомина И. Концепция модернизации участка подготовки сталеразливочных ковшей: внедрение и развитие эксплуатации монолитной футеровки, комплекс технологического оборудования 34

Горосткин С. В., Гартен В. Внедрение системы автоматической подачи смеси в кристаллизатор на иашины непрерывного литья заготовок 39

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Словиковский В. В., Гуляева А. В. Эффективные углеродсодержащие футеровки для высокотемпературных агрегатов цветной металлургии 43

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кашчев И. Д., Земляной К. Г. Влияние оксидов хрома и циркония на свойства набивных масс из кварцитов Бобровского месторождения 47

ПРОИЗВОДСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ

Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Бездежский Г. Н., Кашчев И. Д., Корюков В. Н. Использование глиноземной пыли печей кальцинации гидроксида алюминия 52

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Аксельрод Л. М., Маряев И. Г., Платонов А. А. Метод определения шлако- и клинкероустойчивости огнеупорных изделий для вращающихся печей 59

Куфтырев Р. Ю., Беляков А. В., Кузнецова И. Г. Методы получения композиционных керамических материалов на основе AlN—BN (обзор) 65

КАЧЕСТВО И СЕРТИФИКАЦИЯ

Ефимова И. Н. Сравнение отечественных и зарубежных стандартов на методы испытаний огнеупорной продукции, которые применяют для приемосдаточного контроля . . . 74

Abstracts. 79

VIKTORIA GARTEN HÜTTENINDUSTRIEBEDARF AG
ACCOMPLISHED 20 YEARS

VGH — the fairy tale of flame and steel 7

Usselmann V., Sheahan K. theramer GmbH is the team which leads to success 10

Alenin A. VGH AG: they are professionals at the forefront of Ukraine's refractory market. Development at the market . . 13

Eckhardt G.-D. The technique of non-metallic inclusions removing from aluminum deoxidized steels 16

Hilgenhöner E. H., Wosch E. A. T. The industry application of the software support MouldScreen®: first try-out of the slag film visual display system at slab CCM 24

Garten V., Hohlov A., Usselmann V., Fomina I. The remodeling strategy for the steel-teeming ladles conditioning area: the implementation and development of monolithic lining operation, the technological equipment installation 34

Gorostkin S. V., Garten V. The implementation of automatic system for slag-forming materials' feeding into the continuous casting machine's mold. 39

REFRACTORIES IN THE HEAT UNITS

Slovikovskii V. V., Gulyaeva A. V. High-efficiency carbon-containing linings for the high-temperature vessels in non-ferrous industry 43

RAW MATERIALS

Kashcheev I. D., Zemlyanoi K. G. The influence of chrome- and zirconium-oxides on the properties of the ramming mixtures made out of Bobrovsk's deposit's quartzites 47

MANUFACTURING AND EQUIPMENT

Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Bezdezhskii G. N., Kashcheev I. D., Koryukov V. N. The application of aluminous dust after aluminum hydroxide kiln calcining . . 52

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Akselrod L. M., Maryasev I. G., Platonov A. A. Method for determination of refractories slag- and clinker-resistance for rotary kilns 59

Kuftiyev R. Yu., Belyakov A. V., Kuznetsova I. G. The methods for AlN—BN-based composite ceramic materials formation (the review) 65

QUALITY AND CERTIFICATION

Efimova I. N. The comparing of the domestic and foreign standards for refractory production testing using for the acceptance control. 74

Abstracts. 79

С самого начала сотрудничества нашей компании, которая тогда называлась Stollberg GmbH, а теперь является подразделением S&B Industrial Minerals GmbH по производству смесей для непрерывной разливки стали, с фирмой «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» было ясно, что достичь успеха на российском рынке можно, только объединив опыт работы наших предприятий в области сталеплавильного производства на различных мировых рынках, а также применив инновационные ноу-хау в металлургической промышленности.

В 2002 г. были сделаны первые совместные шаги по внедрению товаров и услуг марки STOLLBERG на рынках России и Республики Беларусь. К тому времени компания VGH AG уже располагала значительным опытом работы и налаженными экономическими связями с российскими и белорусскими металлургическими предприятиями. Это, несомненно, послужило важной предпосылкой растущего успеха на рынках стран СНГ высококачественных материалов компании «Stollberg», предназначенных для непрерывной разливки стали.

С тех пор компания VGH AG является эксклюзивным представителем компании «Stollberg» на территории России и Республики Беларусь. Немного позднее она стала нашим эксклюзивным представителем и на Украине. Компания VGH AG в течение целого десятилетия предлагает сталеплавильным комбинатам комплексные решения в области подбора, инжиниринга, производства и поставки огнеупорных материалов, шлакообразующих смесей, изолирующих масс для покрытий, синтетических шлаков. Принципиально важно, что VGH AG совместно с компанией S&B оказывает техническую поддержку и инжиниринговые услуги своим заказчикам непосредственно на территории их предприятий. Выгоду от этого получают в равной степени как заказчики, так и компания S&B, которая пользуется преимуществами высококвалифицированной инжиниринговой технической поддержки и сбытовой сети VGH AG.

Шлакообразующие смеси для установок непрерывной разливки стали, как никакие другие расходные материалы, имеют важнейшее значение для качества выплавляемого металла и стальных заготовок. Именно шлакообразующие смеси составляют основную часть портфеля продуктов компании S&B. В настоящее время при разливке 40 % российской стали применяются гранулированные и порошковые шлакообразующие смеси торговой марки STOLLBERG.

Слова Черчилля: «Недостаточно делать все, что в наших силах; иногда мы должны делать то, что необходимо» — подтверждают достигнутые совместные успехи S&B и VGH AG, так как на протяжении этих 10 лет наши компании не преследуют единоличных целей и не отстаивают свои эгоистические интересы. Напротив! Мы сотрудничаем и делаем все необходимое, что нужно для достижения общего успеха. В то время как VGH AG концентрирует свои усилия на фи-



S&B Industrial Minerals GmbH

нансово-экономической и маркетинговой стороне вопроса, S&B сосредоточивается на решении технических задач, разрабатывая новые высокоэффективные продукты и технологии их применения. Такое распределение ролей — в высшей степени удачное совместное достижение с несомненными выгодами для наших клиентов.

Желательно, чтобы в будущем эти результаты сотрудничества VGH AG и S&B стали еще более привлекательными для клиентов, поэтому мы делаем все, чтобы укрепить доверие к нашей продукции и упрочить наше присутствие на российском, белорусском и украинском рынках. Мы расширяем поставки на эти рынки гранулированных шлакообразующих смесей, преимуществ которых перед традиционными порошковыми продуктами очевидны.

Кроме того, мы сосредоточили усилия на разработке установок FluxFeeder для автоматической подачи шлакообразующих смесей в кристаллизаторы МНЛЗ и внедрении их на рынках этих стран. Предсказуемым успехом данной стратегии стали результаты испытаний одной из установок FluxFeeder, проведенных в производственных условиях ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Испытания проводились с целью изучения влияния работы системы автоматической подачи гранулированных шлакообразующих смесей на качественные показатели металлопродукции. Внедрение установок в технологию разливки на МНЛЗ № 6 ОАО ММК позволило сократить частоту возникновения продольных трещин приблизительно на 50 %.

Помимо этого в настоящее время ведутся работы по вводу в эксплуатацию установки автоматической подачи смеси для тонкослябовой МНЛЗ ОАО «ОМК – Сталь» (филиал в г. Выкса).

В свете перечисленных успехов и достижений, а также очевидной позитивной динамики развития мы сердечно поздравляем компанию «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» с 20-летним юбилеем и надеемся на дальнейшее долговременное, плодотворное и взаимовыгодное сотрудничество VGH и S&B.

**С наилучшими пожеланиями,
S&B Industrial Minerals GmbH**

D. Steinkemper
(директор)

D. Eckhardt
(главный инженер)



Председателю
наблюдательного
совета VGH AG
Виктории Гартен

Уважаемая Виктория!

От имени коллектива ОАО «Северсталь» сердечно поздравляю Вас и коллектив компании VGH AG с 20-летним юбилеем! Мы глубоко признательны Вам за деловое сотрудничество и высоко ценим Ваше взаимопонимание в решении возникающих производственных задач.

ОАО «Северсталь» всегда внимательно следит за становлением, ростом и укреплением Вашей компании на огнеупорном рынке. Мы надеемся, что связи, которые сформировались за годы нашей совместной деятельности, будут развиваться и впредь, способствуя решению творческих планов и замыслов наших предприятий.

Позвольте в этот знаменательный день пожелать Вам процветания, новых трудовых свершений, оптимизма, благополучия и личного счастья. Пусть Ваши опыт и интуиция и впредь определяют новые цели, Ваши энергия и смелость помогают в их достижении, и пусть удача и успех останутся Вашими добрыми попутчиками!

С уважением,
директор по снабжению и логистике дивизиона
«Северсталь Российская сталь»
Д. В. Павлюченков



Уважаемые коллеги!

Нижнесергинский метизно-металлургический завод поздравляет руководство и трудовой коллектив компании «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» с юбилеем. За прошедшие 20 лет компания прочно заняла весомое место на рынке огнеупоров. Внедряя новые подходы к организации производства, проводя модернизацию, расширяя географию своих потребителей, VGH AG уверенно смотрит в будущее.

Являясь одним из крупнейших производителей непрерывной стальной заготовки, сортового проката и катанки на Урале, НСММЗ очень ответственно подходит к выбору поставщиков для своего производства. За два десятилетия на рынке огнеупоров компания «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» зарекомендовала себя надежным и ответственным партнером. Поэтому мы высоко ценим совместную работу и сложившиеся между нами деловые отношения. Наше сотрудничество длится уже в течение пяти лет, и мы надеемся на дальнейшее не менее успешное его продолжение.

Желаем компании «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» процветания, производственных успехов, реализации всех задуманных проектов и уверенного роста.

Исполнительный директор ОАО НСММЗ
Ф. Г. Хусаинов



Уважаемые коллеги!

От имени многотысячного коллектива металлургов ОАО «Уральская Сталь» поздравляем вас с праздником!

За 20 лет работы вашей компании удалось пройти путь от маленького инженерного бюро до ведущего экспортера расходных материалов и оборудования металлургической отрасли. Почти 10 лет Ваши разработки помогают нашему предприятию выпускать качественную литую заготовку, тем самым способствуя укреплению имиджа ОАО «Уральская Сталь» на рынке металлов и доверию потребителей металлопродукции. Уже первые поставки расходных материалов в адрес ОАО «Уральская Сталь» подтвердили надежность компании VGH AG, компетентность ее сотрудников и европейский уровень ведения бизнеса.

Пусть последующие годы работы станут для вашей компании временем процветания и развития, принесут стабильность и благополучие семьям ваших сотрудников.

Управляющий директор
ОАО «Уральская Сталь»
Д. Митрофанов

Челябинский металлургический комбинат
поздравляет коллектив компании
«VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf»
с 20-летним юбилеем.

Использование современных инновационных технологий, высокое качество продукции, поиск оптимальных решений в работе с клиентами — то, что отличает компанию VGH AG на современном рынке и позволяет ей успешно работать. Ваше предприятие является одним из надежных поставщиков огнеупоров для нашего комбината. Мы благодарим вас за плодотворное сотрудничество и надеемся на его дальнейшее конструктивное развитие.

Успехов в профессиональной деятельности и реализации самых смелых планов! Новых перспективных проектов и процветания вашему бизнесу!

Начальник управления материально-технического
снабжения ОАО ЧМК
П. В. Разин





Председателю
наблюдательного совета VGH AG
Виктории Гартен

Уважаемая госпожа Гартен!

Примите самые искренние поздравления с 20-летием компании VGH AG! В мире современных технологий сегодня очень многое зависит от работы смежников, создающих условия для успешной работы партнеров по бизнесу, и высокого качества конечного продукта. Благодаря научным разработкам специалистов Вашей компании нам удастся достигать высоких показателей по объемам и качеству выпускаемой продукции.

Мы убедились, что поставляемые предприятием VGH AG высокотехнологичные материалы отвечают самым строгим требованиям стандартов и необходимы для стабильной работы Северского трубного завода. Мы удовлетворены нашим сотрудничеством, ценим компетентность и конструктивный подход к делу Ваших сотрудников, благодарим Вас и коллектив компании за умение и желание поддерживать тесные взаимовыгодные отношения.

Управляющий директор
ОАО «Северский трубный завод»
М. В. Зуев

**Поздравляем
компанию VGH AG
с 20-тилетием!**



Пусть отношения с существующими партнерами по бизнесу становятся прочнее, расширяются рынки сбыта продукции и появляются новые надежные партнеры, а у сотрудников VGH AG всегда хватает профессионализма, сил и здоровья приумножать силу своей компании.

Невозможно представить успешный бизнес без надежных партнеров. На большую часть этого пути мы идем вместе в одном направлении, верим в одни ценности, следуем единым стандартам в работе. Вам есть чем гордиться, за эти 20 лет вы по праву заняли значительную долю мирового производства и поставок огнеупоров, оборудования и расходных материалов для предприятий черной металлургии и литейной промышленности.

За многие годы деятельности вам удалось создать уникальный коллектив профессионалов. У вас есть чему учиться, вы всегда сохраняете верность принципам и традициям качества, постоянно находите в развитии и не останавливаетесь перед сложными задачами. Мы с благодарностью вспоминаем все пройденные этапы долгого успешного пути с таким сильным, надежным партнером и с уверенностью смотрим в будущее.

**Коллектив
коммерческой дирекции корпорации
«Индустриальный Союз Донбасса»**

**Сердечно поздравляем
компанию VGH AG и ее
сотрудников с 20-летним юбилеем!**



Уважаемая Виктория! Мы желаем Вам новых творческих идей, успехов в профессиональной деятельности и достижении поставленных Вами целей. Пусть Вам во всем сопутствует удача, а рядом будут верные друзья и надежные партнеры. Ваши профессионализм и целеустремленность, энергия и оптимизм, внимательное и чуткое отношение к сотрудникам создают гармоничную атмосферу для плодотворной работы в коллективе. Мы желаем Вам дальнейшего укрепления лидерских позиций, неизменного процветания и завоевания новых сегментов рынка, финансовой стабильности и семейного благополучия.

VGH AG — единая сплоченная команда, а хорошая команда побеждает тогда, когда каждый ее игрок работает с полной самоотдачей, проявляя при этом инициативу, целеустремленность и упорство. Наша философия предельно проста — работать лучше конкурентов. Стремясь к совершенству, мы следуем строгим принципам корпоративной культуры, которые позволили компании VGH AG стать одной из ведущих в отрасли.

Пусть дорога к следующему юбилею будет стремлением к новым целям, будет насыщена перспективными проектами, креативными идеями, достижениями!

С уважением и наилучшими пожеланиями,
Коллектив VGH Ukraine Ltd.


PROMIMPEX Ltd

Дорогие коллеги!

Примите самые искренние поздравления от компании «Промимпэкс» по случаю 20-летнего юбилея компании «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG»!

За годы нашего сотрудничества вы зарекомендовали себя как команда профессионалов на рынке оборудования и огнеупорных материалов для черной металлургии и литейной промышленности. Ваша компания по праву может гордиться своими экономическими показателями и достижениями. А достойный труд, многолетний опыт работы, высокое качество продукции и отличный сервис всегда будут опорой в достижении нашей общей цели — обеспечения российских металлургов только высококачественными материалами и инновационными технологиями.

Благодарим вас за плодотворную совместную работу на протяжении многих лет, и надеемся, что и в дальнейшем наши компании будут надежными и верными партнерами. От всей души желаем компании «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» дальнейшего процветания и развития, ярких свершений и производственных успехов. Пусть этот день станет настоящим праздником для всех, кто участвовал в становлении предприятия на прочные позиции в своей отрасли. Сохраняйте и берегите традиции, и в то же время оставайтесь передовой и современной компанией. Желаем всем сотрудникам VGH личных успехов, здоровья и боевого настроения.

Поздравляем с юбилеем. Желаем благополучия и процветания вашей компании!

С уважением,
ООО «Промимпэкс»



Уважаемая Виктория!

ЗАО ВГХ сердечно поздравляет Вас и весь коллектив VGH AG с 20-летием компании! Ваш профессионализм, трудолюбие, честность и ориентированность на успех являются залогом плодотворной деятельности всей группы VGH AG.

Независимо от того, в какой стране работаем мы и наши коллеги — в России, Украине, Беларуси, Италии, Польше, Китае или США — мы единая сплоченная команда профессионалов и единомышленников.

Желаем нашим коллегам, руководителям компании и лично Вам, Виктория, крепкого здоровья и радости, благополучия и мира!

С уважением,
Коллектив ЗАО ВГХ



Уважаемая Виктория Гартен!

От всей души желаем компании VGH AG неизменного процветания и благоденствия, дальнейшего укрепления лидерских позиций, новых амбициозных целей и радости от их достижения! Пусть ваш успех будет постоянным.

Благодарим Вас за плодотворную 20-летнюю совместную работу и надеемся, что и в дальнейшем наши компании будут надежными и верными партнерами. Достойный труд, многолетний опыт работы, высокое качество продукции и отличный сервис всегда будут опорой в достижении нашей общей цели. Желаем дальнейшего процветания и экономического роста.

За годы существования компания VGH AG достигла впечатляющих производственных и экономических показателей, стала надежным партнером многих предприятий России, Украины и других стран. Это результат слаженной работы коллектива, качества предлагаемой продукции, своевременных управленческих решений, высокой степени ответственности перед клиентами и индивидуальный подход к их потребностям. Компания VGH AG зарекомендовала себя как надежный партнер, способный к взаимовыгодным долгосрочным отношениям.

Коллектив
ООО «Метинвест Холдинг»

VGH — СКАЗКА ИЗ ОГНЯ И СТАЛИ

«Однажды, не так уж давно, жила-была девушка, которая решила основать собственное СТАЛЬНОЕ королевство...»

Таким или подобным образом могла бы начинаться сказка, которая является историей успеха г-жи Виктории Гартен, основательницы и председателя наблюдательного совета международного концерна, носящего ее имя: «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG». В этом году компания празднует свое двадцатилетие.

За прошедшие годы концерн VGH AG превратился из маленького инженерного бюро в одного из ключевых поставщиков огнеупорной продукции для сталеплавильной промышленности, а также для литейных заводов на постсоветском пространстве. Компания прочно удерживает ведущую позицию на рынке и постоянно движется вперед. Следует отметить, что сказочный успех пришел к нашей героине не столько по волшебству, сколько благодаря ее упорной работе и экономическому чутью.

Часто бывает, что именно роковой случай направляет сказочного персонажа в нелегкий, наполненный приключениями путь, делая героем поневоле. Так произошло и с Викторией Гартен, которая по окончании школы поехала в Москву поступать в МГУ им. М. В. Ломоносова на отделение биохимии химического факультета. Однако жизнь распорядилась иначе.

«Я не набрала на вступительных экзаменах необходимых баллов и не поступила в университет на интересовавшую меня тогда специальность. Однако, когда я уже собиралась уходить из приемной комиссии, ко мне подошел сотрудник другого института — МИСиСа (Московского института стали и сплавов) и предложил поступать к ним на технологический факультет», — вспоминает Виктория. И она согласилась, хотя первоначально собиралась, выждав год, предпринять вторую попытку поступления на отделение биохимии.

Однако учеба в металлургическом вузе быстро захватила честолюбивую девушку. Она понимала, что ее имя — Виктория, которое переводится как «победа», обязывает ее стремиться к профессиональному успеху в любой сфере деятельности.

«Я верю в судьбу, — рассказывает Виктория, — а также в то, что в моей жизни принял участие Его Величество Случай. Безусловно, нельзя сказать, что случай предопределил абсолютно все в моей истории. Судьба дает нам шанс, а как мы воспользуемся этим шансом, будем ли мы при этом счастливы или по крайней мере довольны — зависит во



многом от нас. Поэтому я поменяла специализацию после первого года учебы в МИСиСе».

На этот шаг г-жу Гартен подвиг удручающий опыт ее первой ознакомительной практики. «От института я была направлена на металлургический комбинат полного цикла и в самом начале практики пришлось побывать на коксохимическом производстве. Условия труда там оказались крайне неблагоприятными и вредными для здоровья. Мне захотелось изменить ситуацию. Таким образом, я приняла решение поменять свою специализацию на «Экологию и охрану окружающей среды», — вспоминает Виктория.

После получения диплома инженера-металлурга будущая Королева Стали поступила так же, как поступают все герои сказок, успешно закончившие свое обучение у волшебников и магов. Виктория снова собралась в путь. Но в этот раз ее дорога лежала значительно дальше — в Германию. Приехав в ГДР, она устроилась на работу по специальности, где смогла применять свои накопленные за годы учебы теоретические знания в профессиональной сфере деятельности. Три года г-жа Гартен работала уполномоченным по утилизации отходов и охране окружающей среды в компании «EKO Stahl AG». Производственные за-

дачи, поставленные перед ней, были ей по плечу, и она полностью окунулась в работу. Как показала потом жизнь, этот период был для Виктории всего лишь небольшой остановкой, так как ее путь лежал дальше, на Запад. И на этом пути нашей героини встречались сложные препятствия и тяжелые испытания.

«В Западной Германии подходящих рабочих мест было намного меньше, чем в ГДР. Ситуация осложнялась еще и тем, что рабочие места распределялись зачастую не с учетом компетентности специалиста, а исходя из политических взглядов работодателей», — делится своим опытом г-жа Гартен. Так Виктория столкнулась с проблемой, которая знакома многим в Германии: более 200 безуспешных резюме, оставшихся без ответа, и никакой реальной перспективы, кроме той, которую человек создает себе сам. В условиях стагнации и отсутствия возможности найти достойную работу Виктории пришлось взять инициативу в свои руки и организовать в 1993 г. маленькое инженерное бюро в г. Гефельсберг. Она твердо решила вести свой бизнес в традиционно мужской сфере деятельности, в металлургии. Ее никогда не смущали насмешки сильного пола и предвзятое отношение.

«Как женщине, и к тому же как иностранке, мне было вдвойне тяжело. Мужчины были грубы, называли меня пренебрежительно «девочкой» и при каждом удобном случае показывали, что не воспринимают меня как полноценного партнера. И все же надо сказать, что такое отношение было для меня скорее стимулом, чем угнетающим фактором. Я думала про себя: «Я вам покажу, кто здесь серьезный партнер». И, наконец, я смогла использовать во благо то, что мне засчитывали как недостаток, а именно мои деловые связи на востоке, и прежде всего в России», — объясняет Виктория.

Г-жа Гартен, как разумная сказочная героиня, знает, что лучше попытаться укротить дракона, чем убить его. «Я должна была противостоять в конкурентной борьбе, некоторые из приемов которой были весьма некрасивы. Но в конечном счете я всегда извлекала из этого пользу. Даже если я и проигрывала в конкурентных схватках, все равно приобретала при этом бесценный опыт и знания. Я ведь отношусь к той породе людей, чьих сопротивление и невзгоды делают только сильнее», — продолжает вспоминать Виктория.

А сопротивляться невзгодам приходилось, особенно в первые годы самостоятельной деятельности. Сегодня наша героиня описывает этот период как тернистый путь:

«Первые пять лет были хлопотными. Оглядываясь назад, можно сказать, что это время напоминает мне немного историю Золушки, которая терпеливо и безропотно сносила все тяготы и в конце

концов была вознаграждена за это. Мне все приходилось начинать с нуля, не зная, что ждет меня впереди. Но я абсолютно четко знала, чего хочу достичь, я ставила перед собой ясные цели, ведущие к успеху предприятия. Это давало и дает мне силы неустрашимо идти вперед навстречу новым горизонтам, открывать принципиально новые перспективы».

Путь этот Виктория проходила без спешки, последовательно, шаг за шагом. «Именно тогда я научилась достигать больших результатов маленькими шажками. Этот метод хорошо срабатывал и на этапе самостоятельной работы, и позже, когда моя фирма начала расширяться».

В 1998 г. г-жа Гартен приняла на работу своего первого сотрудника. Вместе с этим пришли перемены: Гефельсбергское инженерное бюро было преобразовано в общество с ограниченной ответственностью Viktoria Garten Handels GmbH. Наряду с непрерывно растущим персоналом компании увеличивалось и число единомышленников г-жи Гартен. Верные друзья и мудрые советы нужны не только в сказке. Виктория осознает это: «У меня всегда были очень хорошие помощники, которые верили мне и воодушевляли меня. Один из самых важных спутников в моей деловой жизни, который помогал с самого начала создавать мою компанию и сопровождает меня как старший эксперт VGH AG до сегодняшнего дня, — это г-н Август Шэфер. Именно ему я обязана невероятно многим в профессиональном плане».

Благодаря правильной кадровой политике компания VGH GmbH стабильно росла и развивалась, превратившись в крупного эксперта и признанного поставщика огнеупорной продукции для сталеплавильной индустрии. Высокое качество предлагаемых материалов и квалифицированная техническая поддержка, гибкие, ориентированные на специфику конкретных потребителей решения незамедлительно нашли своих верных приверженцев на рынке. Растущий успех позволял компании VGH GmbH постоянно расширяться. Со временем она из Гефельсберга переместилась в Швельм, была выстроена многоуровневая сеть поставщиков, технических консультантов.

Для удовлетворения растущей потребности заказчиков в качественной огнеупорной продукции в 2006 г. была основана дочерняя производственная компания «theramer GmbH», задачей которой стало производство огнеупорных материалов для сталеплавильной индустрии и литейных производств. Фирма располагает собственной системой сбыта и работает в тесном партнерстве с крупнейшими поставщиками сырья как из Германии, так и из других западноевропейских стран. За короткое время предприятие «theramer GmbH» хорошо зарекомендовало себя в качестве производителя огнеупорных бетонов для всего спектра

сталеплавильной и литейной промышленности, изготавливаемых по собственным рецептурам с учетом индивидуальных запросов потребителей и эксплуатационных условий работы металлургических предприятий.

В 2007 г. фирма VGH GmbH, на которой тогда работало около 60 сотрудников, а годовой оборот составлял примерно 14 млн евро, была преобразована в акционерное общество «VGH Viktoria Garten Hüttenindustriebedarf AG». Это событие стало очередным этапом роста компании. Были созданы новые филиалы в России, Украине, Китае, Италии и США. Для обеспечения надежности поставок и повышения эффективности транспортно-экспедиторских услуг VGH AG приобрела в 2010 г. контрольный пакет северогерманской транспортно-экспедиционной компании «Klaus & Klaus Speditions- und Handels GmbH».

Концепция развития концерна основывалась на четкой бизнес-идее, которую г-жа Виктория Гартен сформулировала следующим образом: «Нашей целью было создание условий для обеспечения наших клиентов полным объемом услуг из одних рук. При этом мы старались оставаться независимыми от предложений внешних поставщиков. Чем больше мы сами могли предлагать и выполнять, тем больше была вероятность того, что наши проекты будут осуществляться безупречно, полностью удовлетворяя наших клиентов».

Довольные заказчики — это, конечно, главный критерий коммерческого успеха, однако Виктория никогда не забывает о значении самого важного капитала процветающего предприятия. «Только сотрудники, из которых состоит компания VGH AG, делают возможным ее успешное продвижение на рынке, — считает г-жа Гартен. — Хотя предприятие носит мое имя, каждый сотрудник вложил в него частичку себя. VGH AG и ее дочерние предприятия — это коллективная работа. Наш успех определяется вкладом каждого конкретного человека. И успех мы делим таким же образом, как мы делим работу».

В VGH AG дружественная рабочая атмосфера. Для сотрудников компании созданы прекрасные условия. Так, на фирме есть специальный фонд «Образование», который помогает обеспечивать повышение квалификации сотрудников. Компания VGH AG поддерживает корпоративную культуру, лояльную к семейным ценностям. К услугам сотрудников VGH AG детские сады, спонсируемые предприятием.

«Семья — это принципиально важная тема, — считает Виктория. — Для меня самой в том числе. Сколько бы я ни работала, я нуждаюсь в семье и домашнем очаге, где могу спокойно отдохнуть. Притом, что работа была всегда существенной составной частью моей жизни, я всегда ценила и на-

слаждалась моментами семейной жизни, общением с замечательной дочерью, которая уже давно самостоятельна, с мамой и мужем, который является моим чутким партнером и в жизни, и в бизнесе».

Несмотря на то что г-жа Гартен продержалась в твердом, как сталь, бизнесе более двух десятилетий, ей удалось сохранить женственность, очарование, преданность своим мечтам и в первую очередь себе самой.

«Так же, как это случается со сказочными героями, жизненное путешествие сделало меня более зрелой и опытной. Однако я надеюсь, что я не изменилась, даже несмотря на успех. Я всегда хотела оставаться человеком, которым я была до построения моей империи и которым являюсь сейчас. Даже пользуясь заработанным нелегким трудом благосостоянием, я остаюсь человеком, твердо стоящим на земле. Воспарить в небесах — это не для меня».

Верит ли в сказки деловая женщина, история успеха которой сама так похожа на сказку? «Конечно, верю, я люблю сказки! — утверждает Виктория. — В особенности «Гадкого утенка» Г. Х. Андерсена. Первоначально высмеянный, оскорбленный и изгнанный, он следует своим путем, и в итоге превращается в прекрасного, гордого лебедя. Возможно, эта сказка так близка мне потому, что я сравниваю себя с тем утенком, — открывает свой секрет Виктория. — И если бы у меня была возможность загадать три волшебных желания, я бы ее не упустила. Первым, конечно, я бы загадала здоровье для себя и своих близких. Второе, — чтобы у нас и впредь были такие фантастические сотрудники, с которыми мы можем по-семейному сотрудничать и разделять наш общий успех. И третье... теперь, когда я часто бываю в разъездах и иногда скучаю по дому, было бы неплохо иметь небольшую избушку Бабы-Яги, разумеется, с крыльями вместо куриных ножек», — завершает Виктория.

Г-жа Гартен постоянно находится в движении, путешествуя между Россией, Германией и ее любимой Испанией. Она — неутомимая правительница своей империи, которая существует уже не в сказке, а наяву, и у нее еще много планов на будущее. Часть из них связана с самым юным детищем концерна VGH AG — винодельческой фирмой «xanthurus GmbH», открывшей в 2012 г. свой интернет-магазин, а также начиная с этого года предлагающей попробовать изысканные вина со всех частей света в дегустационном зале собственной винотеки.

На этом наше повествование завершается, но сказка из огня и стали продолжается. «Жила она, поживала и добра наживала. И работала она долго и счастливо еще много-много десятилетий...» ■

theramer GmbH — КОМАНДА, ВЕДУЩАЯ К УСПЕХУ

Во многих языках сталь — это синоним твердости, устойчивости, надежности и высокого качества. В то же время слово сталь ассоциируется с гибкостью и многофункциональностью. Все эти характеристики составляют основу философии VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG. Чтобы в полной мере соответствовать высоким требованиям своих клиентов и актуальным тенденциям рынка, а также оперативно предлагать комплексные современные решения в области огнеупоров, в 2006 г. VGH AG организовала дочернюю производственную компанию «theramer GmbH». Бизнес-модель этого предприятия включает два основных направления. Во-первых, под собственным брендом «theramer» изготавливаются для сталеплавильного и литейного производств готовые изделия и сборные элементы, сбыт которых theramer GmbH осуществляет как самостоятельно, так и в сотрудничестве с известными немецкими и другими западноевропейскими поставщиками, обслуживающими металлургические предприятия. Во-вторых, компания «theramer GmbH» разрабатывает и изготавливает огнеупорные бетоны и массы. Буквально за несколько лет предприятие преодолело путь от рядового производителя до эксперта мирового класса в области огнеупоров, товарная номенклатура которого на сегодняшний день включает более 100 наименований, в том числе целый ряд уникальных продуктов, не имеющих аналогов на рынке. При многомиллионном годовом обороте компании удается постоянно увеличивать свои финансовые показатели. Поэтому в разговоре с директо-



К. Шехан, председатель правления VGH AG

ром компании «theramer GmbH» господином В. Уссельманном и с председателем правления VGH AG господином К. Шеханом, который также выступает бизнес-консультантом theramer GmbH, интересны были не только ретроспективный обзор проделанной работы, но и перспективная оценка будущего развития предприятия.

Г-н В. Уссельманн: «Решение создать компанию «theramer GmbH» в 2006 г. было продиктовано рядом факторов. На тот момент компания VGH AG находилась в поиске поставщиков, чья продукция полностью отвечала бы требованиям клиентов компании. Стандартные продукты и решения зачастую не подходили, поскольку запросы носили индивидуальный характер. В то же время в структуре нашей компании всегда было и остается сильное подразделение научных исследований и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), а также подразделение по изучению рынка и разви-



В. Уссельманн, директор по сбыту VGH AG, директор theramer GmbH

тию бизнеса. Так как каждый запрос для нас означал необходимость оперативно найти качественное решение, разработанное с учетом потребностей заказчика, а требования потребителей нашей огнеупорной продукции весьма разнообразны, то руководство VGH AG решило пойти по пути осуществления принципа: «Хочешь сделать хорошо — сделай сам» и организовало собственное производство «theramer GmbH». На созданном производстве необходимо было не только наладить изготовление и бесперебойные поставки высококачественных и индивидуально подобранных продуктов, но и организовать работу системы внутреннего контроля качества со строгим отбором исходного сырья. Еще одной задачей, которая была поставлена перед theramer и группой VGH AG в целом и которая впоследствии сыграла немаловажную роль в нашем совместном успехе, была организация слаженной внут-

рикорпоративной работы подразделений по поддержанию постоянного контакта с клиентами и по оперативной обработке поступающих запросов».

Эту позицию разделяет г-н К. Шехан: «Мы очень ценим своих заказчиков, а потребители заинтересованы в своевременных поставках и безупречном качестве продукции. Поэтому в настоящее время ключевая цель компании «theramer GmbH» — повышение эффективности работы с клиентами. Для ее достижения у нас есть все необходимое — профессиональная команда инженеров-разработчиков, специализированные производственные мощности, широкая сбытовая сеть. Мы стремимся, насколько это возможно, предлагать простой и понятный сервис, при котором заказчик формулирует свои потребности, а theramer GmbH в ответ предлагает самые оптимальные и экономически обоснованные решения по поставке огнеупоров в кратчайшие сроки».

Компания «theramer GmbH» год от года демонстрирует рост производства и соответствующее увеличение оборотов. В основе этого лежит синергия двух факторов: стратегии, направленной на постоянное повышение эффективности, и коллектива компании, каждый работник которой отдает работе все свои навыки и умения, стремится к личному профессиональному росту.

Г-н К. Шехан: «Успех полностью зависит от команды. Нам очень повезло с сотрудниками VGH AG и «theramer GmbH», которые гарантируют достижение поставленных целей и сфокусированы на работе с клиентами. Мы все — команда, живущая одной философией и стремящаяся стать лидером в сфере комплексных решений по использованию огнеупоров».

Эту позицию разделяет г-н В. Уссельманн, который в 2010 г. был назначен директором компании «theramer GmbH»:

«По образованию я экономист, а опыт в области сбыта приобрел первоначально в головной компании — VGH AG. Можно сказать, что в своей профессии я перешел от работы с цифрами к работе с людьми, и работа в коллективе мне очень помогла. В момент назначения на должность директора theramer я был немного в замешательстве, так как осознавал, что несу ответственность не только перед фирмой, но и перед ее сотрудниками. И именно они очень поддерживали меня при выполнении поставленных задач. Несомненно, у theramer прекрасная команда. Я уверен, что без нашего коллектива успех компании был бы невозможен».

Четкая нацеленность на потребности заказчика является решающим фактором успеха. Так, изначально номенклатура продукции компании «theramer GmbH» была специализированной и достаточно узкой. Наливные бетоны для футеровки желобов не входили в ее состав. Однако очередной заказ одного из клиентов на комплексное решение, включавшее в себя в том числе и заливку желобов, не оставил theramer выбора, кроме как самостоятельно создать нужный продукт. Разумеется, на разработку, эксперименты и испытания потребовалось некоторое время, но в результате выиграл не только заказчик: theramer стала конкурентоспособной компанией на рынке желобных масс.

Другим важнейшим аспектом работы компании «theramer GmbH» и всей группы VGH AG является поддержание и постоянное повышение качества производимой продукции и предлагаемых услуг. «Качество — это приоритет для VGH AG, наша система менеджмента качества сертифицирована по нормам DIN ISO 9000:2008 и мы очень серьезно относимся к ожиданиям наших заказчиков, которые ориентированы на получение продукции высочайшего уровня», — подчеркивает г-н К. Ше-

хан. Первая сертификация компании theramer по нормам DIN ISO 9000:2008 состоялась еще в 2006 г. с привлечением сторонних экспертов, а в 2010 г. в компании был создан собственный отдел контроля качества, который не только отвечает за готовую продукцию и ее эффективность при внедрении в производство, но и работает на перспективу, налаживая сотрудничество с университетами, лабораториями, исследовательскими центрами и производителями сырья. Производственная лаборатория theramer GmbH расположена в г. Хаттинген; в ней осуществляется входной контроль закупаемого сырья и контроль качества готовой продукции. В обязательном порядке производится контрольный отбор проб, поэтому возможно проведение вторичного анализа продукции. Основная лаборатория theramer GmbH, в которой разрабатываются и тестируются новые продукты, расположена неподалеку от Европейского центра огнеупоров (ECREF) в г. Хилгерт.

Говоря о новой продукции, важно подчеркнуть, что theramer не только разрабатывает огнеупорную продукцию по индивидуальным запросам потребителей, но и ведет научно-исследовательскую работу по созданию новых рецептур с применением инновационных технологий, с перспективой на будущее. Например, бетоны для монолитной футеровки сталеразливочных ковшей создаются с применением нанотехнологий, что обеспечивает большую стойкость бетонов. «Благодаря работе наших научных сотрудников, технологии theramer идут в ногу со временем, иногда даже опережая его. Мы создаем действительно уникальные рецептуры, большая часть наших разработок, которые являются абсолютной новинкой, только через несколько лет найдут свое место в производстве наших клиентов», — считает дирек-

top theramer GmbH г-н В. Усельманн. — Однако и в этой области заказчики компании служат одновременно движущей силой и основными партнерами по развитию передовых технологий. Наши клиенты доверяют экспертам theramer, ожидают от них интересных творческих решений и затем с успехом применяют наши новейшие разработки. Здесь, в Германии, мы работаем совместно с крупными концернами, создавая и испытывая новые рецептуры и применяя их на практике. По окончании испытаний успешно прошедшие их продукты внедряются в производство и могут применяться по всему миру». Благодаря подобным инновациям специалисты theramer GmbH сумели за короткое время разработать впечатляющий ассортимент материалов высокого класса, которые могут применяться в агрегатах всего металлургического цикла — начиная от доменной печи, затем охватывая агрегаты всех переделов производства стали и заканчивая МНЛЗ и изложницами. Ни одна из потребностей заказчика не остается без решения, ни один запрос — без ответа, именно так и создаются новые виды продукции. Пример тому — сухая торкрет-масса для футеровки промежуточных ковшей — весьма сложный продукт, над которым трудятся многие разработчики с переменным успехом. По сравнению с материалами наших конкурентов (мокрыми торкрет-массами) сухая торкрет-масса марки theramer выгодно отличается простотой исполнения футеровки, высокой стойкостью и оптимальными показателями качества, что приводит к повышению серийности разлива и сохранению чистоты разливаемой стали. Таким образом, мы завоевываем рынок высоким качеством продукции и компетентностью сопутствующих услуг. В этом заключается концепция, определяющая не-

прерывный рост и развитие компании «theramer GmbH».

«В 2006 г. производственные мощности компании состояли из одной небольшой производственной линии. В настоящее время внедрены две современные высокопроизводительные линии, оснащенные современным мощным оборудованием, что позволяет производить в сжатые сроки продукцию партиями большого объема. Мы идем по пути дальнейшего развития, ищем новые возможности роста. Обе производственные линии сейчас полностью загружены, так как мы находимся на стадии реализации крупномасштабных проектов по производству различных видов продукции — как неформованных материалов, так и готовых изделий», — продолжает г-н В. Усельманн, знакомя с историей успеха компании, которая началась с маленького помещения в г. Хаген, но вскоре переехала в г. Хаттинген с целью расширения производственных мощностей и оптимизации логистических решений.

Значение международного сотрудничества для развития компании «theramer GmbH» г-н К. Шехан объясняет так: «За последние четыре года группа VGH AG, в которую входит theramer GmbH, открыла для себя новые рынки. На Украине нас представляет дочернее предприятие ООО «ВГХ-Украина» — сильная и сплоченная команда профессионалов, прекрасно знающих украинский металлургический рынок. Их поддерживают наши технические эксперты, сопровождающие проекты на местах, непосредственно на производстве заказчиков.

У нас есть собственное дочернее предприятие в Италии, и итальянские металлургические предприятия высоко ценят качество продукции марки theramer, а также уровень нашего технического обслуживания и инжиниринга. Г-н М. Сигнорелли, директор компании

«VGH Italia SRL», имеет более чем 30-летний опыт работы с огнеупорами и обладает огромными познаниями в технических, экономических и коммерческих особенностях данной отрасли.

В Польше компания также с успехом реализует огнеупорную продукцию марки theramer, предоставляя полный технический сервис, — наши клиенты довольны первоклассным качеством и обслуживанием. В 2013 г. в этом регионе мы ожидаем значительный рост продаж.

В 2012 г. продукты компании «theramer GmbH» впервые были представлены на рынке США. В течение короткого срока сотрудникам компании удалось начать поставки на американские металлургические предприятия.

Общий план развития компании в 2013 г. предусматривает дальнейшее расширение производства и ассортимента предлагаемой продукции, осуществление ряда проектов по оптимизации логистических решений и внутренней структуры компании. За последние годы было собрано и применено множество практической информации о том, как основные рецептуры могут быть дополнены и усовершенствованы в соответствии с индивидуальными запросами потребителей. В краткосрочной перспективе планируем пробовать свои силы на предприятиях Турции, Великобритании и Франции. Далее — выход на металлургический рынок Индии. Испания также представляет для нас очень интересное поле деятельности.

Сотрудники подразделения НИОКР продолжают создавать новые перспективные продукты. Мы ожидаем отличных производственных показателей, как это было и раньше, и намереваемся с успехом внедрять вновь созданные материалы на заводах существующих и новых заказчиков, приток которых мы ожидаем в ближайшие 12 месяцев».

Г-н В. Уссельманн так видит перспективу theramer на ближайшие несколько лет:

«На данный момент наша компания не самый крупный производитель огнеупорной продукции, но выгодно отличается гибкостью и мобильностью при работе с клиентами металлургического рынка. Этим объясняется высокий уровень годового прироста производства, который достигает 50 %. Это в течение следующих 5–6 лет абсолютно реальный показатель для theramer GmbH, хотя я не берусь ограничивать его какими-то верхними границами. Главное для нас оставаться верными философии качества и ответственности за нашу продукцию. В заключение мне хотелось бы поблагодарить Наблюдательный совет VGH AG за оказываемое мне доверие, всех сотрудников theramer GmbH за прекрасную

ПЕРЕЧЕНЬ ПРОДУКЦИИ МАРКИ theramer:

- Бетоны для монолитной рабочей футеровки дна и стен сталеразливочных ковшей
- Бетоны и огнеупорные изделия для арматурной футеровки металлургических агрегатов
- Желобные массы, включая бетоны, набивные и торкрет-массы
- Бетоны для укрытия желобов
- Буферные массы
- Торкрет-массы
- Сухие массы для футеровки промежуточных ковшей
- Бетоны для крышек промежуточных ковшей
- Набивные массы
- Бетоны для крышек дуговых печей
- Шибберные затворы
- Готовые изделия для сталеразливочных ковшей: продувочные блоки
- Готовые изделия для промежуточных ковшей: металлоприемники, бойные плиты, пороги, перегородки
- Теплоизолирующие материалы

работу и всех поставщиков, которые на протяжении многих лет работают с нами. Именно эти факторы и являются залогом

нашего успеха, без которого компания «theramer GmbH» просто не могла бы состояться». ■

© В. Уссельманн, К. Шехан, 2013 г.

А. Аленин

VGH – Ukraine Ltd

VGH AG: ПРОФЕССИОНАЛЫ В АВАНГАРДЕ ОГНЕУПОРНОГО РЫНКА УКРАИНЫ

СТАНОВЛЕНИЕ НА РЫНКЕ

Основанная в начале девяностых годов прошлого века компания VGH AG уже не одно десятилетие ведет планомерное деловое сотрудничество с крупнейшими металлургическими предприятиями Украины. Стратегия развития бизнеса в данном направлении принесла плоды еще в начале 2000-х годов. К тому моменту бренд VGH стал хорошо узнаваемым среди металлургов Украины, что наряду с позитивным имиджем компании послужило основанием для формирования прочного бизнес-фундамента для последующего развития компании на

украинском рынке. Результатами первых 20 лет работы VGH AG в этом направлении стали крепкие деловые связи, а также устоявшаяся положительная деловая репутация.

2011 г. можно назвать началом принципиально нового этапа развития компании VGH AG на металлургическом рынке Украины. Накопленный опыт работы, помноженный на амбициозные цели команды новых менеджеров, дал возможность повысить профессиональную планку и поставить перед собой смелые, но вполне реалистичные задачи.

Официально зарегистрированное дочернее предприятие



Директор «VGH – Ukraine» Ltd
А. Аленин

«VGH – Ukraine» Ltd послужило подтверждением серьезности

намерений компании сотрудничать с большинством металлургических предприятий Украины. Результатом обновленной бизнес-стратегии стало заключение компанией VGH AG внешне-экономических контрактов с десятью из четырнадцати крупнейших металлургических предприятий страны. Среди них такие лидеры рынка, как ПАО «МК «Азовсталь», ПАО «ММК им. Ильича», ПАО «Енакиевский МЗ», ПАО «Алчевский МК», ООО «Днепросталь», ОАО «ЗМК «Запорожсталь», ООО «Электросталь» и др.

Не останавливаясь на достигнутых серьезных результатах, компания динамично развивается, принимая участие в многочисленных тендерах. Немало внимания уделяется вопросам оптимизации производства при условии снижения удельных затрат. Сотрудники компании готовы обеспечивать предприятия клиентов комплексными проектами в области частично-производственного аутсорсинга. Это уже успели по достоинству оценить деловые партнеры VGH AG.

За минувшие два года на предприятиях клиентов были проведены испытания огнеупорных изделий и материалов собственного производства. Полученные результаты сформировали фундамент дальнейшего сотрудничества по поставкам этой продукции в промышленных масштабах.

РАЗВИТИЕ И ПЛАНЫ В ДОЛГОСРОЧНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ

Нынешняя ситуация на рынке требует индивидуального подхода к каждому клиенту. Падение цен на металлопродукцию, снижение количества заказов и значительное сокращение мероприятий по модернизации производственных мощностей приводит к тому, что в условиях финансового кризиса клиенты все чаще ставят задачи перед

поставщиками по снижению удельных затрат на тонну стали.

В условиях жесткой конкуренции заказчики имеют возможность тщательнее подбирать поставщиков. Если еще несколько лет назад украинские компании не уделяли столь пристального внимания данному вопросу, то в последнее время анализ деятельности компаний-поставщиков стал более детальным. Сегодня каждое бизнес-предложение оценивается по достаточно широкому ряду параметров. В таких конкурентных условиях компания VGH AG имеет ряд весомых преимуществ, базируя стратегию своей деятельности на комплексном подходе к решению задач любого уровня сложности. Главный принцип компании — максимальная эффективность работы, основанная на высоких результатах всех этапов производственного процесса.

Рассматривая качество продукции VGH AG, производимой под маркой theramer и Interfull, важно подчеркнуть, что при ее изготовлении применяется сырье ведущих мировых поставщиков, а разработка и тестирование готовых материалов осуществляются в собственной лаборатории, оборудованной современными, высокоточными приборами. Это позволяет специалистам компании внедрять собственные «ноу-хау» при производстве современных огнеупоров.

Помимо высококачественной продукции, компания VGH AG предлагает своим партнерам логистические услуги высокого уровня. Весомым аргументом в пользу сотрудничества с VGH AG является наличие у нее собственной логистической компании «Klaus&Klaus Spedition und Handels GmbH». Это позволяет четко планировать поставки, основываясь на двух главных принципах деятельности: точно в срок и от двери до двери.

Хотелось бы отметить, что сотрудничество компании VGH AG

с партнерами не ограничивается этапом доставки продукции. Процесс использования поставляемых материалов всегда обеспечивается технической поддержкой со стороны специалистов-технологов VGH AG, которые в равной степени отвечают и за шефмонтаж, и за обучение персонала своих клиентов на местах, и за последующий авторский надзор за применением поставленных материалов.

Динамичное развитие VGH AG на металлургическом рынке Украины позволяет строить долгосрочные планы, несмотря на ряд кризисных явлений. Специфика отрасли наряду с собственным научным и технологическим потенциалом позволяет расширять профессиональные возможности компании, участвовать в самых смелых проектах, учитывающих мировой опыт и современные тенденции совершенствования производственных процессов. В настоящее время компания имеет все возможности для работы над любыми решениями в области огнеупоров на всех этапах полного цикла металлургического производства.

Выстраивая свою дальнейшую стратегию развития, компания VGH AG ставит целью закрепление позиций по следующим направлениям:

- комплексные решения в области футеровки желобов литейных дворов доменных печей;
- футеровка дна и рабочего слоя стен сталеразливочных ковшей высокотехнологичными бетонами;
- шлакообразующие и теплоизолирующие смеси торговой марки STOLLBERG для МНЛЗ;
- футеровка промежуточных ковшей МНЛЗ сухими или полусухими торкрет-массами в рабочем слое и специальными высококачественными наливными бетонами в арматурном слое;

- леточные массы для за-крытия чугунных леток домен-ных печей;

- футеровка дуговых печей;
- футеровка крышек стале-разливочных ковшей высокопо-ристыми теплоизоляционными бетонами.

Помимо обозначенных выше задач, команда единомышленников VGH AG готова работать и над совершенно новыми для себя проектами. Неизменным остается лишь главное — индивидуальный подход к каждому клиенту. Компания неизменно следует правилу, что не техно-логия подстраивается под усло-вия работы огнеупоров, а огне-упоры подбираются под суще-ствующую технологию, исполь-зуемую каждым отдельным за-казчиком.

Основная задача в ближай-ших планах VGH AG на украин-ском рынке — войти в пятерку крупнейших поставщиков огне-упорных изделий и материалов, а также стать лидером в постав-ках шлакообразующих и тепло-изолирующих смесей. Профес-сиональный потенциал сотруд-ников и высочайшее качество предоставляемых услуг позво-ляют считать эти цели макси-мально реалистичными.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ «VGH – UKRAINE» Ltd

Индивидуальный подход к за-казчику — визитная карточка компании VGH AG. Это означает, что абсолютно любая производ-ственная задача, поставленная перед специалистами компа-нии, может быть решена на са-мом высоком уровне. Одним из важнейших ресурсов для реше-ний такого рода является до-чернее предприятие «VGH – Ukraine» Ltd. Оно обеспечивает тесный контакт с клиентами и способствует решению опера-тивных вопросов непосред-ственно на территории заказчика. Постоянный мониторинг пред-приятием наиболее востребо-ванных позиций на рынке позво-ляет быстро и эффективно кор-ректировать производственную

стратегию компании. Клиенты не раз отмечали, что наряду с гибкостью при исполнении их пожеланий VGH AG всегда при-держивается своего фирменно-го стиля и устоявшейся корпо-ративной культуры.

Одним из знаковых проектов в рамках сотрудничества VGH AG с украинскими металлурги-ческими гигантами стала футе-ровка желобов литейного двора доменной печи в ПАО «МК «Азовсталь». Компания, участ-вуя в программе снижения удельных расходов на тонну чу-гуна, стала полноправным побе-дителем в тендере. В настоя-щее время производится от-грузка первых партий соответ-ствующих материалов. Этот глобальный проект стал важ-нейшим этапом развития на-правления обеспечения огне-упорными материалами домен-ного передела.

Помимо сотрудничества с ПАО «МК «Азовсталь» компания VGH AG гордится успешной экс-плуатацией своих огнеупорных бетонов в ОАО «ЗМК «Запорож-сталь» — пионере в применении современных материалов для футеровки желобов на украин-ских предприятиях.

В то же время компания стре-мится освоить значительную долю рынка высокотехнологич-ных бетонов для футеровки ста-леразливочных ковшей. Полу-ченные успешные результаты на предприятиях Украины гово-рят о перспективе потеснить на рынке монопольных поставщи-ков этой продукции. И это, без-условно, может привести к по-ложительному экономическому эффекту на предприятиях за-казчиков.

Кроме поставок материалов, VGH AG имеет возможность обеспечивать изготовление и обслуживание футеровок при помощи оборудования собст-венной разработки. Его проек-тирует и внедряет в работу еще одно дочернее предприятие VGH AG — компания «Petronix Engineering GmbH».

Также одним из наиболее перспективных направлений

развития на ближайший период является обеспечение материа-лами участков непрерывной разливки стали, а именно про-межуточных ковшей. Наряду с наиболее востребованными по-лусухими массами для рабочего слоя уже сегодня предлагаются сухие массы, которые сущест-венным образом сокращают за-траты клиентов. В настоящее время данная технология явля-ется относительно новой для предприятий Украины, и клиен-ты VGH AG относятся к ней с оп-ределенной долей осторожно-сти. Но специалисты компании настроены оптимистично, счи-тая, что будущее как раз за из-менениями такого рода. Ведь помимо снижения трудозатрат эти нововведения позволяют эконо-мить энергоресурсы. В Евро-пе и Российской Федерации та-кие технологии применяются с большим успехом. В связи с этим вероятность, что в бли-жайшие год-два украинские предприятия также начнут при-менять сухие массы, достаточно высока.

Собственная лаборатория VGH AG постоянно разрабаты-вает новые материалы и расширя-ет ассортимент реализуемой продукции. В условиях жесткой конкуренции компания делает все возможное, чтобы обеспе-чить собственными разработка-ми максимальное количество металлургических агрегатов. В планы компании входит также участие в проектах по изготов-лению огнеупорных футеровок кислородных конвертеров и ду-говых печей.

За последние два года компа-нии VGH AG удалось наладить прочные деловые отношения со всеми ведущими предприятия-ми металлургической отрасли украинского рынка. В этом году компания ставит перед собой задачи по увеличению объемов продаж, планируя выйти на но-вые рынки сбыта продукции, значительно расширив геогра-фию своей деятельности. ■

© А. Аленин, 2013 г.

УДК 669-147:539.219.1

МЕХАНИЗМ ОЧИСТКИ СТАЛИ ОТ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В РАСКИСЛЕННЫХ АЛЮМИНИЕМ СТАЛЯХ

Рассмотрены особенности процессов ковшевой обработки стали различных марок, в том числе низкоуглеродистых, десульфурированных и ресульфурированных, а также различные варианты минимизации содержания неметаллических включений в этих продуктах. Чистоту стали можно регулировать, совершенствуя технологию выпуска расплава из сталеразливочного ковша, изменяя временные режимы обработки расплава в ковше, добавляя в расплав различные легирующие присадки, а также путем мягкого барботирования и добавления в жидкую сталь кальция. Растворенный в расплаве кальций и модифицированные под его воздействием неметаллические включения способствуют предотвращению образования отложений. При этом во время ковшевой обработки стали ставится задача не минимизации, а именно оптимизации количества и химического состава неметаллических включений.

Ключевые слова: коррозионно-стойкая сталь CleanSteel, неметаллические включения, ковшевая обработка, отложения.

В ходе первичной плавки углерод, содержащийся в чугуном расплаве, из которого будет впоследствии получена сталь, выжигается путем продувки этого расплава кислородом. При этом содержание кислорода в жидком металле возрастает в соответствии с кривой Вахера — Гамильтона (рис. 1). Процесс поддерживается до тех пор, пока общее содержание углерода и кислорода в расплаве изменяется в соответствии с кривой, отмеченной красной стрелкой, на отрезке, расположенном выше равновесной линии. В конце процесса продувки содержание углерода в стали обычно составляет 0,03 %, а соответствующее содержание кислорода — приблизительно от 700 до 1000 ppm (миллионных долей). Во время кислородной продувки железо и ряд других химических элементов, таких как фосфор и марганец, которые

легко могут быть редуцированы, окисляются и переходят в шлак. Как правило, содержание оксидов железа ($\text{Fe}^{2+,3+}$) в конвертерной (BOF) или дуговой сталеплавильной печи (EAF) составляет от 15 до 30 % в зависимости от параметров процесса. При этом количество кислорода в сталеразливочном ковше зависит главным образом от содержания кислорода или активных кислородных соединений в стали после продувки, количества печного шлака, попавшего в ковш, и содержания оксида железа в печном шлаке.

Для того чтобы получилась сталь высшего качества, содержание кислорода в сталеразливочном ковше, а следовательно, и итоговое содержание неметаллических включений в выплавленной стали должны быть на низком уровне.

Неметаллические включения образуются прежде всего в ходе процесса раскисления (дезоксидации) расплавленной стали. Помимо этого, во время внепечной обработки (в особенности при обработке сталей, раскисленных алюминием) в расплаве формируются дополнительные неметаллические включения. Алюминий, содержащийся в расплавленной стали, вступает в реакцию с оксидами, выделяющимися из огнеупорной футеровки, а также с оксидами, содержащимися в поверхностных шлаках. В результате этих реакций возникают разнообразные неметаллические соединения. Осаждаясь в расплавленной стали, образовавшиеся в процессе раскисления неметаллические соединения, оказывают негативное влияние на весь процесс ковшевой обработки стали. Они создают так называемые отложения

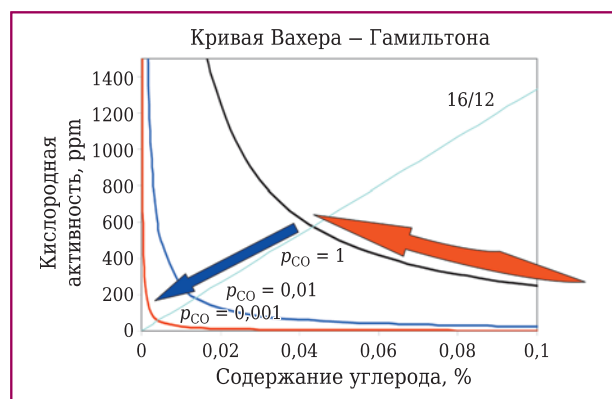


Рис. 1. Изменение содержания углерода и кислорода в расплаве стали в ходе его продувки кислородом, парциальное давление CO на кривых указано в барах

стальпроводки и в конечном итоге ухудшают качество получаемого продукта. Как показывает практика, при определенных условиях образовывать отложения может даже расплав коррозионно-стойкой стали марки CleanSteel.

Существуют разные способы предотвращения формирования дополнительных неметаллических включений в выплавляемой стали в зависимости от ее марки. Классификация марок стали, которые получают в ходе ковшевой обработки расплава, представлена на рис. 2. Прежде всего, марки стали подразделяются на обезуглероженные вакуумированием, как, например, особонизкоуглеродистые сорта ULC/IF, и необезуглероженные (не прошедшие процесса декарбонизации).

Необезуглероженные марки стали могут быть условно подразделены на три подгруппы: низколегированные (низкоуглеродистые), десульфурованные легированные и резульфурованные.

Для различных марок стали, представленных на рис. 2, необходимо непосредственно после открытия летки и выпуска металла из печи применять разные технологии внепечной обработки (очистки), которая производится в сталеразливочных ковшах. Далее рассмотрим технологии ковшевой обработки различных сортов стали с точки зрения их раскисления (регулирования содержания в них кислорода).

СОРТА СТАЛИ ULC/IF

Расплавленную сталь, которая должна пройти процесс обезуглероживания, до ее обработки в вакууматоре не следует подвергать предварительной дезоксидации. Во время вакуумной обработки расплава без его предварительного раскисления происходит выгорание углерода. На рис. 1 видно, что при этом его содержание в жидкой стали приближается к прямой линии, представляющей стехиометрию CO в соотношении 12:16.

Даже без кислородной продувки во время вакуумного обезуглероживания стали в ней фактически происходит более плавный процесс изменения соотношения общего содержания углерода и кислорода, чем следовало бы ожидать от стехиометрии. Причина этого — печной шлак, попавший в ковш во время выпуска расплава [1]. Наряду с кислородом, растворенным в стали, оксид железа из попавшего в ковш печного шлака также выступает в качестве реагента процесса вакуумной декарбонизации, способствуя выгоранию углерода с образованием угарного газа (газообразного монооксида углерода).

Во время вакуумного обезуглероживания происходит частичное удаление из расплава раство-

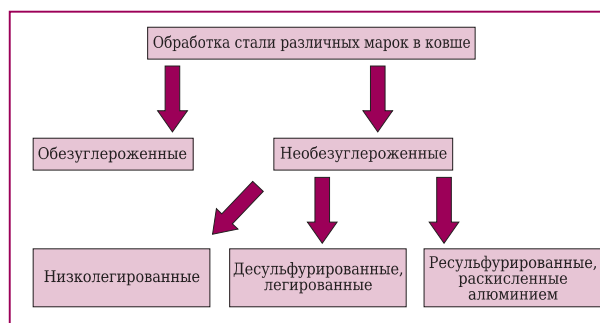


Рис. 2. Классификация марок стали

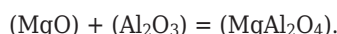
ренного в нем кислорода. Иными словами — в процессе обезуглероживания стали, одновременно происходит и ее дезоксидация. Таким образом, изначальная проблема удаления растворенного в расплавленной стали кислорода в какой-то степени решается автоматически уже во время ее ковшевой обработки. На следующем этапе (после вакуумного обезуглероживания) сталь должна быть раскислена, т. е. оставшийся в ней кислород должен быть удален путем его химического связывания такими веществами, как алюминий, кремний и марганец. При этом в стали образуются металлические оксидные включения.

Так как начальное содержание свободного кислорода в стали и связанного кислорода в виде оксида железа в шлаке в сталеразливочном ковше уже было редуцировано во время вакуумного обезуглероживания, количество реагентов, требующихся для раскисления, например алюминия, тоже снижается. Количество нежелательных неметаллических включений оксида алюминия в стали, которые осаждаются и удаляются в ходе ее раскисления алюминием, можно рассчитать по следующему уравнению реакции [2]:



При этом алюминий и кислород удаляются из расплава одновременно. Кроме того, объемы дополнительного выгорания алюминия при контакте с окружающей атмосферой могут быть уменьшены, если подавать его в ковш не в виде алюминиевых брусков, а в виде алюминиевой проволоки.

Оксид алюминия Al_2O_3 , образующийся в стали, может вступать в реакцию с MgO из огнеупорной футеровки или из шлака, находящегося в сталеразливочном ковше, с образованием шпинели $MgAl_2O_4$:



Степень значимости этой реакции зависит от базисных условий ковшевой обработки, например от ее продолжительности.

Неметаллические включения частично разлагаются и всплывают в поверхностный шлак, а частично остаются в жидкой стали. Остающиеся неметаллические включения, состоящие в основном из оксидов алюминия и магния, оказывают отрицательное влияние на чистоту произведенной стали. Более того, они затвердевают в погружаемых сталеразливочных стаканах и во время непрерывной разливки заготовок образуют отложения.

Обычно содержание кремния в сортах стали ULC/IF находится на минимальных уровнях. По этой причине эти стали нельзя обрабатывать силицидом кальция, что могло бы способствовать преобразованию твердых неметаллических включений в жидкости и этим предотвращать образование отложений. На практике в случае необходимости преобразования оксидов в жидкое состояние эта операция производится либо путем добавления в расплав чистого кальция, либо путем обработки жидкой стали соединением CaFe. Обычно на завершающем этапе ковшевой обработки стали производится ее «мягкое» барботирование, в ходе которого большая часть неметаллических включений выводится на поверхность жидкого металла и потом удаляется. При этом предотвращение образования отложений осуществляется путем продувки расплава аргоном.

СОРТА СТАЛИ, НЕ ОБЕЗУГЛЕРОЖЕННЫЕ В ВАКУУМАТОРАХ

Дезоксидация (раскисление) сортов стали, не прошедших обезуглероживания в вакууматорах, обычно производится во время выпуска расплава через леточное отверстие. В этих (не прошедших вакуумной обработки) сталях начальное содержание кислорода выше, чем в сталях, прошедших предварительную вакуумную обработку. Из-за этого для их дезоксидации требуются большие количества раскисляющих реагентов. Соответственно, во время раскисления таких сталей в них осаждаются большие количества неметаллических соединений. Вследствие этого при выпуске расплавов таких марок стали из печи в ковш необходимо уделять самое серьезное внимание предотвращению попадания в ковш вместе с расплавленной сталью печного шлака.

Итак, единственное, что объединяет технологии внепечной обработки трех вышеуказанных подгрупп сортов стали, — это общее для всех них требование минимизации попадания в ковш печных шлаков.

НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫЕ СОРТА НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Из-за того что в эти сорта стали добавляют небольшие количества легирующих элементов, сам процесс легирования занимает относительно небольшой промежуток времени. Зачастую в ковш добавляется только алюминий, связывающая способность которого по отношению к кислороду и азоту весьма высока [3]. В случае если алюминий будет добавлен в расплав на ранней стадии его выпуска, то его концентрация в жидкой стали временно поднимется до очень высоких значений. При этом расплав будет стремиться вобрать в себя кислород и азот из окружающего воздуха. По этой причине рекомендуется добавлять в расплав алюминий на позднем этапе выпуска плавки. Шлакообразующие материалы, напротив, необходимо добавлять в расплав непосредственно после открытия летки. При этом сразу же начнется быстрое образование поверхностных расплавленных шлаков, которые уже на раннем этапе ковшевой обработки начнут абсорбировать растворенные в жидкой стали неметаллические включения.

Позднее добавление алюминия предполагает проведение предварительной дезоксидации стали, предпочтительно путем добавления в расплав углерода. В отличие от металлического раскисления, когда в ковш засыпают те или иные металлические реагенты, при добавлении углерода он выгорает с образованием угарного газа и улетучивается, не оставляя в стали даже следов. При этом, чтобы достичь эффективного предварительного раскисления углерод следует добавлять в расплав постоянно и равномерно. Однако перед началом засыпки в ковш алюминия, предварительное раскисление стали углеродом должно быть прекращено, чтобы предотвратить нежелательные реакции алюминия с углеродом.

Предварительная дезоксидация расплава углеродом позволяет снизить количество алюминия, добавляемого на следующем этапе ковшевой обработки для завершения процесса раскисления. При этом снижается количество образующихся в стали неметаллических включений. Как и при разливке особонизкоуглеродистых сортов стали (ULC/IF), образующиеся при ковшевом раскислении низколегированных низкоуглеродистых сталей неметаллические включения, содержащие алюминий, могут потом превращаться в шпинель.

Содержание кремния в низкоуглеродистых сталях, как и в сталях ULC/IF, зачастую может быть очень низким. По этой причине обработка расплава силицидом кальция становится невоз-

можной, а образование отложений может предотвращаться путем продувки жидкого металла аргоном.

Обычно печной шлак попадает в ковш в конце выпуска стали, после того как предварительное раскисление уже закончено. По этой причине повлиять на содержание в шлаке оксида железа (и тем более существенно его снизить) в ходе предварительного раскисления невозможно. В этой связи надо отметить, что попадание печного шлака в ковш во время разливки низкоуглеродистых сортов стали оказывает еще более негативное влияние на качество продукта, чем даже при разливке особонизкоуглеродистых сортов стали. И это — несмотря на предварительное раскисление низкоуглеродистой стали.

Остающиеся в ковшевом шлаке оксиды железа и марганца являются постоянным источником окислительной активности, ведущей к реоксидации уже раскисленной стали. В результате в ходе ковшевой обработки может потребоваться дополнительное добавление в расплав алюминия. Это, в свою очередь, ведет к формированию дополнительных включений в виде соединений алюминия. Шансы того, что эти включения всплывут на поверхность невелики. В результате может происходить серьезное зарастание стакана. Зачастую процесс разливки удается поддерживать путем увеличения интенсивности продувки жидкого металла аргоном, осуществляемой через стержень стопора. При этом неметаллические отложения, осевшие в погружаемом сталеразливочном стакане (SEN), выдуваются из него и затвердевают в кристаллизирующемся слябе. Кроме того, при возрастании скорости аргонового потока в кристаллизаторе активизируются турбулентные процессы, которые могут способствовать тому, что частицы порошковой шлакообразующей смеси (ШОС), находящейся в кристаллизаторе, могут быть захвачены турбулентными потоками и в результате остаться внутри расплава в дополнение к неметаллическим включениям соединений алюминия и шпинели, образовавшимся в ходе ковшевой обработки.

ЛЕГИРОВАННЫЕ И ДЕСУЛЬФУРИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Десульфурация раскисленных алюминием сталей в ковше обычно происходит в соответствии со следующими уравнениями реакций между сталью и шлаком [4]:

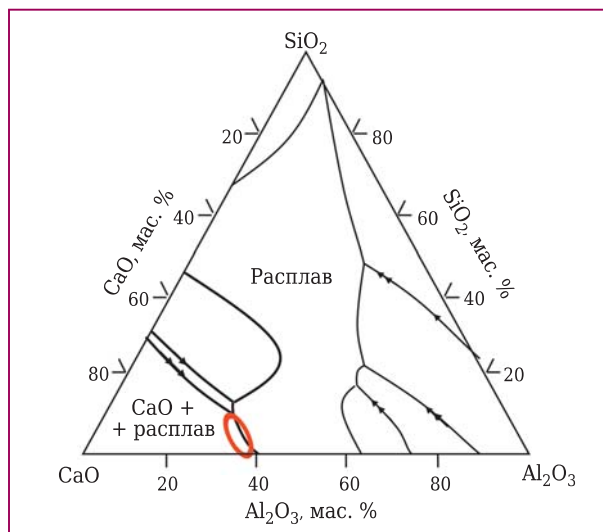
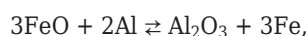
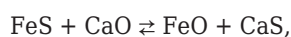
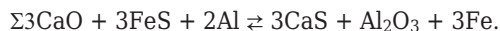


Рис. 3. Насыщение стали CaO в троичном исчислении в системе CaO–Al₂O₃–SiO₂



Из этих уравнений можно сделать вывод, что для эффективной десульфурации должны быть выполнены два предварительных условия:

1. Активность содержащегося в шлаке CaO должна быть настолько высокой, насколько это возможно, т. е. шлак сталеразливочного ковша должен быть насыщен CaO, как это показано на рис. 3.

2. Содержание оксида железа и активность кислорода в расплавленной стали должны быть настолько низкими, насколько это возможно, и, соответственно, содержание в ней алюминия должно быть максимально возможным.

Помимо этого в расплаве должно происходить турбулентное перемешивание стали и шлака, без чего невозможно нормальное развитие реакции. Для того чтобы добиться формирования в ходе выпуска расплава в сталеразливочный ковш турбулентных потоков, на начальном этапе ковшевой обработки в расплав необходимо добавить синтетический шлак и легирующие присадки, включая алюминий. При раннем добавлении алюминия его содержание в жидкой стали изначально окажется довольно высоким. Этим уже в самом начале ковшевой обработки будут созданы идеальные начальные условия для эффективной десульфурации расплавленной стали. Кроме того, даже при разливке стали в крупные заготовки уже на этапе выпуска расплава в сталеразливочный ковш будут обеспечены условия, гарантирующие быстрое и полное растворение легирующих присадок.

В ходе химической реакции между сталью и шлаком первоначальная часть оксида алюминия

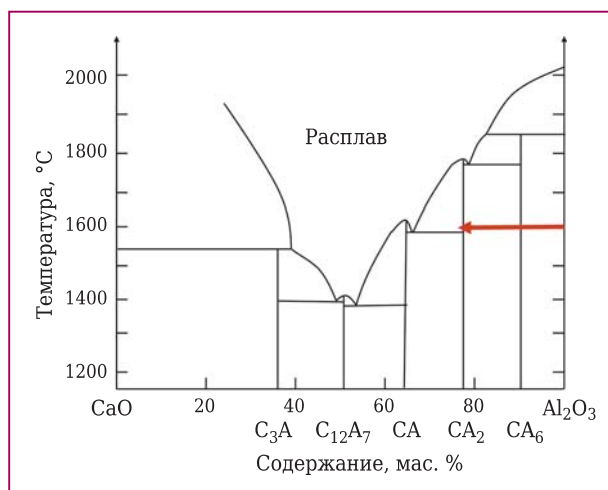


Рис. 4. Двухфазная диаграмма CaO–Al₂O₃

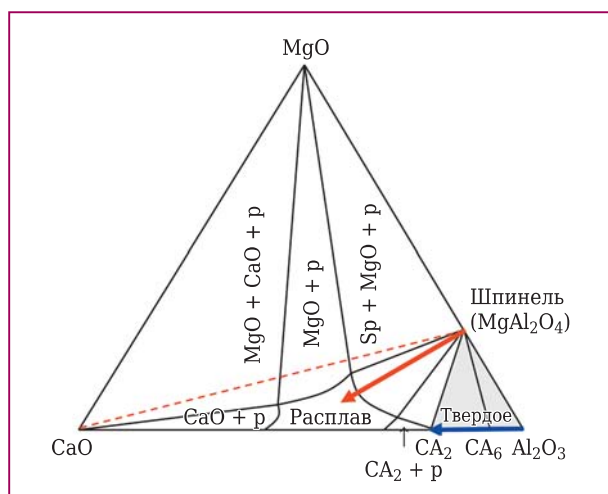
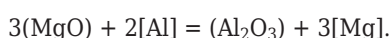


Рис. 5. Модификация оксидов в системе CaO–Al₂O₃–SiO₂: Sp — шпинель; p — расплав

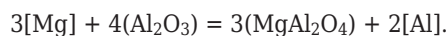
сформировалась в расплаве при его дезоксидации. Далее, в процессе десульфурации жидкой стали, в ней образовалось еще дополнительное количество оксида алюминия.

Ковшовая обработка десульфурованных марок стали проходит более интенсивно, чем низкоуглеродистых. За счет этого возрастает количество неметаллических включений, возникших на основе соединений алюминия, превратившихся в шпинель. Особенно значительное количество этих включений формируется при вакуумной очистке раскисленных алюминием сталей в соответствии со следующим уравнением:



Содержание в расплаве MgO из огнеупорной футеровки и (или) поверхностного шлака снижается во время добавления в него алюминия. При этом образуются оксид алюминия и металличе-

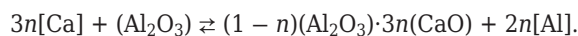
ский магний [5], который частично испаряется, а частично вступает в реакцию с оксидом алюминия, содержащимся в расплавленной стали. В результате образуется шпинель:



Таким образом, именно сорта стали с наиболее жесткими требованиями по чистоте, такие как, например, десульфурованная и прошедшая вакуумную дегазацию сталь для изготовления труб, предназначенных для транспортировки высокосернистого газа, оказываются в наибольшей степени загрязненными неметаллическими включениями, образовавшимися в результате разнообразных химических реакций.

Температура плавления включений, состоящих из соединений Al₂O₃ и (или) MgAl₂O₄, превышает 2000 °С. При прохождении этих твердых включений через погружаемый сталеразливочный стакан, образуются значительные тугоплавкие отложения. Как правило, указываемые в спецификациях данные по содержанию кремния в легированных и десульфурованных марках стали не имеют нижних ограничений. Это дает возможность применять для очистки стали силицид кальция.

При обработке стали кальцием содержащийся в ней твердый глинозем превращается в жидкий оксид алюминия [6]:



В соответствии с двухфазной диаграммой CaO–Al₂O₃ (рис. 4) глиноземистые включения начинают переходить в жидкую фазу тогда, когда содержание в них CaO, входящего в композицию CA₂ (2CaO·Al₂O₃), превышает 21 %.

Процессы формирования шпинельных включений могут быть графически отображены с помощью троичной диаграммы CaO – Al₂O₃ – MgO, изображенной на рис. 5 [4]. Пунктирная линия между MgAl₂O₄ и CaO показывает теоретическую тенденцию образования чистой шпинели под действием кальция при изменении его содержания в сторону насыщения расплава оксидом кальция. При обработке кальцием процесс образования в жидкой стали шпинели протекает в соответствии с тенденцией, отмеченной красной линией, берущей свое начало от MgAl₂O₄ и развивающейся по направлению к области жидкого состояния.

Бинарная область шпинели и жидкости достигается немедленно. В противодействие этому голубая стрелка, представляющая динамику процесса модификации Al₂O₃ в ходе обработки кальцием, остается в области твердого состояния до

тех пор, пока не будет достигнута композиция CA_2 , содержащая 21 % Al_2O_3 . Для предотвращения отложений не обязательно, чтобы все неметаллические включения полностью перешли из жидкой фазы в твердую. Как было сообщено, образования отложений удастся избежать, если доля включений, находящихся в жидком состоянии, превысит 50 %, поскольку композиции включений расположены либо в центре бинарной области CA_2 + расплав, либо в центре бинарной области шпинель + расплав. При этом предполагается, что модификация шпинели осуществляется легче, чем модификация оксида алюминия [4].

Трехкомпонентная система $Ca-Fe-Si$, изображенная на рис. 6, и соответствующее парциальное давление кальция способствуют лучшему пониманию процесса очистки стали силицидом кальция. В этой трехкомпонентной системе существует расширенная область несмешиваемости, которая начинается с двухкомпонентной системы $Ca-Fe$ [7]. После подачи в жидкую сталь силицида кальция, содержащего, например, 40 % кальция, он переходит в жидкое состояние. Жидкие капли растворяются в расплаве железа до тех пор, пока его химический состав не достигнет области несмешиваемости в точке *B*. Далее жидкие капли силицида кальция распадаются на фазы, богатые железом и кальцием. Как показано на верхней диаграмме рис. 6, при достижении точки *D* фаза, богатая кальцием, испаряется, так как содержание в ней кальция превышает 80 %. Для того чтобы подавить испарение кальция ферростатическим давлением, силицид кальция должен подаваться глубоко в жидкую сталь. Это можно осуществить с помощью инжекционной фурмы или установки для подачи в расплав проволоки. Композиция фазы, соответствующей точке *D*, представлена точкой *E*, находящейся недалеко от угла фазы, богатой железом (см. рис. 6, нижняя диаграмма). Таким образом, растворяющая способность железа или стали для кальция экстремально низка.

Испарение кальция вызывает турбулентный поток в ковше. По этой причине для гомогенизации стали не требуется дополнительного перемешивания расплава аргонном. После проведения обработки стали кальцием даже не рекомендуется проводить мягкое барботирование расплава. Пузырьки аргона захватывают частицы кальция, растворенные в жидкой стали. Таким образом, кальций удаляется из расплава внутри всплывающих пузырьков аргона. В самом деле, пузырьки аргона захватывают модифицированные включения и выводят их на поверхность расплава. Благо-

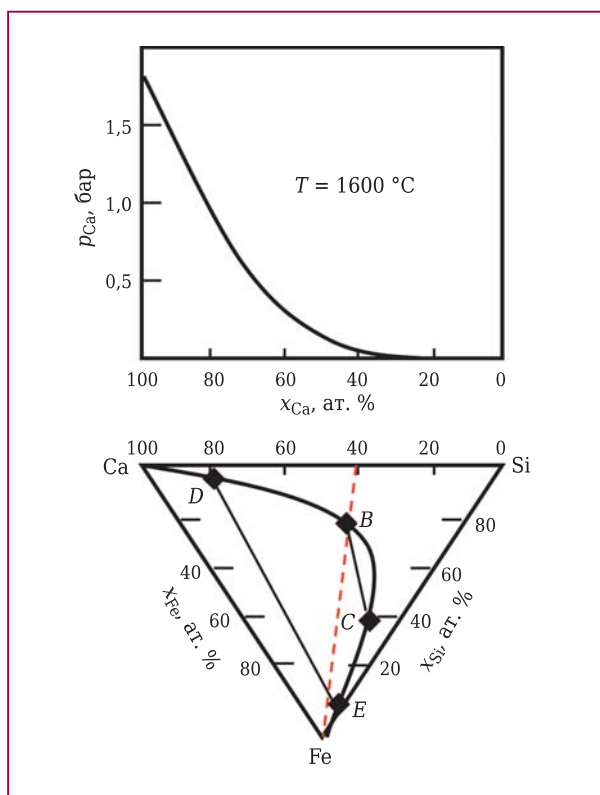


Рис. 6. Диссолюция, фазовое разделение и парообразование (вапоризация) кальция

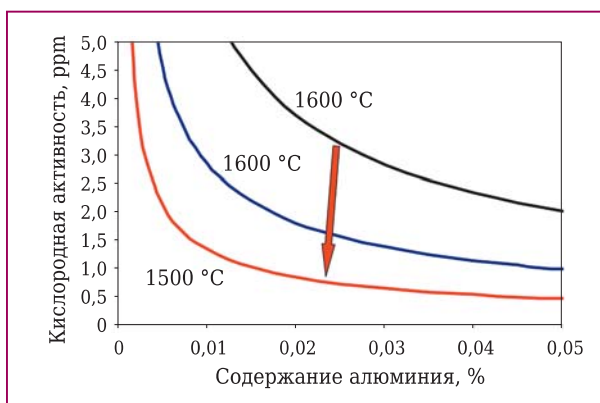


Рис. 7. Растворяемость алюминия и кислорода в жидкой стали при различной температуре, указанной на кривых

даря этому количество неметаллических включений к концу процесса ковшевой обработки стали оказывается низким. Однако несмотря на это могут образовываться отложения, в особенности если содержание кальция в расплаве невелико.

На пути от сталеразливочного ковша через промежуточный ковш к кристаллизатору жидкая сталь существенно остывает, ее температура приближается к точке разжижения. Как показано на рис. 7, общая растворяющая способность жидкой стали для алюминия и кислорода снижается с по-

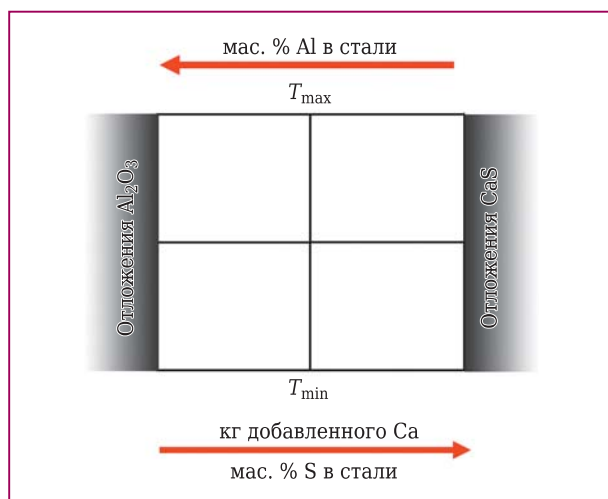


Рис. 8. Условия для возникновения отложений из Al_2O_3 и CaS

нижением температуры. Неметаллические включения, образовавшиеся в ходе вторичного раскисления, состоят из чистого оксида алюминия.

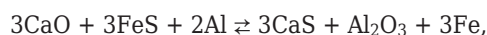
Дополнительные неметаллические включения, образовавшиеся под воздействием воздуха, проникающего через шиберный затвор и соединение между внутренним и погружаемым сталеразливочными стаканами, также состоят из оксида алюминия. Так как количество неметаллических включений, модифицированных в фазу растворенных в расплавленной стали жидких алюминатов кальция, а также содержание в расплаве кальция к концу процесса ковшевой обработки стали невелико, то не существует потенциальных возможностей для модификации включений из оксида алюминия, образующихся в результате вторичной деоксидации и реоксидации. Иными словами, и модифицированные включения, и небольшие количества металлического кальция в стали предотвращают образование отложений, вызываемых вторичным раскислением и повторным окислением стального расплава. Исходя из этого, стратегия очистки стали должна быть следующей: неметаллические включения должны быть в максимально возможной степени выведены на поверхность расплава и удалены оттуда до того, как будет производиться очистка стали кальцием при мягком барботировании. После завершения обработки стали кальцием производить дальнейшее мягкое барботирование не рекомендуется.

После завершения обработки стали кальцием в нее следует ввести необходимое количество титана. Это гарантирует, что сталь полностью раскислена и количество оксида титана, образовавшегося после его добавления, минимально. Иначе TiO_2 , осевший в жидкой стали, во время обработ-

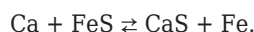
ки ее кальцием может преобразоваться в перовскит CaTiO_3 . Так как его точка плавления 1970°C , перовскит, смешиваясь в кристаллизаторе с порошковым шлаком, может привести к аварийной ситуации.

РЕСУЛЬФУРИРОВАННЫЕ СТАЛИ

Как правило, стали с регулируемым содержанием серы предварительно проходят раскисление алюминием в соответствии с реакцией



в ходе десульфурации образуется оксид алюминия. Для того чтобы держать количество включений оксида алюминия на низком уровне, не рекомендуется проводить десульфурацию. С другой стороны, следует подчеркнуть, что во время последующей модификации оксида кальция одновременно может происходить и десульфурация. Уравнение этой реакции выглядит следующим образом:



Изначально повышенное содержание серы наряду с подачей в расплавленную сталь увеличенного количества кальция стимулируют протекание реакции. Существует опасность возникновения наряду с отложениями оксида алюминия отложений CaS . Первые образуются, как правило, когда перед обработкой расплава кальцием производится его предварительная десульфурация. Вторые возникают, когда перед кальцинированием десульфурация не производится. Как показано на рис. 8, для того чтобы разливка стали происходила без образования отложений, важно не только поддерживать необходимые химический состав и температуру расплава, но и отыскать правильное «окошко» (режим) для формирования неметаллических включений. Второе особенно важно при разливах стали ресульфурированных сортов. В любом случае регулирование содержания в расплаве серы должно проводиться после его обработки кальцием. Тогда содержание алюминия в жидкой стали приближается к нижней границе, указанной в спецификации области допустимых значений, и для предотвращения образования отложений на основе алюминия в расплаве нужно добавлять небольшие количества кальция. При этих условиях формирование отложений CaS протекает в умеренном темпе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе раскисления стали алюминием в сталеразливочном ковше происходят процессы формиро-

вания отложений, образующихся на основе оксида алюминия. Эти неметаллические включения на последующих этапах ковшевой обработки могут преобразовываться в шпинель. Количество алюминия, которое необходимо добавить в жидкую сталь для ее раскисления, зависит прежде всего от количества растворенного в расплаве кислорода и от содержания оксида железа в печном шлаке, попадающем в сталеразливочный ковш в процессе выпуска плавки. Вплоть до завершения ковшевой обработки оксид железа представляет собой потенциальный источник опасности реоксидации очищенной стали, а значит, и источник опасности образования в ней дополнительных неметаллических включений.

Существуют разные технологии предотвращения формирования дополнительных неметаллических включений. Их выбор зависит прежде всего от марки разливаемой стали. Для получения качественного продукта необходимо обеспечить вывод неизбежно образующихся в расплаве неметаллических включений на его поверхность, откуда они будут удалены вместе с поверхностным шлаком. При этом снижается степень опасности формирования зарастания погружаемого сталеразливочного стакана. Остаточные неметаллические включения должны быть преобразованы и удалены в процессе обработки жидкой стали кальцием. Это позволит обеспечить непрерывность процесса разлива стали в заготовки.

В ходе перемещения в промежуточном ковше к кристаллизатору сталь естественным образом остывает. При этом в уже очищенном расплаве активизируются процессы образования дополнительных неметаллических включений, возникающих в результате вторичной дезоксидации жидкой стали. Растворенный в ней в небольших количествах кальций, а также находящиеся в жидком состоянии неметаллические образования способствуют предотвращению зарастания погружаемого сталеразливочного стакана отложениями оксида алюминия. Поэтому количество неметаллических включений в стали должно удерживаться на минимальном уровне. Для этого до начала очистки расплава кальцием должно быть произведе-

но его мягкое (медленное) барботирование, в ходе которого осуществляется вывод неметаллических веществ на поверхность жидкой стали.

Кроме того, чтобы избежать дальнейшего образования вредных неметаллических включений, после обработки расплава кальцием в него необходимо ввести определенные легирующие присадки, такие, например, как титан.

Библиографический список

1. **Bannenberg, N.** Secondary metallurgy for clean steel production by tank degassing / N. Bannenberg, H. Lachmund, B. Prothmann // Proceedings 77th Steelmaking Conference, 1994, Chicago / Illinois. — P. 135–143.
2. **Jahnke, D.** Improvement of castability and quality of continuously cast steel / D. Jahnke, M. A. Zhongting, P. Valentin, A. Heinen // ISIJ International. — 2000. — Vol. 40, № 1. — P. 31–39.
3. **Knüppel, H.** Desoxidation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen / H. Knüppel. — Düsseldorf: Verlag Stahleisen.
4. **Bergmann, B.** Schlackenführung und Schlackenoptimierung in der Sekundärmetallurgie / B. Bergmann, N. Bannenberg // Stahl und Eisen. — 1991. — № 111. — P. 125–132.
5. **Pretorius, E.** The effective modification of spinel inclusions by Ca treatment in LCAK steel / E. Pretorius, H. Oltmann, T. Cash // Iron and Steel Technology. — July 2010. — P. 31–44.
6. **Bannenberg, N.** Einstellen tiefer bzw. definierter Gehalte an Schwefel, Calcium, Sauerstoff Stickstoff Wasserstoff und Phosphor sowie deren Eigenschaften auf die Stahleigenschaften / N. Bannenberg, H. Lachmund, V. Schwinn, A. Streisselberger // Vortrag auf dem XLVII. Berg- und Hüttenmännischem Tag am 26.06.1996 in Freiberg Veröffentlichung im Tagungsband, Kolloquium 7, Hochleistungswerkstoffe. — S. 11–25.
7. **Schürmann, E.** Lösungs-, Entmischungs- und Verdampfungsverhalten von Calcium sowie von calciumreichen, silizium- und aluminiumhaltigen Legierungen bei der Behandlung von Eisenschmelzen / E. Schürmann, H. Litterscheidt, P. Fünders // Arch. Eisenhüttenwesen. — 1975. — Bd 46, № 10. — S. 619–622. ■

Получено 20.03.13
© Г.-Д. Экхардт, 2013 г.

Дипл.-инж. Э. Х. Хильгенхёнер, д. ест. н. Э. А. Т. Вош

S&B Industrial Minerals GmbH, Оберхаузен, Германия

УДК 621.746.047

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MouldScreen® В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПЕРВЫЕ ИСПЫТАНИЯ НОВОЙ СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СОСТОЯНИЯ ШЛАКОВОЙ ПЛЕНКИ НА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ*

Приведены результаты исследований зависимости между свойствами различных марок стали и конструктивными характеристиками машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), с одной стороны, и физико-химическими свойствами подаваемых в кристаллизатор шлакообразующих смесей, а также образующихся в результате их применения шлаковых пленок, обволакивающих оболочку заготовки, с другой стороны. На основе обширных научных исследований было разработано программное обеспечение, которое позволяет визуализировать толщину и состояние шлаковой пленки, покрывающей всю внутреннюю полость кристаллизатора МНЛЗ. Одновременно производится индикация реальных параметров процесса непрерывной разливки в целом. В программу заложены данные о свойствах применяемых шлакообразующих смесей, благодаря чему MouldScreen® вычисляет и визуализирует состояния твердой и жидкой фракций находящихся в кристаллизаторе шлаков, а также толщину и температуру затвердевающей оболочки слитка. Данные отображаются на экране монитора. Лежащая в основе программы физико-математическая модель выдает всю необходимую информацию о процессах, происходящих в кристаллизаторе. Показания, выдаваемые термопарой МНЛЗ, принимаются во внимание при проведении модельных расчетов. Кроме того, в программу MouldScreen® включена так называемая «преобразующая» утилита Modify tool, которая облегчает подробный анализ влияния различных ключевых рабочих параметров на поведение шлаковой пленки и, соответственно, на условия смазываемости заготовки, а также на теплоотвод от слитка через стенки кристаллизатора. Эта функция позволяет моделировать влияние любого изменения в ключевых параметрах работы МНЛЗ на весь ход разливки. Первое испытание системы проведено на слябовой МНЛЗ в Германии.

Ключевые слова: непрерывная разливка стали, смазываемость кристаллизатора, визуализация шлаковой пленки.

ВВЕДЕНИЕ

Поведение шлаковой пленки между затвердевающей оболочкой сляба и внутренними стенками кристаллизатора крайне важно для повышения качества производимых заготовок, эксплуатационной безопасности и производительности труда на МНЛЗ.

С помощью современного инструментария, называемого компьютерной алгеброй [1–7], ранее едва ли поддающиеся учету математические подходы к моделированию процессов непрерывной разливки теперь мо-

гут быть воплощены в прикладные компьютерные программы. На основании обширных научных исследований, проведенных в рамках сотрудничества между Департаментом черной металлургии, Рейнско-Вестфальской высшей технической школой (RWTH) г. Аахена и компанией «S&B Industrial Minerals GmbH» разработан пакет программ, основанных на алгоритмах компьютерной алгебры, для визуализирования толщины шлаковой пленки и условий между поверхностным слоем заготовки и медной плитой кристаллизатора. Программа, названная MouldScreen®, описывает различия между жидким, спеченным и пористым шлаком в кристаллизаторе. Это в дополнение

к толщине шлаковой пленки визуализирует всю существенную информацию, такую как толщина оболочки затвердевающей заготовки, локальный тепловой поток или температура медной охлаждающей плиты. Все данные рассчитываются в зависимости от расположения в кристаллизаторе. При этом необходимые для модельных расчетов данные могут вводиться самыми разными способами. Возможен ручной ввод с клавиатуры, считывание данных со сравнительных таблиц технических характеристик формата Excel, экспорт данных ibaAnalyzer (с помощью математического обеспечения анализа данных компании iba AG, Германия) или интерактивная передача информа-

* Технический доклад на 43-м Международном семинаре сталелитейщиков, 20–23 мая 2012 г, Белу-Оризонти — МГ, Бразилия.

ции в режиме реального времени. Особым преимуществом программы MouldScreen® является легкость ее применения для параметрического анализа и инверсного моделирования. При этом анализируются и моделируются такие параметры, как толщина оболочки затвердевающей заготовки, интегральный и локальный тепловые потоки в мениске, термическое сопротивление летки в зоне мениска. Параметры представлены в виде функций от скорости разливки. Также система обнаруживает и визуализирует процессы формирования разнообразных неблагоприятных условий в кристаллизаторе, которые приводят к растрескиванию слябов, прорывам оболочки слитка, различным дефектам поверхности заготовок и неисправностям МНЛЗ. Помимо этого система MouldScreen® осуществляет сбор и обработку статистических данных о благоприятных (безопасных) и неблагоприятных (опасных) условиях разливки, что позволяет повысить качество управления МНЛЗ с учетом такого важного фактора, как свойства шлаковой пленки, обволакивающей заготовку. Одновременно в режиме реального времени проводится идентификация критических эксплуатационных режимов в кристаллизаторе, позволяющая принимать быстрые и целенаправленные контрмеры для повышения безопасности разливки и улучшения качества выпускаемой продукции.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

До настоящего времени толщину обволакивающей шлаковой пленки между корочкой заготовки и стенками кристаллизатора можно было прогнозировать только на рудиментарном уровне, принимая в расчет реальные параметры разливки на МНЛЗ.

Для того чтобы правильно отобразить совокупность процессов, происходящих в кристаллизаторе МНЛЗ, необходимы модельные расчеты, описывающие формирование и состояние шлаковой пленки, состав пока еще неизмеримой жидкой составляющей шлака и повторно затвердевших слоев шлакообразующих смесей.

Особое внимание должно быть обращено на теплопередачу пленки шлака, находящегося в кристаллизаторе. Вообще, такие модели основаны на уравнениях физического состояния. Для методов численного или статистического анализа характерны такие недостатки, как сложность формализации данных и программирования, слишком продолжительное для практического использования время проведения вычислений, большие погрешности получаемых результатов. Поэтому для непрерывной разливки стали математические методы аналитических решений фундаментальных уравнений физического состояния и последующих аналитических моделей применяются на практике довольно редко. Математические описания физических свойств тепловых явлений в кристаллизаторах МНЛЗ, описанные в этой работе, представляют собой причинно-следственную связь между дифференциальными и интегральными формулами энергетической теоремы, использующей реальные параметры работы машин непрерывного литья заготовок. Детальную информацию о формулах, приведенных на рис. 1, можно получить из специальной литературы [1, 2].

В отличие от других методов, при расчетах по алгоритму MouldScreen® на выходе получают данные о термическом сопротивлении (теплопроводности). Для определения толщины шлаковой пленки и ее термиче-

ского сопротивления, которое в последующих расчетах будет обозначаться GP , нужен множитель, определяющий удельную теплопроводность шлака. Эти данные можно получить из Атласа шлаков [8].

На рис. 2 представлены данные о величинах GP в области мениска GP_0 в зависимости от скорости разливки. Начиная с установок с невысокой скоростью и далее через установки для непрерывной разливки круглых трубных заготовок вплоть до скоростных установок непрерывной разливки тонких слябов термическое сопротивление в зоне мениска уменьшается примерно на порядок, а следовательно, примерно в такой же пропорции уменьшается толщина шлаковой пленки. Так как удельная теплопроводность шлаковой пленки является константой, то можно сделать вывод, что с увеличением скорости разливки толщина смазывающей шлаковой пленки резко сокращается. Происходит это не только в области мениска, но и в более низкой области кристаллизатора. Это подтверждается и практическими измерениями: при увеличении скорости разливки расход шлакообразующей смеси в кристаллизаторе снижается, а это значит, что толщина обволакивающей заготовку шлаковой пленки уменьшается.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ MouldScreen®

При применении программного пакета MouldScreen® затраты усилий и времени при программировании работы МНЛЗ значительно уменьшаются. Также снижаются требования к памяти компьютера и времени проведения вычислений. Другое преимущество программы — возможность инверсного (обратного) моделирования и изучения параметров во время ин-

Дифференциальный энергетический баланс

$$\rho_s c_{p,s} \left\{ v_g \left(\frac{\partial}{\partial x} T(x, y, z, t) + \frac{\partial}{\partial t} T(x, y, z, t) \right) \right\} = \lambda_{Fe} \left\{ \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} T(x, y, z, t) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} T(x, y, z, t) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} T(x, y, z, t) \right) \right\}$$

Операционные параметры кристаллизатора (входные данные)

- Скорость разливки
- Специфические свойства стали
- Свойства литейного шлака
- Параметры охлаждения кристаллизатора
- Конструкция (форма) кристаллизатора
- Параметры поступательно-возвратного «качания» кристаллизатора и т. д.

Интегральный энергетический баланс кристаллизатора

$$E = \iint q(x, y, z, t) dA dt$$

Локальная плотность теплового потока:

$$q(x, y, z, t)$$

Термические характеристики кристаллизатора МНЛЗ

Рис. 1. Базовые принципы и компоненты модели

терактивной работы, т. е. во время сбора информации, расчетов и визуализации происходящих в кристаллизаторе процессов.

Центральная идея при разработке алгоритма MouldScreen® состояла в том, чтобы обеспечить постоянную визуализацию процессов образования и состояния шлаковой пленки между оболочкой твердеющего ручья и стенками кристаллизатора, влияющих на эффективность непрерывной разливки и качество выпускаемой продукции. Визуализация должна осуществляться в рамках общего мони-

торинга текущих условий разливки стали. Решение таких задач требовало разработки программы, учитывающей конструкционные особенности кристаллизатора, параметры его работы, а также химический состав разливаемой стали и свойства используемой шлакообразующей смеси.

Ввод данных может быть облегчен с помощью таблиц форматов Excel, ibaAnalyzer или передачи вводимых значений в режиме реального времени. На рис. 3 и 4 представлены примеры различных экранов ввода

данных. После завершения сбора данных программа вычисляет весь набор релевантных переменных, таких как:

- толщина поверхностного слоя (оболочки) заготовки,
- локальная и интегральная плотность теплового потока,
- температура воды в охлаждающихся каналах/щелях,
- температура медной охлаждающей плиты на горячих и холодных сторонах,
- поле распределения температур внутри оболочки заготовки,
- термическое сопротивление (теплопроводность), состояние (жидкое, кашеобразное, твердое) и толщина пленки шлака между заготовкой и стенками кристаллизатора.

Непосредственно после задания марки разливаемой стали и выбора используемой шлакообразующей смеси результаты калькуляции отображаются на мониторе в виде разнообразных окон. Для слябовых и тонкослябовых кристаллизаторов результаты расчетов выводятся на экран в виде отдельных кривых для каждой медной стенки.

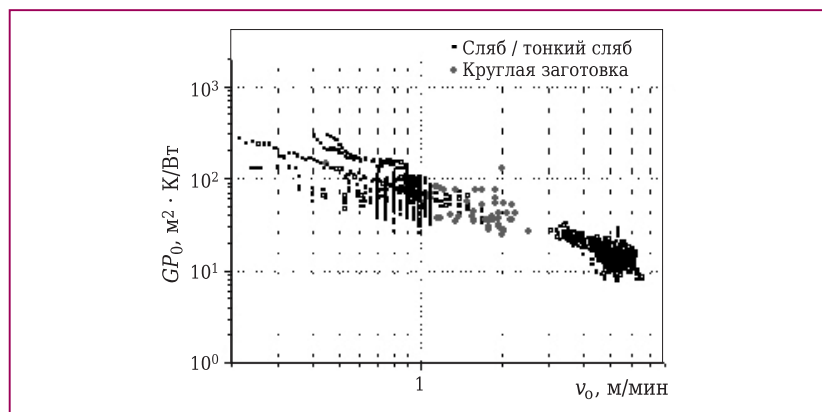


Рис. 2. Зависимость термического сопротивления GP_0 шлаковой пленки в зоне мениска от скорости разливки v_0 ; расчеты выполнены в программе MouldScreen®

Пример прогрессии толщины оболочки, локального теплового потока и температуры поверхности сляба как функции от расстояния до мениска показан на рис. 5. Соответствующие кривые показаны в левой части изображения. Они рассчитаны для средних значений ширины сляба. Чтобы получить данные для различных положений кристаллизатора, можно в желаемых местах экрана открыть соответствующие всплывающие окна. Например, на рис. 5 приведены результаты расчетов для положения на 200 мм ниже мениска. Таким образом, можно легко произвести сравнение толщины оболочки, локальной плотности теплового потока и температуры поверхности слябов. В правой части рис. 5 представлены данные сравнения интегральных плотностей тепловых потоков четырех плит кристаллизатора.

Другое окно содержит информацию о температуре наружного слоя медной охлаждающей плиты и толщине шлаковой пленки. В левой части рис. 6 показано среднее значение температуры медной плиты вместе с усредненными данными измерений термопары (при ее наличии). Температуры горячей стороны показаны красным цветом, холодной — синим, а средневзвешенные температуры показаны как зеленые круги. Рассчитанные программой прогнозы для термопар показаны пунктирной линией. Таким образом, уже известные окна данных позволяют производить сравнение температур медной плиты для широких и узких сторон на протяжении всей активной длины кристаллизатора.

Температуры поверхности слэба и соприкасающейся (горячей) стороны медной плиты, определяют температурные условия окружающей среды для разливочного шлака. Тем са-

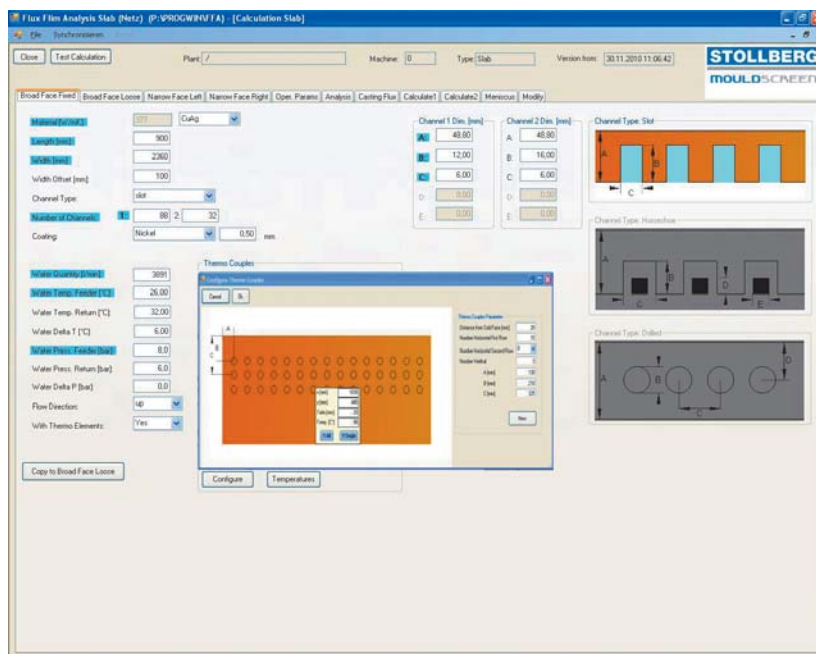


Рис. 3. Экран ввода данных: геометрии кристаллизатора, охлаждающей воды, термопары

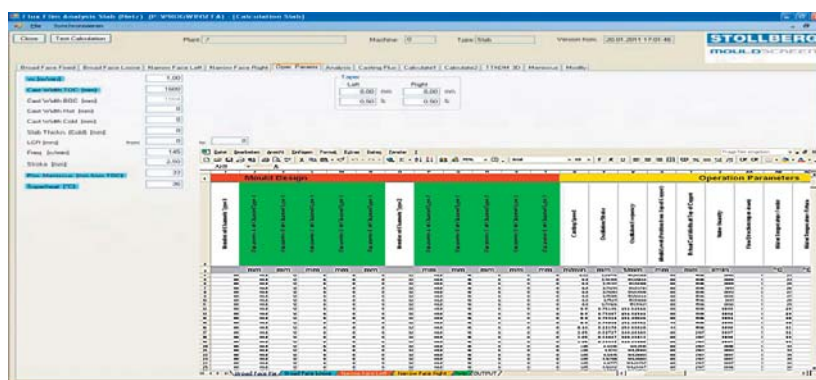


Рис. 4. Экран ввода данных: скорости разливки, ширины заготовки, регулятора уровня металла в кристаллизаторе, конусности, колебаний, наибольшей температуры; отредактировано в формате таблицы Excel

мым могут быть определены характеристические температуры шлака и температуры твердой и жидкой фракций шлаковой пленки.

В правой части рис. 6 показаны кривые: серая — общая толщина шлаковой пленки, синяя — толщина затвердевающего слоя сляба, красная — толщина кашеобразного слоя и желтая — жидкого шлака. Влияние различных предположений об удельной теплопроводности шлака выражено жирной пунктирной линией (не изображена на рис. 6). Диаграмма показывает,

что жидкая шлаковая пленка, обеспечивающая смазываемость, не всегда достигает конца кристаллизатора.

Расчеты толщины слоев жидкой и твердой фракций шлаковой пленки для различных типов слябовых и тонкослябовых МНЛЗ были опубликованы ранее [3–7]. Как и ожидалось, были выявлены существенные различия в поведении шлака при разных скоростях разливки. Для проведения дальнейших исследований влияния различных режимов работы и конструктивных особенностей кристалли-



Рис. 5. Экран вывода данных: толщины поверхностного слоя заготовки, температуры поверхности слэба, локальной и интегральной плотности теплового потока через активную длину кристаллизатора



Рис. 6. Экран вывода данных: температуры медной холодильной плиты, показаний термопары, толщины шлаковой пленки, состояния шлака

затворов МНЛЗ на толщину и состояние шлаковых пленок в рамках рассматриваемого программного обеспечения была разработана утилита Modify tool (Изменить). Это — настоящая инновация в оценке рабочих характеристик порошковых шлакообразующих смесей, применяемых при непрерывной разливке стали. Она позволяет быстро проанализировать различные операционные сценарии

для данной МНЛЗ и одним кликом клавиши компьютерной мыши вывести результаты анализов на экран монитора. Главный экран утилиты показан на рис. 7. Это окно подразделено на различные подокна, предназначенные для визуализации расчетных данных и графики.

На левой стороне экрана выводится обобщающая информация о ходе текущего процесса непрерывной разливки. Гисто-

граммы показывают температурные условия в области мениска. На правой стороне экрана визуализируются данные о различных фазах состояния шлаковой пленки (твердое, кашеобразное, жидкое) на двух широких и узких сторонах кристаллизатора. С помощью утилиты Modify tool можно выводить на экран как реальные параметры текущей разливки, так и расчетные, смоделированные программой для измененных параметров рабочего процесса. С помощью клавиши с зависимой фиксацией можно осуществлять быстрое переключение различных экранов вывода данных вперед и назад. Таким образом, можно делать прямые оценки изменений выходных характеристик процесса разливки стали в зависимости от изменений ее входных условий (рабочих параметров). На поставленные вопросы типа: «Что произойдет, если, например, изменить скорость разливки, давление подачи охлаждающей воды или температурный режим?» программа MouldScreen® будет быстро отвечать в интерактивном режиме.

При этом, конечно, возможны комбинации изменений в рабочих параметрах. Становятся очевидными преимущества аналитического моделирования и математической формализации разнообразных физических зависимостей. Для офлайн-режима работы также предусмотрены варианты возможных изменений материала и толщины медной плиты, а также состава и толщины обволакивающего шлака.

На рис. 8 в качестве примера показано влияние скорости разливки на жидкую и твердую фракции шлаковой пленки. Обзор включает только скриншоты широких сторон кристаллизатора. Скорость разливки может быть изменена с помощью

перемещаемого маркера, результаты этого изменения немедленно появятся на экране. Поведение этих четырех плит кристаллизатора визуализируется отдельно. Пример на рис. 8 показывает толщину шлаковых пленок при четырех различных скоростях разлива (0,6, 1,0, 2,0 и 3,0 м/мин) и дает возможность наглядно сравнить их друг с другом. Снимки сделаны при исходной скорости разлива $v_c = 1,15$ м/мин, изменения в скоростной режим вносились с использованием контроллера Modify- v_c . Как видно на четырех представленных на рис. 8 изображениях, соотношение жидкого, кашеобразного и твердого состояний шлаковой пленки на протяжении активной длины кристаллизатора изменяется. При более высоких скоростях разлива жидкая фракция проникает все глубже в активную зону кристаллизатора. Одновременно шлаковая пленка становится тоньше. В приведенном примере расчетные значения толщины пленки в мениске для фиксированной широкой стороны кристаллизатора уменьшаются с возрастанием скорости разлива:

Толщина пленки в мениске, мм 1,86 0,93 0,47 0,31
Скорость разлива, м/мин . 0,6 1,0 2,0 3,0

Последнее значение близко к области рабочих скоростей установок, предназначенных для разлива стали в тонкие слябы.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОПЫТНОЙ ИНСТАЛЛЯЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА СЛЯБОВОЙ МНЛЗ

В декабре 2011 г. программное обеспечение MouldScreen® было установлено на слябовой МНЛЗ в Германии, для того чтобы сравнить результаты расчетов и визуализации системы



Рис. 7. MouldScreen® Modify tool выводит на экран вариации изменений эксплуатационных параметров МНЛЗ и их воздействие на температуру медной холодильной плиты, а также на фазы состояния шлаковой пленки (твердое, кашеобразное или жидкое)

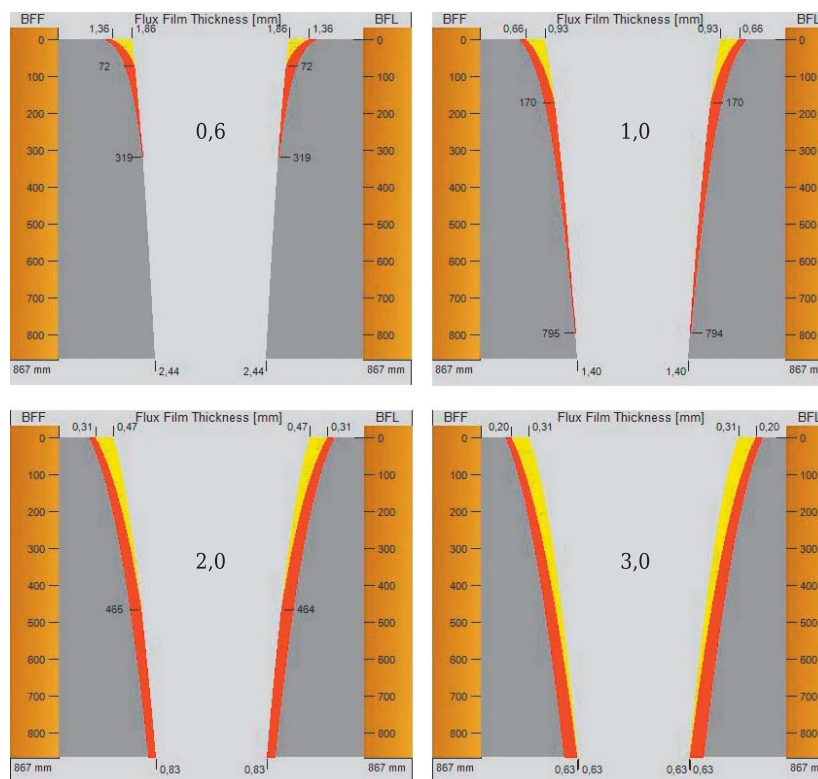


Рис. 8. MouldScreen® Modify tool: вариация скоростей разлива (0,6, 1,0, 2,0, 3,0 м/мин) и результативные изменения состояния шлаковой пленки

MouldScreen® со стандартной системой регистрации данных. Это особенно интересно при сравнении данных, зарегистри-

рованных во время неустойчивых условий разлива, например в ситуациях, когда срабатывает аварийная система преду-

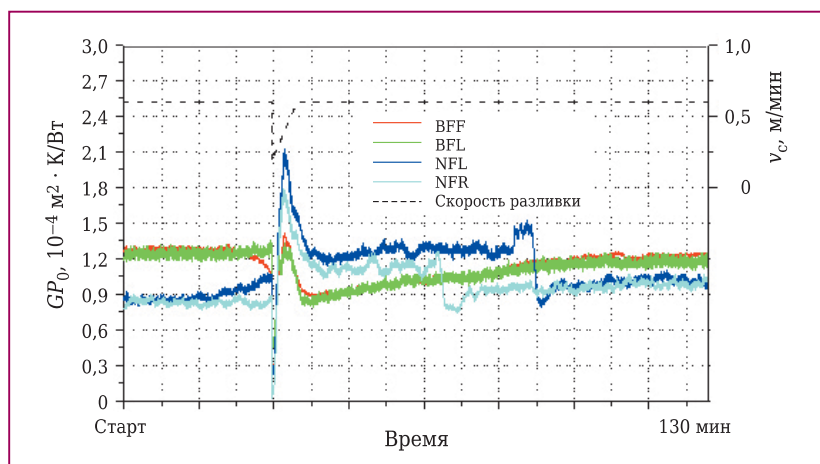


Рис. 9. Расчетные значения термического сопротивления (теплопроводности) шлаковой пленки на мениске и скорость разливки до, во время и после подвисяния заготовки

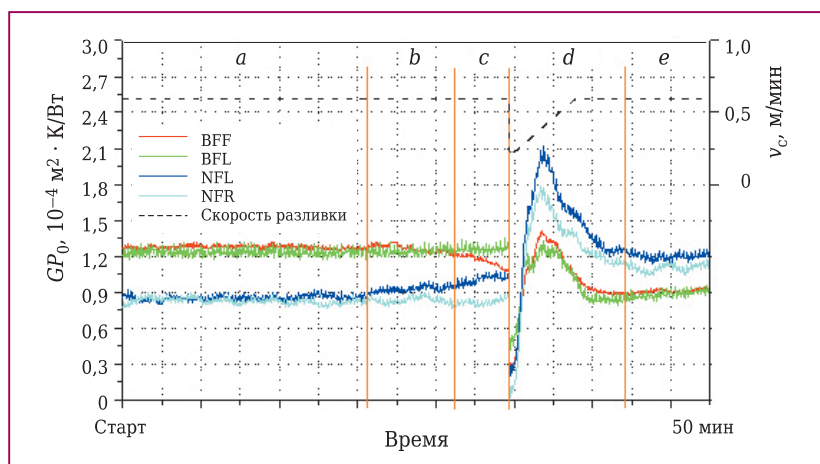


Рис. 10. Расчетные значения термического сопротивления шлаковой пленки на мениске и скорость разливки во время застревания заготовки: а–е — характеристические сегменты времени до и после аварийного сообщения о подвисянии заготовки

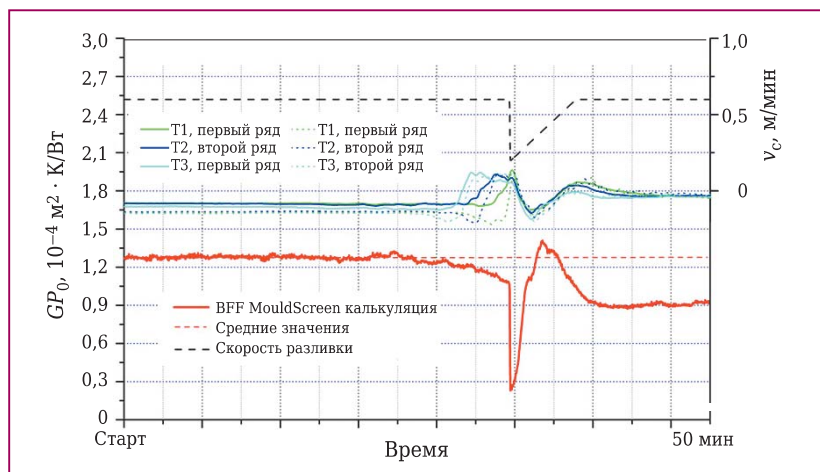


Рис. 11. Термическое сопротивление шлаковой пленки на мениске для BFF и соответствующие показания термопар Т1–Т3 во время аварийного сообщения о подвисянии заготовки

преждения о подвисянии заготовки. На следующем этапе аварийная ситуация, зафиксированная стандартной системой обнаружения подвисяния заготовки, визуализировалась и оценивалась системой MouldScreen®.

На рис. 9 представлены расчетные значения термического сопротивления шлаковой пленки на мениске (GP_0). Показаны данные за период разливки продолжительностью ~130 мин. Графики представляют значения, рассчитанные по алгоритму программы MouldScreen® для широких (broad) и узких (narrow) сторон кристаллизатора. В начале (на старте) разливки значения GP_0 для широких сторон составляли $0,0012 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, для узких — $0,0009 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Это означает, что шлаковая пленка на широких сторонах была толще, чем на узких. При этом предполагается, что величина теплопроводности шлаковой пленки во всей зоне мениска постоянна. Во время разливки произошло подвисяние заготовки, которое было зафиксировано автоматической системой мониторинга хода производственного процесса и компенсировано понижением скорости разливки. Во время этого события и даже незадолго до него было отмечено значительное нарушение толщины шлаковой пленки. На графике видно, как после начальных высоких амплитуд колебания значений GP_0 постепенно успокаиваются и значения опять выравниваются. Следует отметить, что после устранения помехи толщина шлаковых пленок на узких сторонах кристаллизатора увеличилась по отношению к толщине на широких. К концу наблюдаемого интервала времени значения GP_0 медленно возвращаются к исходным уровням. При этом после устранения подвисяния заготовки значения GP_0 на широких сторонах кристаллиза-

тора растут плавно, а на узких — достигают исходного уровня двумя заметными скачками. Различные фазы разливки (до и после подвисяния) детально представлены на рис. 10.

Фаза *a*. Нормальные условия разливки. На обеих широких сторонах кристаллизатора постоянная толщина шлаковой пленки, это также относится и к узким сторонам. Однако толщина шлаковой пленки на узких сторонах меньше, чем на широких.

Фаза *b*. Значения GP_0 на широкой фиксированной стороне кристаллизатора (BFF) и на узкой левой (NFL) неустойчивы, они двигаются навстречу друг другу. В конце фазы *b* значения GP_0 на NFL уже существенно отличаются от значений на NFR (узкой правой стороне).

Фаза *c*. Значения GP_0 на BFF уменьшаются до такой степени, что к моменту подвисяния заготовки уравниваются со значениями на NFL. Можно предположить, что причина подвисяния находится в области между NFL и BFF.

Фаза *d*. В начале этой фазы автоматическая система мониторинга разливки выдала сигнал тревоги по поводу подвисяния заготовки. Скорость разливки была снижена. После устранения помехи машина медленно повышала скорость разливки до ее изначального значения. На графике видно, что значения GP_0 на всех четырех медных холодильных плитах кристаллизатора подвергаются массивным помехам; они начались с внезапного резкого понижения с последующим скачком вверх. При этом на обеих узких плитах данные значения даже превысили уровень значений GP_0 на широких плитах (произошла инверсия значений GP_0).

Фаза *e*. После возвращения скорости разливки к прежнему

уровню (который был до возникновения неполадки) процесс разливки вновь стабилизировался, однако инверсия значений GP_0 сохранилась. Как можно увидеть на рис. 9, значения GP_0 возвращаются к их первоначальному уровню значительно позже.

На рис. 11 представлен тот же самый период, что и на рис. 10, но на нем изображен график значений GP_0 только для BFF. Результаты измерений, выдаваемые термopарами, которые вызвали тревогу, показаны в середине диаграммы (без масштабной линейки, чтобы облегчить восприятие графика). Есть два ряда термopар (первый и второй), показания которых позволяют определить возникновение подвисяния заготовки. Можно заметить, что изображенная на графике кривая значений GP_0 значительно отклоняется от среднего значения еще до того, как была объявлена аварийная ситуация, вызванная подвисянием. Среднее значение GP_0 BFF обозначено красной пунктирной линией. Этот уровень рассчитан на основании данных, характерных для нормально и без каких-либо помех работающей МНЛЗ.

После объявления тревоги процесс разливки некоторое время происходил при инвертированных значениях GP_0 на широких и узких холодильных плитах. Затем значения вернулись к нормальным уровням сначала на NFR, а затем на NFL. Тем временем значения GP_0 на BFF и BFL медленно, но устойчиво возвращались к нормальному уровню (см. также рис. 9, справа).

На рис. 12 изображена последовательность скриншотов, подготовленных с помощью утилиты Modify tool программы MouldScreen[®], для фаз от *a* до *e*, а также скриншот в момент завершения описанной выше пробной разливки, который на-

ступил приблизительно через 130 мин после ее начала (см. рис. 9). В отличие от рис. 9–11 на рис. 12 приведены непосредственно данные о толщине шлаковой пленки на всех четырех медных плитах (BFF, BFL, NFL, NFR). Чтобы рассчитать толщину шлаковой пленки на разных участках, необходимо знать ее удельную теплопроводность. В верхней части кристаллизатора общая толщина пленки складывается из шлака, находящегося в жидкой фазе (изображена желтым цветом) и фазе кашеобразного состояния (изображена зеленым цветом). Для простоты восприятия различные толщины и глубины слоев даны в миллиметрах. Локализация соответствующих изотерм приведена для конкретного химического состава используемой шлакообразующей смеси, показаны также уровень расположения кристаллизатора и его активная длина.

Изображение для фазы *a* показывает, что на широких плитах шлаковая пленка более толстая, чем на узких, и что на широких сторонах шлак в жидком и кашеобразном состояниях глубже проникает в активную зону кристаллизатора, чем на узких.

Во время фазы *b* все шлаковые пленки становятся более толстыми и увеличивается глубина проникновения жидких и кашеобразных фракций вглубь кристаллизатора. Это позволяет предполагать, что именно изменения в шлаковой пленке во время этой фазы вызвали аварийную ситуацию (подвисяние).

Непосредственно перед сигналом об аварийной ситуации (подвисянии) толщина шлаковой пленки и глубина ее проникновения в зонах плит BFF, BFL и NFR уменьшились. При этом в зоне NFL формируется почти такая же шлаковая пленка, как и на BFF (см. рис. 12, c). Дан-

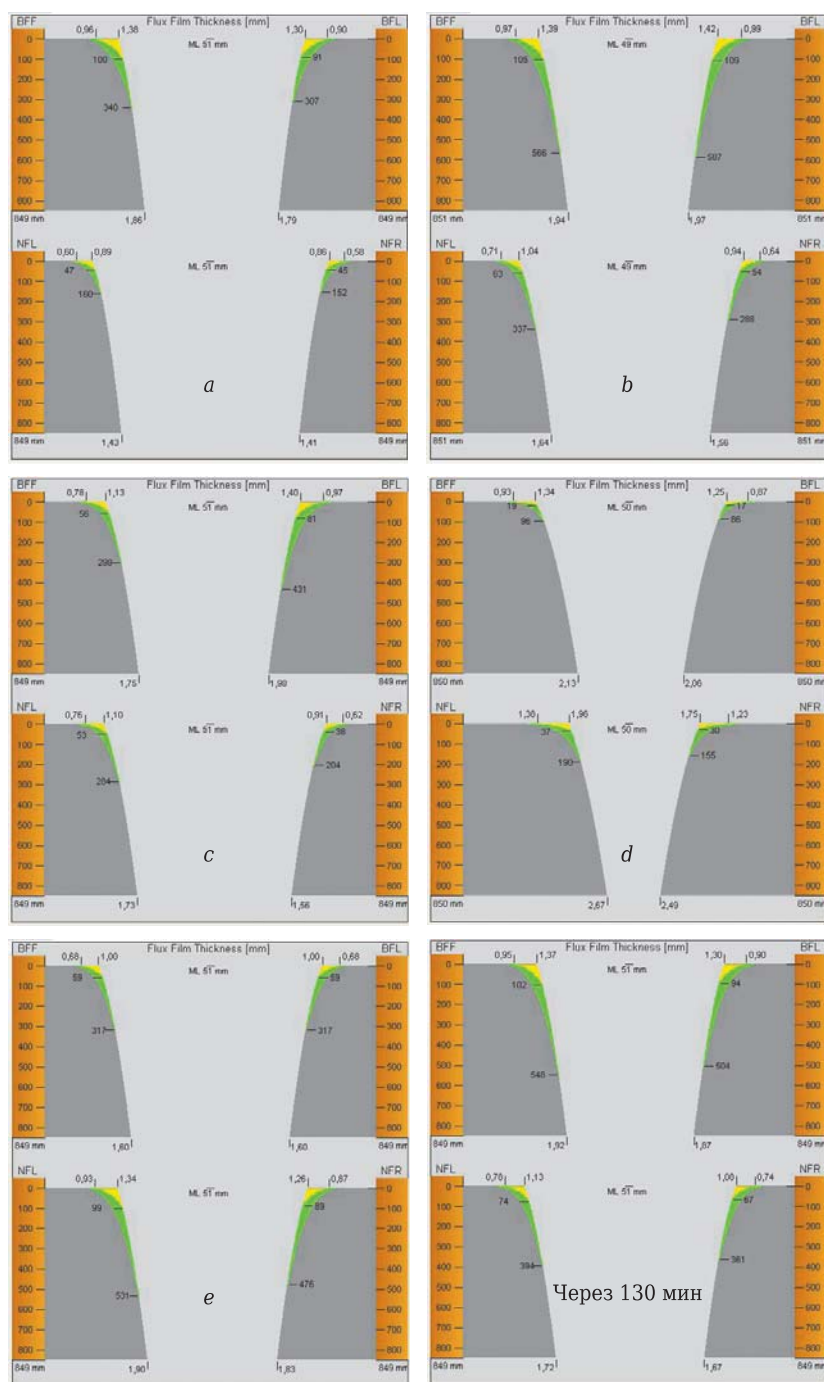


Рис. 12. Применение программного обеспечения MouldScreen® к фазам *a–e* и окончание периода мониторинга (продолжительность разливки 130 мин)

ные, снимаемые с термопар (на рисунках не указаны) показывают, что аварийная ситуация была вызвана повышением температур в крайней области между плитами BFF и NFL. Динамика кривых GP_0 в зонах BFF и NFL непосредственно перед аварийной ситуацией (см. рис. 10) сви-

детельствует о том, что обе кривые в этой фазе разливки сближаются и практически уравниваются.

На рис. 12 показано состояние шлаковой пленки в фазе *d*, когда вскоре после аварийной ситуации скорость разливки медленно возобновляется. Плен-

ки на всех медных плитах, за исключением BFL, стали значительно более толстыми, чем во время фазы *c*. На узких плитах их толщина на выходе из кристаллизатора составляет ~2,5 мм. Глубины проникновения в кристаллизатор жидких и кашеобразных шлаков во время фаз *c* и *d* уже инвертированы. Это означает, что теперь глубина проникновения вышеуказанных фракций у узких плит больше, чем у широких.

Во время фазы *e* происходит выравнивание и стабилизация параметров разливки. Как было видно на рис. 10, значения GP_0 на узких плитах выше, чем на широких (инверсия GP_0). Толщины слоев и глубины их проникновения во время этой фазы такие же, как в фазе *b*, но их значения для широких и узких плит инвертированы.

Как было показано на рис. 9, в течение данной разливки состояние шлаковой пленки до завершения фазы *e* так и не достигло своих нормальных значений. Как уже упоминалось, это произойдет как на широких, так и на узких плитах только после значительного временного шага. При этом на широких сторонах кристаллизатора нормализация будет происходить плавно, а на узких — резко. Окончательная нормализация параметров разливки произойдет лишь к ее завершению, примерно на 130-й минуте. К этому времени толщины шлаковых пленок и глубины их проникновения в кристаллизатор в зонах широких плит вновь окажутся большими, чем на узких плитах (как это было во время фазы *a*). При этом жидкая и кашеобразная фракции шлака на последней фазе будут представлены в более явном виде, чем во время нестабильной начальной фазы разливки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программное обеспечение MouldScreen® разработано для того, чтобы можно было определять влияние свойств разнообразных марок разливаемой стали, шлакообразующих смесей, засыпаемых в кристаллизатор, а также конструктивных особенностей и методов эксплуатации МНЛЗ (например, качества и толщины меди, из которой изготовлена медная плита, скорости непрерывной разливки стали, параметров водного потока системы охлаждения и т. д.) на формирование и поведение шлаковой пленки, обволакивающей и смазывающей затвердевающую в кристаллизаторе заготовку. Благодаря этому программному обеспечению стало возможным контролировать и визуализировать новые параметры разливки и в итоге существенно повысить промышленную безопасность и оптимизировать качество производимых слывов. С использованием программной утилиты Modify tool (Изменить) появилась возможность одним кликом компьютерной мыши оперативно менять параметры работы всей МНЛЗ и немедленно получать визуализированные на мониторе результаты этих изменений. Иными словами, задумав поменять, например, свойства подаваемой в кристаллизатор шлакообразующей смеси, или скорость разливки, или интенсивность потока охлаждающей воды и даже саму конфигурацию кристаллизатора МНЛЗ, оператор немедленно увидит на экране монитора, как отразятся эти изме-

нения на всем процессе непрерывной разливки стали в целом. Таким образом, утилита Modify tool комплекта программного обеспечения MouldScreen® является ценным нововведением в практику мониторинга разливки стали.

Первые же испытания программного обеспечения MouldScreen® на слывовой МНЛЗ в Германии выявили, что в результате внедрения этой системы операторы установок непрерывной разливки стали начали получать ценные данные, необходимые для управления производственным процессом. Ранее эти данные были недоступны. Правильная интерпретация новых данных позволяет не только повысить качество выпускаемой продукции и эффективность самого производственного процесса, но и отсеивать ложные сигналы автоматических систем слежения за подвисанием заготовок на МНЛЗ.

* * *

Авторы выражают благодарность профессору, д. т. н. Дитеру Зенку (Институт металлургии черных металлов / Рейнско-Вестфальская высшая техническая школа (RWTH) г. Ахен) за его превосходную поддержку в течение всего срока работы над проектом, а также г-ну Рольфу Муно (IT-специалист компании «S&B Industrial Minerals GmbH», Оберхаузен, Германия) за великолепно выполненные работы по программированию.

Библиографический список

1. **Wosch, E. A. T.** Prozeßübergreifende Modellbildung als Beispiel integrativer Lösungen beim Stranggießen von Stahl / E. A. T. Wosch // 21. Aachener Stahlkolloquium, 14. / 15. September 2006.
2. **Wosch, E. A. T.** Charakterisierung thermischer Betriebszustände von Stranggießkokillen unter Berücksichtigung des Gießschlackeverhaltens / E. A. T. Wosch // 24. Aachener Stahlkolloquium, 17. / 18. September 2009.
3. **Wosch, E. A. T.** New Approaches in mould slag film prediction and visualisation / E. A. T. Wosch, E. H. Hilgenhöner // ABM Brasil — 41st Steelmaking Seminar — International, 23. / 26. May 2010, Resende -RJ-, Brasil.
4. **Wosch, E. A. T.** Neue Methoden der Stranggiessmodellierung / E. A. T. Wosch, E. H. Hilgenhöner // Stahl und Eisen. — 2011. — № 4.
5. **Hilgenhöner, E. H.** Flux film Assessment via MouldScreen® / E. H. Hilgenhöner, E. A. T. Wosch // AISTech 2011. 2–5 May 2011, Indianapolis, U. S. A.
6. **Hilgenhöner, E. H.** MouldScreen®, A new system to predict flux film behaviour in continuous casting / E. H. Hilgenhöner, E. A. T. Wosch // METEC InSteelcon 2011 ; 7th ECCC, Düsseldorf, 27 June – 1 July 2011.
7. **Hilgenhöner, E. H.** Latest Results of Flux Film Visualization with MouldScreen® / E. H. Hilgenhöner, E. A. T. Wosch // IAS Argentina — 18th Steelmaking Conference, 01–03. Nov. 2011, Roario / Argentina.
8. **Mills, K. C.** Thermal conductivities of slags; Optical properties of slags / K. C. Mills, M. Susa ; 2nd Edition // Slag Atlas : Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 1995, Chapter 15 and 16. ■

Получено 20.03.13
© Э. Х. Хильгенхёнер,
Э. А. Т. Вощ, 2013 г.

В. Гартен, А. Хохлов, В. Уссельманн, И. Фомина

Компания «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG», г. Швельм, Германия

УДК 666.974.2:66.043.1]:621.746.32

КОНЦЕПЦИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ УЧАСТКА ПОДГОТОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ: ВНЕДРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКИ, КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Предлагается к рассмотрению общая концепция участка подготовки к эксплуатации сталеразливочных ковшей, которая включает подбор, поставку огнеупорных материалов и оборудования для выполнения монолитной футеровки ковшей с учетом производственных и эксплуатационных условий предприятий при технической поддержке персонала компании VGH AG на всех технологических этапах.

Ключевые слова: монолитная футеровка сталеразливочных ковшей, модернизация технологического участка, усовершенствование технологического процесса.

Основанная в 1993 г. компания «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» является одним из ведущих европейских производителей и поставщиком огнеупорной продукции, оборудования и установок, применяемых для производства стали. Компания предоставляет полный спектр услуг, связанных с огнеупорной продукцией, — от подбора материалов до внедрения в промышленную эксплуатацию различного типа установок и

металлургического оборудования, а также осуществляет подготовку комплексных решений по огнеупорным материалам, модернизации или полному оснащению металлургических предприятий.

В компанию VGH AG дополнительно входят: дочернее производственное предприятие «theramer GmbH», Центр исследований и контроля качества VGH AG и дочернее конструкторское бюро «Petronix Engineering GmbH».

theramer GmbH — это собственное производство огнеупорных материалов, производственная база для изготовления формованных и неформованных огнеупорных продуктов, а также принятия комплексных решений в области огнеупоров, осуществления индивидуальных и целенаправленных разработок совместно с научными центрами, лабораториями, производителями сырья (рис. 1).

Центр исследований и контроля качества VGH AG — это инновационные технологии, разработка и подбор огнеупорных материалов для индивидуальных эксплуатационных условий, многоступенчатый контроль качества продукции и гарантия качественных показателей материалов (рис. 2).

Petronix Engineering GmbH — инженерное бюро по конструированию и производству оборудования и специальных машин, основанное в 2009 г. Решение об учреждении инженерного бюро было принято для возможности предоставления клиентам комплексных решений, включая поставку машин, «из одних рук».

Совокупность принятия комплексных решений компанией VGH AG при поддержке команды технических специалистов обеспечивает даль-



Рис. 1. Производственное предприятие «theramer GmbH»



Рис. 2. Центр исследований и контроля качества VGH AG

нейшее развитие на всех этапах как модернизации существующих условий производства, так и внедрения новых технических решений, направленных на усовершенствование технологических процессов. Развитие металлургии вызывает необходимость поиска все новых, более инновационных подходов к разработке и внедрению комплексных решений с учетом технических, металлургических и экономических факторов.

Как известно, доля неформованных огнеупоров в общем выпуске огнеупоров растет во всем мире. Формованные изделия в футеровке тепловых агрегатов все интенсивнее заменяются бетонами, которые имеют преимущества по таким показателям, как затраты на производство, эффективность укладки, долговечность, экологическая безопасность, расход материалов и др. В результате применения современных высококачественных сырьевых материалов (включая сверхтонкие порошки), новых связующих, эффективных добавок оптимизированного гранулометрического состава и усовершенствованных технологий укладки был достигнут значительный прогресс в развитии неформованных огнеупоров, особенно бетонов. Методы укладки развиваются в направлении удобства, упрощения и повышения эффективности. Ужесточение требований к производству чистых сталей способствует развитию новых типов бетонов, в том числе магнезиальных составов и систем, не содержащих оксидов. Успехи в разработке современных методов укладки и сушки стимулируют внедрение новых проектных решений с применением необходимого для этого оборудования.

Компания VGH AG со своими подразделениями предлагает общую концепцию участка подготовки к эксплуатации сталеразливочных ковшей, включающую подбор и поставку огнеупорных материалов и оборудования для монолитной футеровки с учетом производственных и эксплуатационных условий предприятия и при технической поддержке высококвалифицированного персонала компании на всех этапах.

Технология монолитных футеровок успешно внедрена компанией VGH AG на таких крупнейших металлургических предприятиях России, как ОАО НЛМК, ОАО ММК, ОАО НСММЗ, а также на итальянских металлургических заводах «Ferriera Valsabbia S.p.A.», «Metalcam S.p.A.», «Stefana S.p.A.». Успешная работа по применению бетонов компании VGH AG проводится и на металлургических заводах Украины, где основным критерием при выборе материалов для монолитных футеровок является повышение эксплуатационных свойств бетонов в зависимости от существующих условий производства.

Применение огнеупорных бетонов как на отдельных участках, так и в виде монолитной футеровки в целом имеет ряд преимуществ:

- увеличение продолжительности кампании сталеразливочных ковшей;
- экономия материалов, рабочего времени и рабочей силы;
- отсутствие необходимости применения гнездовых блоков (как шибберного, так и продувочных узлов);
- повышение технологичности процессов ввиду возможности проведения промежуточных ремонтов;
- возможность уменьшения количества эксплуатируемых ковшей;
- уменьшение количества отходов производства после эксплуатации футеровки;
- высокая степень экологической безопасности;
- снижение удельных расходов огнеупоров.

Компания «theramer GmbH» совместно с Центром исследований и контроля качества VGH AG предлагает широкий спектр огнеупорных бетонов: новые низкоцементные высокоглиноземистые, низкоцементные на основе табулярного глинозема, шпинелесодержащие и шпинелеобразующие, а также армированные волокнами из жаропрочной стали. Изготовление футеровок из бетона различных видов осуществляется как методом вибролитья, так и методом литья из саморастекающихся масс.

Из опыта применения огнеупорных бетонов (тиксотропных масс), используемых при выполнении футеровочных работ в сталеразливочных ковшах, предлагается несколько вариантов исполнения:

1. Шлаковая зона (пояс) и стены из формованных изделий, дно из бетона.
2. Шлаковая зона (пояс) из формованных изделий, стены и дно из бетона.
3. Полностью бетонная монолитная футеровка.

Для внедрения бетонных футеровок необходим определенный набор оборудования. С данной задачей справляется инженерное бюро «Petronix Engeneering GmbH». Как правило, требуется следующее оборудование: установки приготовления и заливки бетона, виброшаблоны, погружные вибраторы, современные установки сушки, специальные машины для очистки и ломки отработанного бетонного слоя.

Установка для заливки рабочего слоя футеровки сталеразливочного ковша представляет собой машину для приготовления бетона. Существуют машины циклического и непрерывного действия. Машины циклического действия по сравнению с машинами непрерывного действия (шнековыми) имеют как преимущества, так и недостатки. К преимуществам следует отнести возможность более точного дозирования воды, т. е. на определенное количество массы можно добавить необходимое количество воды, тогда как в машинах непрерывного действия подача воды осуществляется одновременно с проходом материала. Од-

нако исключена возможность проверки влажностью тестированием в руке, как при заливке машинной непрерывного действия, при выходе готового бетона. Смеситель установки непрерывного действия можно остановить в любое время, следовательно, она является более экономичной.

При изготовлении монолитной наливной футеровки (стен) применяется виброшаблон для заливки рабочего слоя футеровки сталеразливочного ковша. Виброшаблоны бывают раздвигающиеся с изменяемым диаметром и цельные. Внутри шаблона устанавливают несколько поясов несбалансированных вибраторов, которые во время заливки поочередно включаются. Регулируемый шаблон оборудован устройствами для сжатия-разжатия и центровки шаблона. После окончания заливки и необходимой выдержки шаблон стягивают, появляется зазор и шаблон извлекают из сталеразливочного ковша. Погружные (пальчиковые) вибраторы применяются только при заливке дна сталеразливочного ковша. Возможно их применение в аварийной ситуации при отказе вибраторов, установленных в шаблоне. При заливке стен с помощью шаблона для равномерного распределения бетона по окружности при стационарной (неподвижной) позиции установки рекомендуется использование поворотного стенда сталеразливочного ковша.

Использование бетонов и тиксотропных масс для изготовления монолитных футерок с применением вибрирования повышает их эксплуатационные характеристики в процессе производства. Применение для футеровочных работ саморастекающихся масс и бетонов облегчает сам процесс заливки (возможно их применение без вибрирования), но, соответственно, снижаются качественные показатели вследствие недостаточной плотности рабочего слоя по сравнению с вибролитым.

Кроме того, независимо от выбора исходного материала и методов выполнения монолитной футеровки (по тому или иному варианту) одной из важных составляющих данной технологии является применение современных установок сушки футеровки сталеразливочных ковшей. Установки сушки должны обладать широким диапазоном регулируемых температур с минимальной разницей по объему ковша и точно выдерживать длительный график сушки с медленным подъемом температуры до 800 °С.

Компания VGH AG предлагает комплекс оборудования для участка подготовки сталеразливочных ковшей, в частности для выполнения монолитной футеровки и дальнейшего обслуживания ковшей.

ПРОТОЧНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ МАРКИ «PETRONIX CM-UN-8002»

Установка предназначена для смешивания и приготовления растворов, а также бетонов из сухих материалов при максимальной зернистости 16 мм.

Комплектация установки:

- бункер для подачи сухого материала;
- смесительная труба длиной 1550 мм с водопроводом;
- абразивоустойчивые дозирующий подающий шнек и смешивающий вал;
- двигатель мощностью 11 кВт;
- щит электроуправления с автоматическим переключателем, расположенным на корпусе установки;
- рампа — подключение для воды R3/4 дюйма с магнитным вентилем, дозирующим вентилем, редуктором давления, реле давления, прибором для измерения количества протекаемого вещества 2500 л/ч и вторичным фильтром для воды, встроенными в корпус установки; требуемое давление воды 0,4 МПа (4 бара);
- станина смесителя.

Шнековый транспортер подает сухой материал в смесительную трубу, где с помощью вала при подаче необходимого количества воды смешивается до получения однородного бетонного раствора.

Путем регулирования количества воды можно получить консистенцию раствора от землисто-влажной до мягкопластичной в зависимости от требований при выполнении футеровки. Смешивающий вал обеспечивает оптимальный замес различных материалов. Готовая смесь поступает из смесительной трубы в установленный транспортный контейнер и затем к соответствующему месту укладки.

РЕГУЛИРУЕМЫЙ ВИБРОШАБЛОН МАРКИ «PETRONIX»

Шаблон (рис. 3) для выполнения монолитной футеровки стен предназначен для создания бетонного слоя футеровки сталеразливочного ковша и оснащен комплектующим навесным оборудованием.

• Комплект демпферов для гашения колебаний и средства для их крепления

Комплект предназначен для технического решения проблемы предотвращения «всплывания» шаблона при заливке бетона. Комплект включает 6 демпферов и крепежный материал, соответствующий типу ковша.

• Комплект электровибраторов

Комплект включает в зависимости от геометрических размеров шаблона необходимое количество электровибраторов со следующими техническими параметрами: напряжение 42 В, мощность

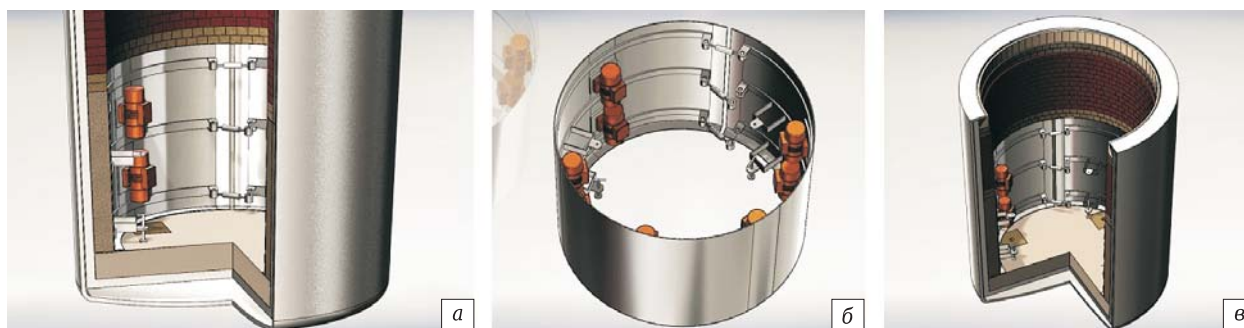


Рис. 3. Регулируемый виброшаблон марки «Petronix» (а) с навесным оборудованием (б, в)

1,0 кВт, ток 19,0 А, частота вращения 6000 об/мин, частота 200 Гц.

Технические параметры преобразователя для электровибратора: первичное напряжение 380 В, вторичное 42 В, мощность 5,5 кВт·А, первичный ток 12,0 А, вторичный 75,6 А, частота вращения 2920 об/мин, первичная частота 50 Гц, вторичная 200 Гц, вид защиты IP 44.

• Регулировочное приспособление

Приспособление предназначено для разжима шаблона перед заливкой бетона и для зажима шаблона от затвердевшего слоя футеровки после окончания бетонирования. В состав данного оборудования входит 6 короткоходных цилиндров и 1 гидравлический агрегат.

• Устройство для освобождения шаблона от затвердевшего слоя футеровки

Устройство состоит из 4 короткоходных цилиндров простого действия с отводной пружиной. Технические характеристики устройства: максимальные сила давления 293,4 кН, рабочее давление 70 МПа (700 бар) и ход 62 мм, габаритная высота во втянутом состоянии 117 мм, наружный диаметр 101 мм.

Устройство включает также гидравлический ручной насос с максимальным рабочим давлением 70 МПа (700 бар), необходимый объем масла для насоса 2000 см³, объем подачи/ход поршня 0 – 2,4 МПа (24 бар) : 16,28 см³ / 2,5 – 70,0 МПа (25 – 700 бар) : 2,46 см³.

ПОГРУЖНЫЕ ПАЛЬЧИКОВЫЕ ЭЛЕКТРОВИБРАТОРЫ

Предназначены для уплотнения огнеупорного бетона при выполнении монолитной футеровки дна сталеразливочного ковша, а в случае необходимости — стен ковша. Технические параметры: диаметр вибронаконечника 32 – 80 мм, длина баллона 320 мм.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТЕНД МАРКИ «PETRONIX PD-L 1017» ДЛЯ СУШКИ И РАЗОГРЕВА ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВНЫХ КОВШЕЙ

Вертикальная установка (рис. 4) применяется для сушки первичных монолитных футеровок сталеразливочных ковшей и футеровок после проведения промежуточного ремонта. При помощи установки осуществляется мягкий разогрев в автоматическом режиме, ход процессов сушки и разогрева находится под полным автоматическим контролем. Основные принципы работы вертикальной установки:

- максимальная энергоэффективность, наименьшее количество вредных выбросов и высочайший уровень промышленной надежности;
- удобство в эксплуатации благодаря автоматическому контролю хода процесса;
- обеспечение контроля герметичности после каждого выключения горелки, продувка емкости сталеразливочного ковша перед запуском горелки



Рис. 4. Вертикальный стенд марки «PETRONIX» сушки и разогрева футеровки сталеразливочных ковшей



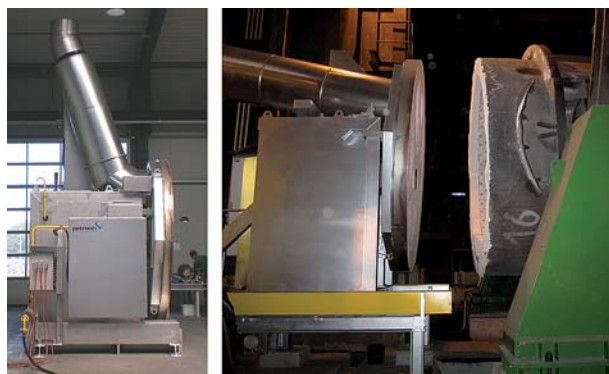


Рис. 5. Горизонтальный стенд марки «PETRONIX» для разогрева футеровки сталеразливочных ковшей

ки, постоянный контроль температуры, протоколирование всех данных цикла разогрева, мониторинг соотношения газ/воздух, контроль превышения температур при помощи двойной термопары, достижение равномерности повышения температуры внутри разогреваемого сталеразливочного ковша в пределах $\pm 10^\circ\text{C}$;

- обеспечение режимов сушки и разогрева в соответствии с заданными программами при помощи дистанционного мониторинга температур пламени на всех работающих горелках.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ СТЕНД МАРКИ «PETRONIX P-L-1018» ДЛЯ РАЗОГРЕВА ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

Горизонтальная установка (рис. 5) предназначена для быстрого и высокоэффективного предварительного разогрева сталеразливочных ковшей, участвующих в производственном цикле. Основные принципы работы горизонтальной установки:

- теплоизоляционный экран с бетонным покрытием и изоляционным слоем из спрессованного под большим давлением керамического волокна оснащен карданной подвеской для плотного прилегания к ковшу без зазора между кромкой ковша и экраном;

- сварная конструкция защитного экрана адаптирована под форму сталеразливочного ковша;

- установка снабжена газовоздушной горелкой (3,5 МВт) с оптимизированной эмиссией вредных газов с высоковольтным электродом и блоком мониторинга пламени. Направляющее устройство пламени горелки изготовлено из жаропрочной и устойчивой к переменам температур коррозионно-стойкой стали;

- минимизация потребления газа и наивысшая эффективность достигаются благодаря плотному закрытию сталеразливочного ковша.

В процессе работы оператор с помощью джойстика передвигает нагревательную установку в желаемую позицию разогрева. Передвижение установки в поперечном направлении осуществ-

ляется с помощью электропривода и блоков цельнометаллических колес. Система поперечного передвижения теплового экрана снабжена электроприводом, длина хода 5 м.

Все остальные процессы осуществляются в автоматическом режиме. Включается воздухонагнетатель и активируются пневматические клапаны, обеспечивающие продольное перемещение термозащитного экрана. Передвижная рама с термозащитным экраном покидает позицию парковки и передвигает с помощью двух пневматических цилиндров термозащитный экран к окантовке сталеразливочного ковша для его герметичного закрытия. Пневматическое продольное перемещение теплового экрана характеризуется длиной рабочего хода 1 м.

По истечении периода предварительной вентиляции с помощью высоковольтной искры производится зажигание горелки. Управление стехиометрическим соотношением газ/воздух осуществляется с помощью пневматического регулятора, мониторинг этого показателя производится с помощью датчиков давления, показания которых выводятся на сенсорную панель управления. Разогрев футеровки сталеразливочного ковша производится в соответствии с выбранной программой до тех пор, пока оператор не нажмет кнопку «OFF» (выкл.) на панели управления. В течение всего времени работы нагревательного стенда устройством его управления осуществляется непрерывный мониторинг состояния пламени главной горелки. Если пламя гаснет, то устройство управления немедленно показывает это и автоматически останавливает весь процесс разогрева.

УСТАНОВКА МАРКИ «PETRONIX» ДЛЯ ДЕМОНТАЖА ОТРАБОТАННОЙ ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ

Основные характеристики установки: маневренность и гибкость доступа, широкая зона действия манипулятора, отличная ударная мощность, достаточная производительность, безопасность работ.

ШИБЕРНЫЙ ЗАТВОР МАРКИ «PETRONIX SGS-L-20000»

Высокотехническая, надежная, современная шиберная система — новое поколение скользящих шиберных затворов. Шиберный затвор марки Petronix SGS-L-20000 — это безаварийная разливка, повышенная надежность в эксплуатации, удобство в обращении с механизмом и его чистки, сокращение времени на замену и обслуживание, минимум затрат на техобслуживание.

В конструкцию узла добавлена пружинная запорная пластина, которая обеспечивает равномерное распределение запирающего усилия по всей площади огнеупорной плиты при помощи маленького гидравлического цилиндра. Все пружинные элементы жестко прикреплены к этой пластине, что дает возможность заменять сразу

весь комплект изношенных пружинных элементов одной операцией. Пружинные элементы могут быть как термодинамического типа (газонаполненные пружинные элементы), так и «тарельчатого» или «витого» типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие компании обусловило передачу решения определенных задач входящим в нее подразделениям. Такой подход на сегодняшний день зарекомендовал себя как полностью оправданный и обеспечивающий возможность дальнейшего развития по каждому из направлений технической поддержки металлургов-заказчиков. Кроме того, планируется привлекать все более профессиональных сотрудников, имеющих опыт работы в каждом из направлений, а также внедрять наиболее

соответствующие времени технологии на каждом из производств.

Мы надеемся, что комплексные поставки материалов вместе с необходимым оборудованием станут выгодным преимуществом фирмы перед конкурентами, так как сокращают затраты на поиск решения по подбору совместимых материалов и установок. Мы также надеемся, что и при независимых поставках материалов и оборудования наши клиенты останутся довольны европейским качеством продукции и профессиональным обслуживанием опытного и высококвалифицированного персонала. ■

Получено 04.04.13

© В. Гартен, А. Хохлов, В. Уссельманн,
И. Фомина, 2013 г.

К. т. н. С. В. Горосткин¹, В. Гартен²

¹ S&B Industrial Minerals GmbH, г. Оберхаузен, Германия

² VGH AG, г. Швельм, Германия

УДК 621.746.047

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ ШЛАКООБРАЗУЮЩЕЙ СМЕСИ В КРИСТАЛЛИЗАТОР МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Квалифицированный подбор шлакообразующих смесей, как и правильный выбор технологии их применения, оказывают существенное влияние на качество и безопасность разлива. Автоматические системы подачи шлакообразующих смесей позволяют подавать смесь регулярными малыми и точно дозированными порциями, в результате чего улучшается качество поверхности непрерывнолитых слывов, уменьшаются количество металлопродукции, отсортированной по дефектам металлургического происхождения, и расход шлакообразующих смесей.

Ключевые слова: автоматизированные системы подачи шлакообразующих смесей, машина непрерывного литья заготовок, неметаллические включения, дефекты слывов.

Качество непрерывнолитой заготовки и стабильность процесса разлива во многом определяются правильным подбором состава применяемых шлакообразующих смесей, а также равномерностью их подачи в кристаллизатор. Обычной практикой во время разлива является порционная ручная подача шлакообразующих смесей, при этом уровень засыпаемого порошка или гранулята может достигать 20 мм насыпной толщины шлакообразующего материала в кристаллизаторе. Ручная подача шлакообразующих смесей в кристаллизатор может на начальном этапе привести к резкому снижению, а затем к значительному увеличению слоя проплавленного шлака. Снижение толщины проплавленного слоя объяс-

няется охлаждением шлака за счет введения большого количества материала, температура которого соответствует температуре окружающей среды. В дальнейшем за счет увеличения верхнего непроплавленного слоя, который служит, в свою очередь, теплоизоляционным материалом и источником тепла образующегося при сгорании свободного углерода, происходит повышение температуры шлака и, соответственно, понижение его вязкости. При использовании радиоактивного датчика контроля уровня металла в кристаллизаторе увеличение жидкой прослойки шлаковой пленки приводит к снижению уровня мениска металла в кристаллизаторе. Кроме того, низкая вязкость шлака вызывает увеличение его расхода и



Рис. 1. Установка автоматической подачи смеси FluxFeeder-2 (а) с бункером (б) и с распределительными устройствами (в)

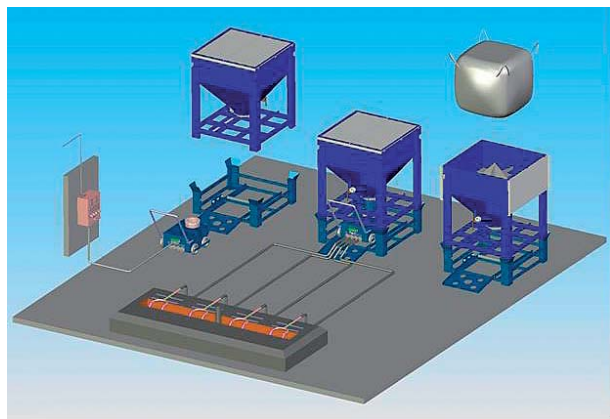


Рис. 2. Схема расположения современной установки автоматической подачи смеси Flux Feeder-3

образование неравномерного теплового потока по периметру кристаллизатора, что в целом негативно влияет на качество непрерывнолитого слитка.

На протяжении многих лет компания «VGH Viktoria Garten Hüttenindustribedarf AG» совместно с компанией «S&B Industrial Minerals GmbH» успешно сотрудничает со многими металлургическими предприятиями России, Украины и Республики Беларусь. Шлакообразующие и утепляющие смеси поставляются на такие крупнейшие металлургические комбинаты, как ОАО НЛМК, ОАО ММК, предприятия группы компаний ОМК, ОАО ЧМК (Мечел), ОАО «ЕВРАЗ НТМК», ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК», ОАО «Северсталь», ПАО «МК «Азовсталь», ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга БМК» и др. Основным производственным сегментом, для которого поставляются шлакообразующие смеси, являются установки для непрерывной разливки слабов толщиной от 90 до 350 мм, а также сортовые и блюмовые установки.

С учетом разнообразия сортов и форматов разливаемой стали, а также с целью достижения высокопроизводительных параметров ее разливки необходимо применение широкого ассортимента шлакообразующих смесей с различными специфическими свойствами.

Наряду с правильным подбором шлакообразующих смесей существенное влияние на качество и безопасность разливки оказывает правильный выбор технологии их применения. При современной разливке огромное значение приобретают автоматизированные системы подачи шлакообразующих смесей, которые позволяют подавать смесь через определенные интервалы малыми и точно дозированными порциями. В настоящее время наиболее гибкими как в отношении возможностей вмонтирования в существующие машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), так и в отношении универсальности применяемых материалов являются пневматические транспортно-подающие системы. Такие системы могут конструкционно выполняться в виде модульных блоков, расположенных отдельно от запасного бункера, центрального подающего агрегата и кристаллизатора, в который подаются шлакообразующие смеси.

До недавнего времени системы подачи шлакообразующих смесей в МНЛЗ устанавливались на объектах заказчиков при их активном содействии. Для каждого объекта требовался индивидуальный инжиниринг. Опыт работы показывает, что заказчик транспортно-подающих систем ожидает от поставщика оборудования комплексного выполнения работ по введению установки в эксплуатацию «под ключ». При этом оборудование должно полностью изготавливаться и тестироваться на заводе производителя. Затем устройство доставляется на место эксплуатации, и поставщик подключает его к заводским сетям электрообеспечения и подачи сжатого воздуха. В заключение поставщик производит окончательную настройку и тестирование транспортера на месте установки, после чего передает его заказчику в готовом для эксплуатации виде — «под ключ».

Установки автоматической подачи смеси могут поставляться производителем потребителю в полностью собранном виде. Как правило, устройства требуют установки небольшого количества трубопроводов на месте эксплуатации. После поставки к транспортерам необходимо всего лишь подвести электропитание и в зависимости от конструктивного исполнения подключить их к соответствующей сети подачи сжатого воздуха. Автоматические системы подачи шлакообразующих смесей (рис. 1) нашли широкое применение в металлургии и в настоящее время используются более чем на 140 установках непрерывной разливки в Европе и Северной Америке.

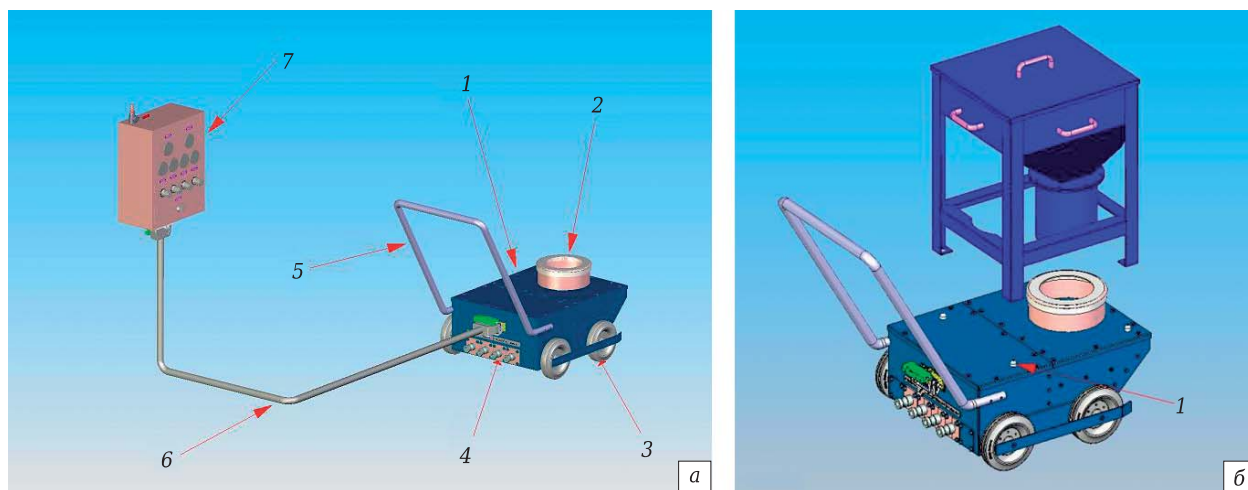


Рис. 3. Установка FluxFeeder-3 (а): 1 — установка; 2 — загрузочный люк; 3 — колеса (4 шт.); 4 — штекер диаметром 25 мм; 5 — поручень; 6 — комплекс дистанционного управления; 7 — панель управления; б — основной агрегат: подключение адаптера для контейнера; для передвижения; для подключения материалапровода; для маневрирования; подключение к системе управления; пневматическое управление

Преимуществом такой системы является возможность расположения бункеров на расстоянии до 30 м от рабочего места. Для данной установки требуется рабочее давление осушенного воздуха не менее 0,6 МПа (6 ат). На рис. 2 представлена современная система автоматической подачи смеси в кристаллизатор FluxFeeder-3, разработанная для МНЛЗ, применяемых в России и государствах ближнего зарубежья. Установка может быть оборудована несколькими линиями (от 2 до 6 на выбор заказчика), по которым могут подаваться гранулированные смеси в один или несколько кристаллизаторов.

Из соответствующего контейнера материал поступает самотеком в приемный бункер установки автоматической подачи смеси Flux Feeder-3. Каждая подающая линия транспортирует гранулы из приемного бункера к соответствующему распределительному устройству посредством одного эжектора под давлением воздуха (азота) от 0,2 до 0,5 МПа (от 2 до 5 ат). В зависимости от вида и размеров кристаллизатора могут быть использованы различные варианты конструкции распределительного устройства, приспособленные к равномерному распределению материала по всей поверхности кристаллизатора. Управление работой установки осуществляется посредством пневматической панели (рис. 3), которая, также по усмотрению заказчика, может быть смонтирована рядом с кристаллизатором или непосредственно на щите управления установки автоматической подачи смеси. Количество гранулята (пропускная способность) для каждой подающей линии можно регулировать отдельно при помощи панели управления. Максимальное расстояние между бункерами и кристаллизатором не должно составлять более 15 м.



Рис. 4. Панель управления: 1 — шаровый кран 1/2 дюйма и главный кран подвода давления; 2 — манометр и значение питающего давления (1–16 бар); 3 — манометр и значение рабочего давления (1–10 бар); 4 — манометр (деления от 1 до 6) и показатель давления соответствующих линий (1–6 бар); 5 — регулятор давления (деления от 1 до 6) и регуляторы для настройки давления подачи необходимого количества гранулята по линии; 6 — замок двери

Одна из установок автоматической подачи смеси FluxFeeder-3 была поставлена ОАО ММК в августе 2012 г. для проведения испытаний на МНЛЗ № 6 с целью изучения влияния работы системы автоматической подачи гранулированных шлакообразующих смесей на качественные показатели металлопродукции. Для сравнительного анализа работы системы в одной из серий плавов

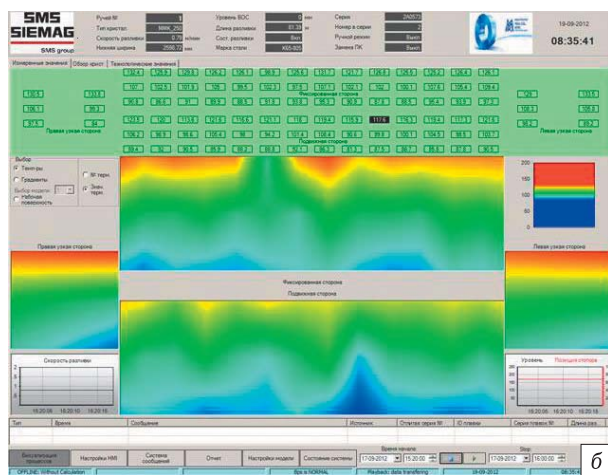
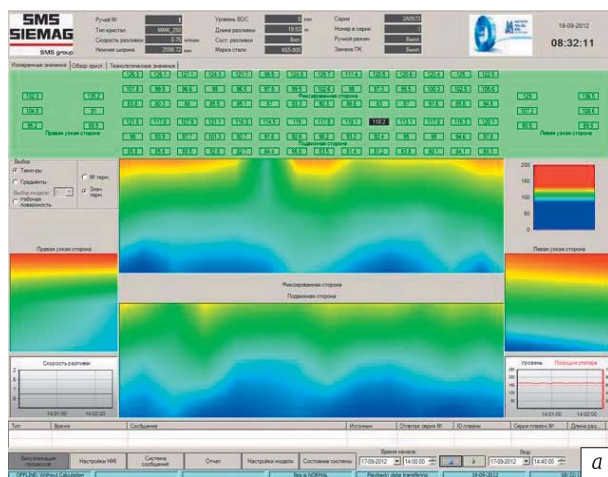


Рис. 5. Тепловые характеристики стенок кристаллизатора при ручной подаче шлакообразующей смеси на первой (а) и второй (б) разливке

в начале разливки смесь подавали ручным способом в течение двух разливок. На рис. 5, а, б представлены показания термопар широких и узких стенок кристаллизатора во время первой и второй разливок соответственно. На рис. 6 представлены показания термопар на третьей разливке с включенной системой автоматической подачи смеси.

Как следует из диаграмм, изображенных на рис. 5 и 6, после включения системы автоматической подачи смеси происходит снижение температур в верхних слоях по узким и широким стенкам кристаллизатора и повышение температур в нижних, что в целом уменьшает перепад температурного поля по высоте кристаллизатора.

В ходе проведенных испытаний в условиях ОАО ММК при использовании установки автоматической подачи смеси было отмечено снижение доли слябов с продольной трещиной. Так, для слябов толщиной 250 мм при скорости разливки 0,9–1,1 м/мин доля слябов с продольной трещиной сократилась на 40 отн. %, а для слябов толщиной 300 мм при скорости разливки не более 0,8 м/мин этот показатель снизился до 70 отн. %. Необходимо отметить, что такой важный показа-

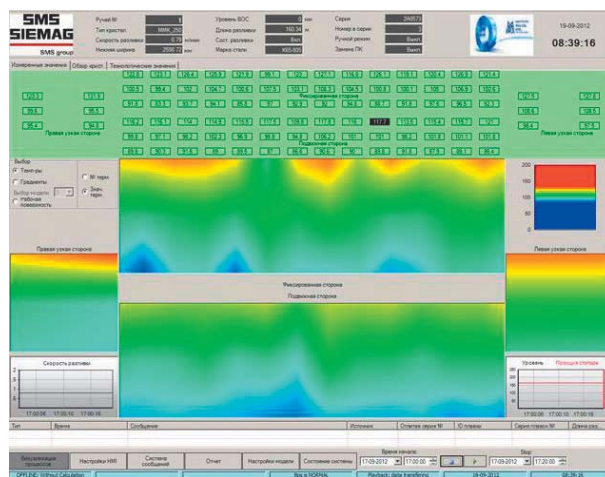


Рис. 6. Тепловые характеристики стенок кристаллизатора при автоматической подаче шлакообразующей смеси на третьей разливке

тель качества металлопродукции, как выход годного, определяется после окончательной обработки металла в прокате. Скрытые внутренние дефекты в виде неметаллических включений способствуют возникновению дефектов в виде плен. Так, по результатам переработки в основном трубного перитектического сортамента доля штрипса, имеющего дефект неметаллических включений, с использованием установки автоматической подачи смеси была значительно снижена. Независимо от толщины исходного сляба при использовании установки автоматической подачи смеси доля штрипса с дефектом снижена в среднем на 30–50 %.

Техническими специалистами ОАО ММК отмечены простота оборудования и его эксплуатации, компактные габариты установки, а также отсутствие необходимости подвода дополнительных энергосистем. Во время эксплуатации установки отмечено также снижение расходного материала, а именно шлакообразующей смеси, на 5–7 отн. %. По результатам положительного опыта эксплуатации установки автоматической подачи смеси запланированы ее дальнейшие испытания на других машинах непрерывного литья заготовок ОАО ММК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение в технологию разливки системы автоматической подачи смеси FluxFeeder-3 в производственных условиях ОАО ММК на МНЛЗ № 6 позволило улучшить качество поверхности непрерывнолитых слябов, снизить отсортировку металлопродукции по дефектам металлургического происхождения на 30–50 отн. % и расход шлакообразующих смесей на 5–7 отн. %. ■

Получено 20.03.13
© С. В. Горосткин, В. Гартен, 2013 г.

УДК 66.041.49.043.1.67

ЭФФЕКТИВНЫЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ФУТЕРОВКИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ АГРЕГАТОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Проведено изучение влияния углеродных материалов на физико-механические свойства огнеупоров, разработаны методы пропитки огнеупоров магнезиального состава углеродными материалами, исследованы способы защиты углеродных материалов от окисления, определены зоны футеровки, в которых рационально применение углеродных материалов. Футеровки с применением углеродных материалов испытаны и внедрены в агрегатах цветной металлургии. По результатам работы разработаны технология производства периклазоуглеродистых огнеупоров, комбинированная кладка, пропитка изделий коксовым пекком. Углеродсодержащие огнеупоры и покрытия прошли промышленные испытания на ряде предприятий и внедрены в отражательных, рудно-термических и вельц-печах, горизонтальных конвертерах. Применение углеродсодержащих огнеупоров и покрытий в футеровках агрегатов цветной металлургии увеличивает кампанию агрегатов на величину от 30 до 200 %.

Ключевые слова: углеродсодержащий огнеупор, комбинированная футеровка, скользящий слой, периклаз, периклазохромит, вельц-печь, рудно-термическая печь.

Углерод прочно занимает первое место среди всех огнеупоров вследствие его наиболее высоких шлако-, металло-, термоустойчивости при повышенных температурах службы. С учетом того, что около 70 % существующих огнеупоров изнашиваются путем шлакоразъедания, углеродсодержащие и углеродные огнеупоры, как самые износостойчивые, в настоящий период получают наибольшее развитие. Основным реагентом, разрушающим огнеупоры в службе, является кислород; в процессе службы происходит оксидизация огнеупоров. Поэтому предотвращение оксидизации огнеупоров путем развития антиоксидантных процессов является основой повышения износостойчивости периклазоуглеродистых огнеупоров нового поколения. Углеродизация огнеупоров представляет собой сочетание двух взаимосвязанных процессов: науглероживания — введения углерода в огнеупоры при их производстве — и стабилизации углерода — предотвращения выхода углерода из огнеупора в процессе службы. Поэтому процессы науглероживания и стабилизации углерода в магнезиальных огнеупорах определяются прежде всего технологическими параметрами их производства, а затем — условиями службы огнеупоров.

Углерод вводят в магнезиальные огнеупоры в основном в двух видах по отдельности или при их сочетании:

— твердом — бой электродов, кокс, пек, отходы графитации, карбиды, графит, связующее фенольное порошкообразное (СФП), углеродные во-

локна и др. Лучшими видами являются СФП и графит;

— жидком — жидкий лигносульфонат технический (ЛСТ), различные смолы (каменноугольная, фенольная, фурановая, синтетические смолы), битум, деготь и др.

Нами проведено исследование по разработке технологии производства периклазоуглеродистых огнеупоров (ПУО) с учетом условий службы футеровок в агрегатах цветной металлургии. Изучено влияние различных добавок: антиокислителей, химических связей и глазурей на физико-механические свойства получаемых периклазоуглеродистых огнеупоров. Рассмотрена зависимость эксплуатационных характеристик ПУО от состава шлака, технологических параметров, типа атмосферы и температурного режима работы агрегата [1].

При определении зависимости предела прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ от содержания углерода в огнеупоре установлено, что $\sigma_{сж}$ резко падает, если количество графита в материале более 10 % (рис. 1). С целью снижения неблагоприятного воздействия графита на $\sigma_{сж}$ изделий были изготовлены ПУО из периклаза различной степени измельчения. Оптимальный фракционный состав шихты для изготовления ПУО с достаточной прочностью, термостойкостью и шлакоустойчивостью включает 30 % периклаза фракции 3–1 мм и 15–20 % 1–0 мм, 30 % тонкомолотой фракции $\leq 0,063$ мм, 10–12 % природного графита $< 0,1$ мм.

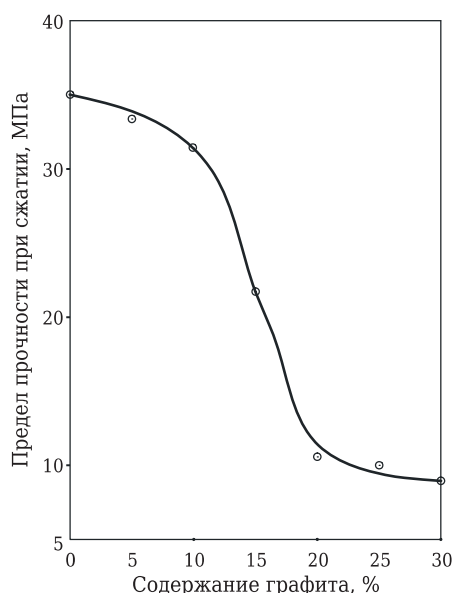


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии периклазоуглеродистых огнеупоров от содержания графита

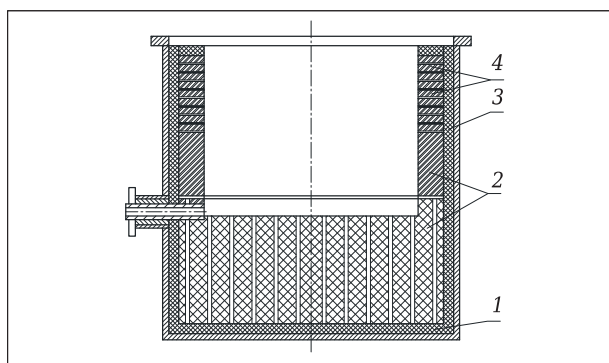


Рис. 2. Схема комбинированной футеровки рудно-термической печи: 1 — углеродистая набивка; 2 — углеродистые блоки; 3 — хромомагнетитовая засыпка; 4 — шамотные огнеупоры

Кроме того, было исследовано влияние различных химических связей: лигносульфоната (сульфитно-дрожжевой бражки), полифосфата натрия, хромолюмофосфатной связки; жидкого стекла, бакелита и бакелитового лака на физические и керамические свойства ПУО после сушки и обжига. Из минеральных связей наибольший интерес представляет полифосфат натрия, введение

которого способствует увеличению прочности и плотности изделия, служит защитой от окисления.

В результате проведенных исследований определено, что оптимальное соотношение связующих компонентов бакелита и сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ) равно 2:1. После сушки открытая пористость изделий 10–12 %, предел прочности при сжатии 41–44 МПа.

При изготовлении огнеупоров в состав шихты вводили добавки, препятствующие выгоранию графита: легкоокисляемые металлы (алюминий, магний), карбид кремния, хромит, нитрит бора. Обнаружено, что при использовании в качестве добавки карбида кремния образуется непроницаемая защитная пленка диоксида кремния, предотвращающая окисление. При добавлении в огнеупоры легкоокисляющихся металлов или карбида кремния степень их окисления при высоких температурах (1200–1400 °С) снижается.

На основании полученных результатов исследований были изготовлены полупромышленные партии ПУО в ОАО «Комбинат «Магнетит» (г. Сатка Челябинской обл.) в количестве 1 т и на огнеупорном производстве ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» (г. Нижний Тагил) в количестве 10 т. Огнеупоры испытывали в шлаковом поясе отражательной печи Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда). При эксплуатации ПУО по сравнению с огнеупорами марки ПХС обеспечили стойкость, повышенную на 30–40 %. По уровню физико-механических показателей разработанные огнеупоры полупромышленных партий близки к изделиям ведущих зарубежных фирм.

Для рудно-термической печи для получения германия СП «Ангренэнергоцветмет» (г. Ангрен) нами была разработана комбинированная футеровка. Традиционная футеровка печи состояла из хромомагнетитовых и шамотных изделий и имела низкую стойкость — срок службы 2–3 мес [2], которая обусловлена агрессивностью продуктов плавки германийсодержащего сырья (см. таблицу).

На рис. 2 показана схема усовершенствованной футеровки печи. Подина выложена из углеродистых блоков высотой 1600 мм. Высота блоков определена из расчета удаления точки, в которой происходит застывание расплава, т.е. при данной

Химический состав продуктов плавки* германийсодержащего сырья, %, СП «Ангренэнергоцветмет»

Материал	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	S _{общ}	Zn	Pb	As
Сульфиднометаллический сплав (королёк)	48,89	16,48	6,32	25,82	1,28	1,10	0,03	0,02
Шлак	58,96	2,98	17,98	18,78	0,85	0,33	0,025	0,002

* Температура плавки 1350–1450 °С.

высоте расплав в случае проникновения его по швам успеет застыть, не попав под блоки.

Швы между блоками заполнены самоспекающейся углеродистой пастой. Увеличением толщины футеровки подины и заполнением швов пастой обеспечили монолитность подины и предотвратили проникновение расплава под блоки, а также всплытие подины. Срок службы футеровки рудно-термической печи во время промышленных испытаний составил 16 мес, т. е. был увеличен в 2,5 раза. Опыт применения усовершенствованной футеровки может быть распространен на электропечи цветной металлургии, например, испытанная схема футеровки может быть применена в подинах электропечей свинцового производства.

Интерес представляет опыт применения графитового слоя в футеровке печи РКЗ-4,5 в ОАО «Побужский никелевый завод» (г. Побужье). Исследования проводили с целью снять термонапряжения, возникающие между футеровками подины и стен в месте их контакта и ведущие к разрушению футеровок. Скользящий слой позволяет подине при эксплуатации расти без разрушения ее в месте контакта (рис. 3). Во время промышленных испытаний аварийных случаев в этом узле опытной футеровки не было.

Рассматривалось также введение углерода в стандартные огнеупорные изделия для футеровок агрегатов цветной металлургии. С этой целью 60 т стандартных хромитопериклазовых термостойких (ХПТ) огнеупоров были пропитаны углеродсодержащим пеком в ОАО «Новосибирский электродный завод» (г. Новосибирск) и поставлены ОАО «Челябинский электролитный цинковый завод» (г. Челябинск) и ОАО «Усть-Каменогорский свинцово-цинковый комбинат» (г. Усть-Каменогорск) для футеровки вельц-печей. Была выполнена комбинированная «ленточная» футеровка из периклазохромитовых (ПХС) огнеупоров и хромитопериклазовых термостойких (ХПТ), пропитанных углеродсодержащим пеком, с 25-го по 40-й метр. Испытания показали, что стойкость опытных футеровок на 30–40 % выше.

Долговечность футеровки металлургических агрегатов часто достигается периодическим нанесением на ее поверхность торкрет-масс способом факельного торкретирования; прием, используемый в черной металлургии. Попытка перенести опыт, приобретенный в черной металлургии, в цветную металлургию не имела успеха, так как температура эксплуатации футеровок в этой отрасли значительно ниже и ее недостаточно для припекания известных торкрет-масс к поверхности кладки. Возникла задача — снизить температуру спекания торкрет-покрытий для возможности использования для тепловых агрегатов цвет-

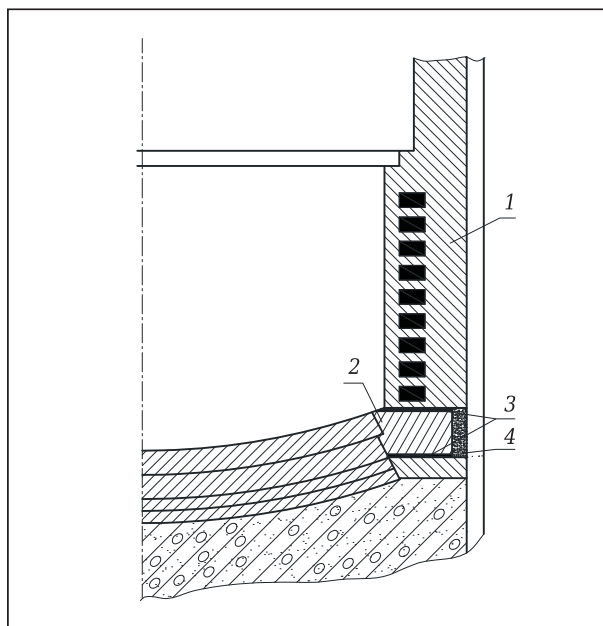


Рис. 3. Схема выполнения скользящего слоя рудно-термической печи ОАО «Побужский никелевый завод»: 1 — охлаждаемая футеровка; 2 — неохлаждаемый узел; 3 — слой графита; 4 — компенсационный пояс

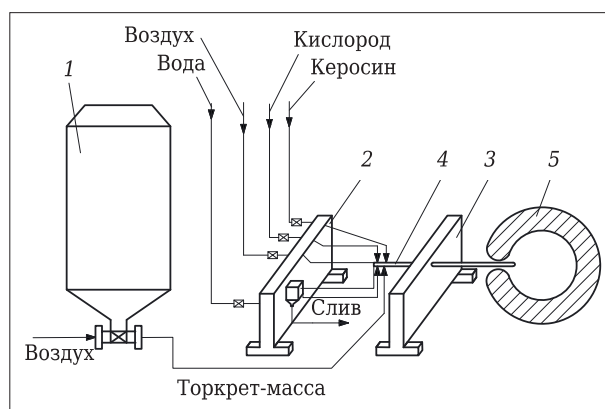


Рис. 4. Схема полупромышленной торкрет-установки: 1 — бункер-питатель; 2 — узел управления; 3 — защитный экран с механизмом перемещения фурмы; 4 — торкрет-фурма; 5 — конвертер

ной металлургии. В результате проведенных исследований разработан оптимальный состав торкрет-массы, отличающийся от известных тем, что с целью снижения температуры спекания торкрет-покрытия она содержит кварцит при следующем соотношении компонентов, мас. %: пековый кокс 22, кварцит 25, хромитопериклаз 53.

Торкрет-массу приготавливали следующим способом: 20–25 % пекового кокса смешивали с 20–30 % кварцита и 50–53 % хромитопериклаза. Крупность помола ≤ 80 мкм. Торкрет-массу наносили в разогретой до 1400–1500 °С камере на разогретые изделия ПХС факелом, имеющим темпе-

ратуру 1700–1800 °С. При достижении толщины торкрет-покрытия 10 мм напыление прекращали. Затем проводили испытание на прочность. Прочность торкрет-покрытия на сжатие 9,8 МПа, на скалывание 4,1 МПа, что в 2 раза превышает показатели торкрет-покрытия на основе хромитопериклаза. Пористость 18–25 %, кажущаяся плотность 2,4–2,6 г/см³, предел прочности при сжатии 30–40 МПа, рабочая температура 1300–1400 °С. Торкрет-масса данного состава может быть нанесена при горячих ремонтах футеровки вельц-печей и горизонтальных медно-никелевых конвертеров методом факельного торкретирования, при этом кампания агрегатов продлевается на 30–50 %. Нами разработана полупромышленная торкрет-установка производительностью до 2 кг/мин [4]. Схема установки представлена на рис. 4. В результате проведенных испытаний установлена толщина торкрет-покрытия от 10 до 70 мм. Также была разработана и испытана торкрет-масса, содержащая в качестве специальной добавки термитную смесь в количестве от 5 до 12 %. Для расплавления частиц требуется небольшое время вследствие экзотермической реакции между алюминием и оксидом железа. Поскольку частицы торкрет-массы находятся в факеле непродолжительное время, часть частиц термитной смеси не успевает прореагировать в факеле и, попадая на футеровку, взаимодействует с ней, образуя тугоплавкие соединения — магнетит и сложный шпинелид. В результате образования этих соединений как в футеровке, так и в торкрет-покрытии получено прочное сцепление торкрет-покрытия с футеровкой в виде единого монолита.

Характеристика торкрет-покрытия на основе хромитопериклазового состава, термитной смеси и коксика, нанесенного методом факельного торкретирования: открытая пористость 17–25 %, кажущаяся плотность 3,1–3,3 г/см³, предел прочно-

сти при сжатии 25 МПа, рабочая температура 1300–1500 °С.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение углеродсодержащих огнеупоров и покрытий в футеровках высокотемпературных агрегатов цветной металлургии увеличивает их стойкость от 30 до 200 %. Применять углеродсодержащие огнеупоры целесообразно в агрегатах со слабоокислительной и восстановительной атмосферой, т. е. в отражательных, вельц-печах, рудно-термических печах. Скользящий графитовый слой на стыке футеровок стен и подины рудно-термических печей предотвращает аварийные остановки ввиду возможности достаточного перемещения футеровки подины по отношению к футеровке стен. Торкрет-массы с добавлением коксика эффективны для увеличения стойкости футеровок горизонтальных конвертеров медно-никелевого производства.

Библиографический список

1. **Словицкий, В. В.** Разработка углеродсодержащих огнеупоров для агрегатов цветной металлургии // *В. В. Словицкий, Е. Л. Ваулина, Т. А. Данилова [и др.] // Цветная металлургия. — 1990. — № 2. — С. 14–17.*
2. **Словицкий В. В.** Комбинированная футеровка рудно-термической печи // *В. В. Словицкий, Г. А. Фоминцева, Ю. И. Рожин [и др.] // Огнеупоры. — 1989. — № 1. — С. 52–55.*
3. **Словицкий, В. В.** Процесс факельного торкретирования для восстановления и защиты футеровок агрегатов медно-никелевого производства / *В. В. Словицкий, В. М. Гомоюнов, Ю. И. Рожин // Огнеупоры. — 1989. — № 11. — С. 25–28.*
4. **А. с. 1694548 СССР** / В. В. Словицкий, Л. М. Гомоюнов, Ю. И. Рожин, Е. И. Ежов, О. А. Рыжов, В. Н. Дудников. — № 4153462/23-Ц 155687 ; заявл. 13.11.86 ; опубл. 01.08.91, Бюл. № 30. ■

Получено 04.02.13

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



RIO 2013
CARBON

14-19 JUL, 2013
COPACABANA, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

Первая всемирная конференция по углероду (CARBON RIO 2013)
14-19 июля 2013 г.

г. Рио-де-Жанейро, Бразилия

УДК 666.762.2:669.186.3.043.1

ВЛИЯНИЕ ОКСИДОВ ХРОМА И ЦИРКОНИЯ НА СВОЙСТВА НАБИВНЫХ МАСС ИЗ КВАРЦИТОВ БОБРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проведены технологические исследования кварцитов Бобровского месторождения. Исследовано влияние оксидов хрома и циркония, отходов алюмохромового катализатора, боя бадделеитокорундовых изделий на спекание, формирование структуры и свойства набивных масс. Проведены лабораторные испытания на шлакоустойчивость.

Ключевые слова: кварцит, набивная масса, футеровка индукционных печей, огнеупоры, спекание, шлакоустойчивость.

Предыдущими исследованиями было установлено, что по минеральному составу Бобровские кварциты представляют собой практически чистые полнокристаллические цементные кварциты двух видов — светлые и темные [1, 2]. В практическом отношении обе разновидности равноценны и содержат 98,82 и 98,06 мас. % SiO_2 соответственно. На основе кварцитов Бобровского месторождения разработаны зерновые и вещественные составы набивных масс для футеровки индукционных печей черной и цветной металлургии.

Особенностью индукционных печей является небольшая толщина их футеровки. Однако чем меньше толщина стенки «тигла», тем короче срок его службы, снижается также надежность работы печи. Поэтому повышение химической и коррозионной стойкости футеровки индуктора — актуальная задача. Были проведены технологические исследования возможности повышения коррозионной стойкости футеровки из набивных индукционных масс на основе кварцитов Бобровского месторождения.

При изготовлении индукционной массы наиболее распространенной спекающей добавкой служит оксид бора (или борная кислота). Исследование влияния B_2O_3 на свойства масс из Бобровских кварцитов показало, что добавка в количестве 1,5–3,0 мас. % достаточна для формирования плотной и прочной структуры огнеупорного «тигла». Известно [3], что расплав на основе оксида бора не способствует перерождению кварцита из одной полиморфной модификации в другую, но эффективно спекает кварцитовые материалы.

Исходя из теоретических положений считают, что повышать коррозионную стойкость огнеупорного материала по отношению к шлаку (или

любому другому корродирующему фактору) можно [4]:

- повышая химическую (термодинамическую) прочность материала;
- увеличивая термостойкость материала (стойкость к перепадам температуры);
- уменьшая поверхность взаимодействия между материалом и расплавом (уменьшая объем и размер пор);
- изменяя краевой угол смачивания между материалом и расплавом.

В отношении кварцитовых масс и шлаковых расплавов черной металлургии наиболее эффективным промышленным способом повышения коррозионной стойкости является изменение термостойкости и смачиваемости материала шлаками. Это достигается введением в состав шихты в подчиненных количествах веществ, не снижающих огнеупорность и прочность материала, но улучшающих другие его характеристики.

Из известных в настоящее время материалов, не смачиваемых расплавами на основе железа, наиболее массовыми, а следовательно, дешевыми и доступными являются материалы на основе оксидов хрома и циркония.

По величине энергии Гиббса Cr_2O_3 и ZrO_2 термодинамически стабильны [5], теплота образования этих оксидов составляет 1141,32 и 1101,30 кДж/моль соответственно. Это намного больше аналогичной величины у FeO и MnO (265,02 и 385,35 кДж/моль соответственно) — основных компонентов окисления стали при высоких температурах. Трехвалентные оксиды железа и марганца также имеют меньшие значения теплоты образования (822,71 и 958,36 кДж/моль соответственно), чем Cr_2O_3 и ZrO_2 .

Оксид хрома с SiO_2 не образует химических соединений или твердых растворов. В бинарной системе $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ имеется обширная область двух несмешивающихся расплавов при температуре выше 2200°C [6], которая сохраняется при введении других компонентов. Диоксид циркония образует с SiO_2 химическое соединение ZrSiO_4 , образование эвтектического расплава в псевдобинарной системе $\text{ZrSiO}_4\text{--SiO}_2$ возможно при температуре примерно 1650°C [6], выше которой циркон ZrSiO_4 вновь разлагается на ZrO_2 и SiO_2 . С учетом изложенного Cr_2O_3 более предпочтителен в качестве оксида, сохраняющего стабильные свойства до более высоких температур [4]. С физико-химических позиций оксид хрома также является устойчивым соединением, так как с полуторными оксидами железа, марганца, алюминия образуются твердые растворы, синтез которых протекает быстро, поскольку ионные радиусы хрома (III), алюминия (III) и марганца (III) соответствуют первому правилу Гольдшмита, т. е. они различаются между собой не более чем на 10–15 % [7, 8]. Значительная область ликвации в системе $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$ и низкая растворимость оксида хрома в SiO_2 в высококремнеземистом расплаве обуславливают ограниченное проникновение расплава в изделие и повышенную коррозионную устойчивость системы.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Используемые материалы. В ходе работы были использованы: кварциты Бобровского месторождения фракций 3–1, 1–0 и $<0,063$ мм (ТУ 1528-004-94779610–2009); отходы алюмохромового катализатора очистки газа от серы ИП-21; бой баддеилитокорундовых изделий, 25,0 мас. % ZrO_2 ; оксид циркония технический (ТУ 6-09-27-180–88); оксид хрома (III) технический (ГОСТ 2912); борная кислота техническая марки Б (ГОСТ 18704); лигносульфонат технический (ТУ 2455-028-00279580–2004).

Методы исследования. Кажущуюся плотность и открытую пористость огнеупорных изделий определяли по ГОСТ 2409. Определение предела прочности при сжатии проводили по ГОСТ 4071.1, шлакоустойчивости — по DIN 51069, ч. 2 (тигельный метод).

Подготовка масс и изготовление образцов. Массы готовили в лабораторном планетарном смесителе. Образцы в виде цилиндров диаметром и высотой 50 мм и образцы-«тигли» высотой и диаметром 55 мм с отверстием глубиной и диаметром 25 мм изготавливали методом одностороннего полусухого прессования на лабораторном гидравлическом прессе под давлением 45 МПа, что соответствует условиям набивки пневматической трамбовкой. Образцы для определения предела прочности при сжатии обжигали в лабораторной электрической печи с хромитлантановыми нагревателями при 1600°C . В образцы-«тигли» помещали одинаковое количество металлургического шлака и нагревали при 1600°C .

Исследуемые составы. За базовый состав кварцевой тигельной набивной массы на основе кварцита Бобровского месторождения принят рекомендованный к применению ранее. Зерновой состав шихты представлен ниже:

Фракция, мм	3–1	1,0–0,5	0,5–0,088	$<0,088$
Содержание, мас. % . . .	30	20	25	25

В шихту добавлено 1,5 мас. % борной кислоты и 4 мас. % временной связки (ЛСТ). В ходе работы в базовый состав массы вводили добавки, повышающие коррозионную стойкость. Составы исследованных масс представлены в табл. 1.

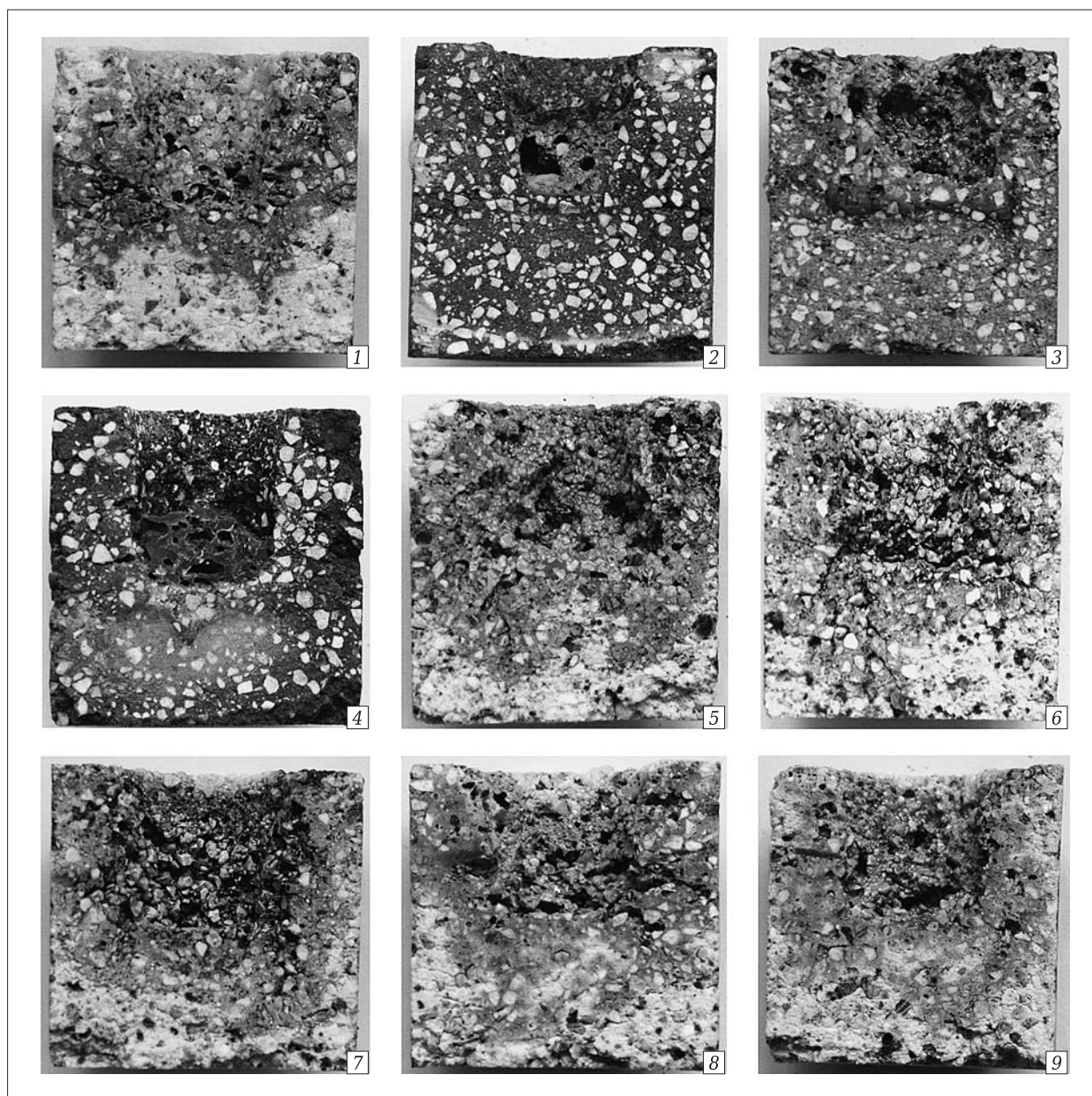
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Физико-химические свойства образцов после термообработки представлены в табл. 2. Действие опробованных добавок проявляется по-разному. Так, влияние практически всех добавок на величину открытой пористости практически одинаково.

Таблица 1. Составы исследованных масс (1–9)*

Фракция шихты, мм	Содержание компонента в шихте исследуемой массы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3–1	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв
1,0–0,5	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв+Бк 10 %	Кв	Кв
0,5–0,088	Кв	Кв	Кв	Кв	Кв + Бк 5 %	Кв + Бк 10 %	Кв	Кв	Кв
$<0,088$	Кв	Кв + Х 5 %	Кв + Хк 5 %	Кв + Х 10 %	Кв	Кв	Кв	Кв + Ц 5 %	Кв + Ц 10 %

* Кв — кварцит Бобровского месторождения; Х — оксид хрома технический; Хк — отходы алюмохромового катализатора; Бк — бой баддеилитокорундовых изделий; Ц — оксид циркония технический.



Образцы 1–9 исследуемых масс (указаны на тиглях) после испытания на шлакоустойчивость

во. Масса 1 контрольного состава после обжига при 1600 °С имела открытую пористость 26 %, остальные массы, кроме двух, имели такую же величину открытой пористости. Несколько меньшей открытой пористостью (23 %) характеризовались массы 2 и 4, которые содержали в качестве добавки технический оксид хрома (III).

Введение в состав шихты масс 2 и 4 оксида хрома в количестве 5 и 10 мас. % соответственно способствовало повышению кажущейся плотности образцов до 2,07 и 2,1 г/см³ (см. табл. 2). Следует отметить, что есть составы большей плотности, например состав 6, но эта плотность достигнута не за счет уплотнения шихты, а вследствие большей плотности вводимой добавки — боя бад-

Таблица 2. Показатели физико-химических свойств исследованных образцов массы

Масса (см. табл. 1)	Водопоглощение, %	Открытая пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа
1	13	26	1,96	10
2	11	23	2,07	16
3	14	26	1,96	13
4	11	23	2,1	16
5	13	26	2,01	12
6	13	25	2,11	17
7	13	26	2,03	9
8	13	26	2,0	12
9	12	25	2,08	10

Таблица 3. Результаты определения шлакоустойчивости

Масса	Площадь, см ²		Характер разъедания
	пропит-ки	разъеда-ния	
1	12,4	4,7	Глубокая пропитка образца (10–15 мм) с частичным растворением матрицы на глубину 5–7 мм. Крупные зерна оплавлены и частично вымыты из структуры образца. Структура образца после испытания разрыхленная с усадочными трещинами
2	0	0	Пропитки образца нет, на внутренней поверхности «тигля» имеется тонкий переходный оплавленный слой. Весь шлак остался в «тигле». Частичное разъедание поверхности «тигля» (до 1 мм) на границе шлак – огнеупор – воздух (в зоне кипения шлака). Нижняя часть «тигля» не изменена. Структура образца равномерная, плотная, практически не измененная
3	10,6	9,2	Глубокая пропитка образца по всей контактной площади (10–15 мм), а также разъедание рабочей поверхности «тигля» на большую глубину (5–8 мм) как по матрице, так и по зернам. Произошло выплавление крупных зерен из структуры образцов, их стекание ко дну «тигля». Пропитанный слой пористый, с признаками кипения расплава. Неизмененная зона равномерная, плотная, с отдельными микротрещинами
4	0,3	0,4	Пропитки образца нет, на внутренней поверхности «тигля» имеется тонкий (до 0,1 мм) переходный оплавленный слой, не полностью покрывающий поверхность «тигля». Практически весь шлак остался в «тигле». Разъедание поверхности «тигля» до 1–3 мм по матрице наблюдается на трехфазной границе шлак – огнеупор – воздух в зоне кипения шлака. Структура образца равномерная, плотная, после плавки шлака практически не изменилась. Заметного перерождения зерен кварцита не наблюдается
5	10,4	3,4	Пропитка образца практически на всю глубину «тигля» (до 25 мм) по всей контактной поверхности со шлаком. Произошло разъедание стенок «тигля» по всей контактной поверхности по матрице образца. Крупные зерна на поверхности «тигля» частично вымыты из структуры. В зоне пропитки структура образца рыхлая, микротрещиноватая
6	9,7	4,2	Пропитка образца практически на всю глубину «тигля» (до 15 мм) по всей контактной поверхности со шлаком. Произошло разъедание стенок «тигля» на уровне плавления шлака по матрице образца на глубину 5–7 мм. Крупные зерна на поверхности «тигля» частично вымыты из структуры. В зоне пропитки структура образца рыхлая, микротрещиноватая
7	10,2	4,3	Пропитка образца на глубину до 10 мм по всей контактной поверхности со шлаком. Произошло разъедание стенок «тигля» на уровне плавления шлака как по матрице образца, так и по зернистой части на глубину до 5 мм. Крупные зерна на поверхности «тигля» частично вымыты из структуры и оплавлены. В зоне пропитки структура образца рыхлая, микротрещиноватая
8	9,1	2,4	Пропитка образца по всей контактной площади на глубину до 15 мм, а также разъедание рабочей поверхности «тигля» на уровне кипения шлака на глубину 4–7 мм как по матрице, так и частично по зернам. В зоне пропитки образец плотный, трещин нет, пропитка произошла по матрице
9	8,5	2,3	Пропитка образца по всей контактной площади «тигля» на глубину 8–12 мм, а также разъедание рабочей поверхности «тигля» на уровне кипения шлака на глубину 3–5 мм как по матрице, так и частично по зернам. Наиболее измененный слой на поверхности «тигля» пористый, со следами кипения расплава. Пропитанная зона плотная, прочная, трещин нет

делитокорундовых изделий, так как его плотность заметно выше плотности оксида хрома из-за присутствия в нем диоксида циркония, плотность которого 6,0 г/см³.

Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ образцов масс 2 и 4 (см. табл. 2) 16 МПа, что заметно выше, чем $\sigma_{сж}$ массы 1 (10 МПа). Только образец из массы 6 имеет предел прочности 17 МПа, т.е. примерно такой же величины, что и составы с использованием оксида хрома. Предел прочности при сжатии характеризует структуру материала по-

сле обжига и отражает характер связи между зернами шихты. Это особенно заметно проявилось в образцах 6 и 7, которые содержат одинаковую добавку боя баддеилитокорундовых изделий 10 мас. %, но разной дисперсности. В массу 6 добавка введена фракцией 0,5–0,088 мм, а в массу 7 — 0,5–1,0 мм, т.е. более крупной. Предел прочности образцов из масс 6 и 7 составляет 17 и 9 МПа соответственно. Это доказывает, что все добавки, как это и рекомендуется в технической нормативной документации, необходимо вводить

в виде зерен не крупнее 60 мкм. Технический оксид хрома (III), использованный в данной работе, является высокодисперсным материалом, размер зерен которого составляет в основном менее 2 мкм. Введение технического диоксида циркония (массы 8 и 9) и хромосодержащих отходов катализаторов (масса 3) не оказало заметного влияния на повышение предела прочности при сжатии, $\sigma_{сж}$ образцов из этих масс находится на уровне показателя контрольной массы. Результаты исследований шлакоустойчивости представлены на рисунке и в табл. 3.

Результаты петрографических исследований показывают, что наиболее устойчивыми к расплавленному шлаку являются образцы из масс 2 и 4, которые после испытания не пропитаны и не разъедены шлаком (см. табл. 3), в то время как контрольный образец 1 имел в аналогичных условиях площадь пропитки $12,4 \text{ см}^2$ и разъедания $4,7 \text{ см}^2$. С этими показателями связана глубина пропитки «тиглей» шлаком; у контрольного образца 1 она 10–15 мм с растворением материала на глубину 5–7 мм, в то время как образцы из масс 2 и 4 имели поверхностный оплавленный слой толщиной не более 1 мм. Отсутствие пропитки шлаком положительно отразилось на структуре материала «тигля»; за зоной оплавления (толщина ~1 мм) она осталась без изменения и сохранила все показатели на уровне исходной.

Остальные массы в контакте со шлаком показали примерно одинаковые результаты. Наблюдается растворение в шлаке сначала дисперсной части шихты, а затем крупной фракции кварцита, причем глубина растворения колеблется от 4–7 (у массы 8) до 8–12 мм (у массы 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью повышения коррозионной устойчивости кварцитов масс для футеровки индукционных печей против воздействия шлаков проведено легирование шихт оксидами хрома, циркония и вторичными материалами, содержащими эти оксиды.

Наиболее оптимальной добавкой из рассмотренных является диоксид хрома (III). Оптимальной концентрацией в шихте следует считать 3–5 % (масса 2) при следующем содержании компонентов, мас. %: кварцит фракции 3–1 мм 30, 1,0–0,5 20, 0,5–0,088 мм 25, < 0,088 мм 20, оксида хрома 3–5. Дальнейшее увеличение концентрации оксида хрома в шихте заметного улучшения физико-химических свойств и повышения шлакоустойчивости не обеспечивает (см. табл. 2).

Введение оксида хрома в кварцевую шихту способствует повышению прочности. Так, $\sigma_{сж}$ об-

разца контрольной массы 1 равна 10 МПа, массы с добавкой 5 % Cr_2O_3 — 16 МПа, что, несомненно, способствует изменению состава связки (стеклофазы в материале) в образцах, прочностные свойства которых при охлаждении изделий не снижаются, а наоборот — возрастают.

Открытая пористость образцов всех исследованных масс примерно одинаковая (23–26 %), что свидетельствует о близости их структур. Подобное отмечалось ранее другими исследователями и связано с полиморфизмом кварцита, разрыхление зерен которого выравнивает величину открытой пористости всех масс.

Добавку оксида хрома целесообразно вводить с тонкозернистой составляющей (<0,088 мм), так как эта фракция кварцита имеет наибольшую скорость растворения в шлаке; добавку следует тщательно перемешивать (распределять) как по объему дисперсной части, так и по всей шихте в целом.

Укрупнение добавки, как это показано на образцах масс 6 и 7, нецелесообразно, так как при этом снижается предел прочности при сжатии и увеличивается скорость взаимодействия материала со шлаком.

Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Индукционные массы из кварцитов Бобровского месторождения / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, И. С. Алямовская [и др.] // Новые огнеупоры. — 2010. — № 4. — С. 20–23.
2. **Кащеев, И. Д.** Кварциты Бобровского месторождения / И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, И. С. Алямовская [и др.] // Новые огнеупоры. — 2010. — № 5. — С. 11–14.
3. **Кайнарский, И. С.** Динас / И. С. Кайнарский. — М.: Металлургия, 1961. — 470 с.
4. **Стрелов, К. К.** Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К. К. Стрелов, И. Д. Кащеев. — М.: Металлургия, 1996. — 608 с.
5. Физико-химические свойства оксидов: справочник / под ред. Г. В. Самсонова. — М.: Металлургия, 1978. — 472 с.
6. **Торопов, Н. А.** Диаграммы состояния силикатных систем. Двойные системы: справочник / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин [и др.] / М.—Л.: Наука, 1965. — 546 с.
7. **Рябухин, А. И.** Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений / А. И. Рябухин, В. Г. Савельев. — М.: ИНФА-М, 2004. — 304 с.
8. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М.: Интернет Инжиниринг, 2007. — 752 с. ■

Получено 28.01.13

© И. Д. Кащеев, К. Г. Земляной, 2013 г.

Д. Т. Н. С. Я. Давыдов¹, Д. Т. Н. Н. П. Косарев¹, Д. Т. Н. Н. Г. Валиев¹,
К. Т. Н. Г. Н. Бездежский², Д. Т. Н. И. Д. Кашеев³, К. Т. Н. В. Н. Корюков³

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

² ООО «ИнКом Энергоцветмет», г. Екатеринбург, Россия

³ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

УДК 662.614:669.712

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИНОЗЕМНОЙ ПЫЛИ ПЕЧЕЙ КАЛЬЦИНАЦИИ ГИДРОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Показана возможность использования глиноземной пыли в технологии производства высококачественных огнеупорных изделий муллитокорундового и муллитового составов. Представлен расчет теплового баланса процесса кальцинации гидроксида алюминия в трубчатой вращающейся печи с выводом из оборота глиноземной пыли. Установлено, что при выводе глиноземной пыли электрофильтров из оборота расход топлива не увеличивается, однако при этом уменьшатся затраты электроэнергии на получение сжатого воздуха для транспортирования пыли.

Ключевые слова: глиноземная пыль, гидроксид алюминия, тепловой баланс, печь, пневмотранспорт.

В производстве глинозема заключительной операцией является кальцинация гидроксида алюминия, которая проводится с целью удаления влаги и получения безводного глинозема. Процесс осуществляют в печах различных конструкций: трубчатых вращающихся, «кипящего слоя» и циклонно-вихревых. При кальцинации гидроксида алюминия в печах образуется пыль. С отходящими газами пыль попадает в мультициклоны и электрофильтры, где улавливается и в настоящее время в основном возвращается в печь с исходным гидроксидом алюминия (см. рисунок, а).

С пылью в печь поступает некоторое количество тепла. Однако для возврата пыли расходуется дополнительно сжатый воздух, на нагрев которого затрачивается тепло. Кроме того, возвратная пыль в основном мелкодисперсный продукт и, следовательно, влияет на крупность товарного глинозема. В данной работе обоснована целесообразность вывода из технологической схемы части пыли из электрофильтров (см. рисунок, б).

В настоящее время на Богословском алюминиевом заводе (ОАО БАЗ – СУАЛ филиал ОАО СУАЛ) доля пыли электрофильтров в общей массе глинозема составляет от 7 до 14 %. В расчете принимаем, что эта доля составит 10 %. Исключение этой пыли из оборота позволит увеличить загрузку гидроксида алюминия примерно на 10 % и повысить производительность печей кальцинации [1–5].

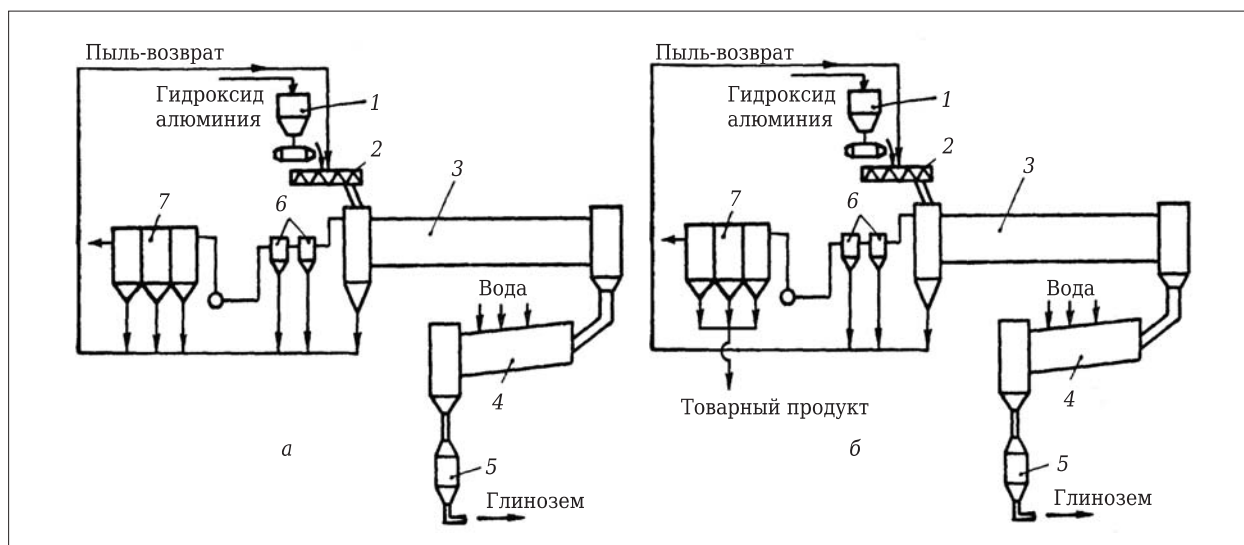
Исследования физико-химических и технологических свойств глиноземной пыли от электрофильтров цеха кальцинации Богословского алю-

миниевого завода и разработка технологии ее использования в цементной и огнеупорной промышленности выполнены ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет» и АО ОТ ВОСТИО [1, 6].

Гидроксид алюминия существует в природе в двух формах: тригидратоксида $\text{Al}(\text{OH})_3$ и моногидратоксида AlOOH . Каждая форма гидроксида алюминия имеет полиморфные кристаллические разновидности: тригидратоксид — гиббсит, байерит и нордстрандит, моногидратоксид — бёмит и диаспор.

При термическом разложении гидратоксидных форм глинозема за счет удаления гидроксильных групп и молекул воды в их кристаллических решетках появляются вакансии. В результате гидратации образуется материал, находящийся в «активном» состоянии и обладающий значительным запасом избыточной энергии. Залечивание вакансий в кристаллической решетке сопровождается фазовыми превращениями с перестройкой дефектной решетки, диффузией катиона алюминия и образованием более стабильных тетраэдрических или октаэдрических структур. Считают, что модификации оксида алюминия, образующиеся при термическом разложении гидроксидов алюминия, являются дискретными полиморфными фазами.

Рентгенофазовый анализ пробы пыли от электрофильтров ОАО БАЗ – СУАЛ показал, что она содержит большое количество $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ и незначительное количество $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и бёмита. Зерновой состав пыли представлен фракцией мельче 64 мкм, в том числе содержание фракции мельче 16 мкм



Аппаратурно-технологическая схема процесса кальцинации гидроксида алюминия по вариантам а и б: 1 — бункер; 2 — смесительный шнек; 3 — вращающаяся печь; 4 — холодильник; 5 — камерный насос; 6 — мультциклоны; 7 — электрофильтры

составляет почти 90 %. Зерновой состав высокоглиноземистого материала представлен ниже:

Размер частиц, мкм, менее . . .	1,0	1,5	2,0	3,0
Содержание, мас. %	6,8	8,2	10,8	14,0

α - Al_2O_3 и тонком помоле обожженного глинозема до фракции 60 мкм.

4,0	6,0	8,0	12,0	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0	64,0
23,2	48,3	67,5	85,2	88,2	91,2	93,7	94,1	99,5	100,0

Замена технического глинозема на глиноземную пыль в технологии производства высококачественных глиноземистых цементов Талюм и особочистого высокоглиноземистого цемента, выпускаемого опытным заводом НИИцемента (г. Подольск), позволяет улучшить технико-экономические показатели их производства. В этом случае не потребуется дополнительного помола, облегчается грануляция сырьевой муки, снижается температура обжига, уменьшается расход топлива.

При существующем дефиците технического глинозема глиноземная пыль является дополнительным источником высокоглиноземистого сырья для огнеупорной промышленности. Нами исследована возможность использования глиноземной пыли электрофильтров печей кальцинации глиноземного производства в качестве альтернативного источника высокоглиноземистого сырья для производства различных высокоглиноземистых изделий.

Технология получения высокоглиноземистых изделий по многоступенчатому способу, наиболее широко распространенному в нашей промышленности, подразумевает дополнительную переработку технического глинозема. Переработка заключается в дополнительном обжиге глинозема при температуре не ниже 1450 °С с выдержкой при конечной температуре 3–5 ч для получения

Ранее [1] были исследованы различные способы подготовки массы для получения высокоглиноземистого шамота с содержанием ≥ 68 и ≥ 80 % Al_2O_3 : смешивание глиноземной пыли и глины, использование предварительно молотой пыли с последующим смешиванием ее с глиной и совместный помол пыли и глины в шаровой мельнице в течение 2, 4 и 6 ч. Подготовленные массы брикетировали методом пластического формования, сушили и обжигали при 1500, 1550 и 1600 °С.

Высокоглиноземистый шамот для изготовления изделий должен характеризоваться водопоглощением не более 1,3 %. Исследование показало, что массы с добавкой 20 % глины с использованием немолотого глинозема и глинозема различной степени помола после обжига при 1550 °С имеют водопоглощение менее 1,3 % и значительную механическую прочность. Однако муллитобразование в массах завершалось только после обжига при 1600 °С. Некоторое уменьшение плотности образцов после обжига при 1600 °С почти не зависело от использования глиноземной пыли различной степени помола.

При изготовлении высокоглиноземистого шамота с содержанием 80 % Al_2O_3 опробованы два способа подготовки массы: 1 — с добавкой глинозема без предварительного помола и 1–2 — с добавкой глинозема, молотого в течение 2 ч. Массы имеют водопоглощение 0,6 и 0,4 %, одинаковую открытую пористость 0,9 % и очень высокую ме-

ханическую прочность. Предел прочности при сжатии составляет 285,9 и 226,6 МПа соответственно.

Исследование масс совместного помола показало, что массы муллитового и муллитокорундового составов спекаются лучше, чем массы с добавлением предварительно молотой глиноземной пыли; муллитобразование во всех массах идет при 1600 °С, о чем свидетельствует уменьшение кажущейся плотности $\rho_{\text{каж}}$, ее величина значительно больше, чем для масс без совместного помола. Так, уменьшение $\rho_{\text{каж}}$ масс с 20 % Al_2O_3 достигает 9 %, масс с 62 % Al_2O_3 13,4 %. Это указывает на то, что муллитобразование в этих массах идет лучше; для совместного помола всех масс достаточно продолжительности 2 ч.

Из выбранных масс были получены высокоглиноземистые изделия методом полусухого прессования. Свойства образцов после сушки и обжига представлены в табл. 1. Полученные в результате исследования образцы муллитокорундового (составы 1, 1–2) и муллитового составов (состав 2–2) по физико-керамическим показателям соответствуют изделиям муллитокорундовым и муллитовым общего назначения по ТУ 14-8-556–87.

Проведенным исследованием использования глиноземной пыли, уловленной электрофилтрами в технологии муллитокорундовых (не менее 72 % Al_2O_3) и муллитовых (не менее 62 % Al_2O_3) изделий установлено:

- тонкодисперсный глиноземсодержащий материал (пыль) можно использовать при изготовлении муллитокорундовых изделий без предварительного помола, поскольку полученные изделия (с содержанием не менее 72 % Al_2O_3) по физико-керамическим и термомеханическим показателям соответствуют выпускаемым промышленностью;

- изделия муллитового состава можно изготавливать с использованием шамота, полученного совместным помолом глины и глиноземсодержащей пыли; полученные изделия по своим свойствам аналогичны выпускаемым промышленностью.

Дальнейшие физико-химические и технологические исследования пыли печей кальцинации глинозема позволили установить [4–7], что пыль имеет достаточно высокое содержание Al_2O_3 , необходимые химический, фазовый и дисперсный составы, а также хорошую спекаемость при введении добавок, чтобы служить сырьем для керамической, огнеупорной и абразивной промышленности.

С учетом указанных недостатков и преимуществ исследуемой глиноземной пыли, принимая во внимание также ее более низкие цены по сравнению со специально выпускаемыми марками глинозема, можно ожидать наиболее вероятные области ее применения в ряде производств: высокоглиноземистого цемента, плавящихся огнеупорных материалов (корунда, муллита, шпинели), алюмосиликатного волокна, алюмофосфатных связок и алюмогелей; теплоизоляционных и высокоглиноземистых огнеупоров. Возможны и другие области применения глиноземной пыли, например в производстве пигментов (красок), полимерных композиционных материалов и др.

Глиноземная пыль востребована для производства огнеупорных и вяжущих материалов на Подольском опытном заводе НИИцемента, Подольском, Семилукском, Боровичском, Восточно-Сибирском, Богдановичском огнеупорных заводах и других предприятиях.

В связи с отбором части глиноземной пыли и увеличением загрузки гидроксида алюминия во вращающуюся печь проведен расчет тепловых и энергетических затрат баланса печи при кальцинации.

Для подачи глиноземной пыли электрофилтров в печь с помощью двух пневмоподъемников расходуется 900 м³/ч* так называемого неорганизованного воздуха на одну печь (по данным ОАО БАЗ-СУАЛ), который, имея температуру 180 °С, нагревается до 250 °С — температуры отходящих газов. На нагрев затрачивается часть тепла, поэтому при исключении подачи пыли от электрофилтров в печь затрат энергии на ввод неорганизованного воздуха и дополнительного расхода те-

* Здесь и далее при нормальных условиях.

Таблица 1. Свойства муллитовых и муллитокорундовых образцов

Масса	После сушки		После обжига при 1500 °С (выдержка 2 ч)				
	кажущаяся плотность, г/см ³	открытая пористость, %	линейная усадка, %	водопоглощение, %	кажущаяся плотность, г/см ³	открытая пористость, %	предел прочности при сжатии, МПа
1	2,72	18,1	0,6	5,7	2,78	15,9	84,2
1–2	2,78	15,7	0,5	4,9	2,76	17,3	67,5
2–2	2,43	17,2	0,5	5,6	2,38	19,3	43,8

пла будет меньше. В результате появляется возможность увеличить разрежение во вращающейся печи и ее тепловую нагрузку. Необходимо также учитывать возрастающую крупность глинозема в связи с выводом мелкокристаллической пыли электрофильтров.

Ниже приведены два варианта теплового баланса процесса кальцинации [1], различающихся вводом и выводом оборотной глиноземной пыли.

Тепловой баланс процесса кальцинации гидроксида алюминия в трубчатой вращающейся печи с холодильником «кипящего слоя» с использованием оборотной пыли (1-й вариант)

Расчет произведен на 1 кг глинозема.

Приход тепла

1. Химическое тепло при сгорании топлива

$$Q_1 = H_T Q_H^p = 33278,7 H_T \text{ кДж},$$

где H_T — удельный расход топлива на процесс кальцинации (искомая величина), $\text{м}^3/\text{кг}$; Q_H^p — низшая теплотворная способность топлива, $\text{кДж}/\text{м}^3$.

2. Физическое тепло топлива

$$Q_2 = H_T C_T t_T = H_T \cdot 1,553 \cdot 4,7 = 7,299 H_T \text{ кДж}$$

где C_T — средняя теплоемкость топлива, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$; t_T — средняя температура топлива, $^\circ\text{C}$.

3. Тепло гидроксида алюминия

$$Q_3 = G_m C_m t_m = 1,53 \cdot 1,18 \cdot 40 = 72,216 \text{ кДж},$$

где G_m — количество сухого гидроксида, загружаемого в печь, кг; C_m — средняя теплоемкость гидроксида алюминия, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; t_m — средняя температура гидроксида алюминия, $^\circ\text{C}$.

4. Тепло гигроскопической воды в гидроксиде алюминия

$$Q_4 = G_{г.вл} C_{г.вл} t_{г.вл} = 0,157 \cdot 4,186 \cdot 40 = 26,288 \text{ кДж},$$

где $G_{г.вл}$ — количество гигроскопической воды в гидроксиде алюминия, кг,

$$G_{г.вл} = (1,53 \cdot \%H_2O) / (100 - \%H_2O) = (1,53 \cdot 9,3) / (100 - 9,3) = 0,157,$$

где $\%H_2O$ — средняя влажность гидроксида алюминия; $C_{г.вл}$ — средняя теплоемкость воды, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{г.вл}$ — температура внешней влаги, $^\circ\text{C}$.

5. Теплосодержание воздуха, поступающего в печь при сжигании топлива,

$$Q_5 = \alpha V_T^B H_T (C_{перв}^B t_{перв}^B \cdot \%V_{перв} + C_{подс}^B t_{подс}^B \cdot \%V_{подс}) = 1,17 \cdot 9,5 \cdot H_T (1,327 \cdot 412 \cdot 0,643 + 1,297 \cdot 20 \cdot 0,357) = 4010,325 H_T, \text{ кДж},$$

где α — коэффициент избытка воздуха; V_T^B — удельное количество воздуха, теоретически необходимого для сжигания топлива, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $\%V_{перв}$ — содержание в общем объеме первичного воздуха, поступающего в печь на горение топлива, воздуха из холодильника (фактические замеры); $\%V_{подс}$ — доля воздуха от общего его количества, поступающего на горение топлива (подсасываемого через неплотности в горячей головке печи из окружающей среды), определяется по разнице общего количества воздуха и воздуха из холодильника; $C_{перв}^B, t_{перв}^B, C_{подс}^B, t_{подс}^B$ — средние теплоемкости и температуры первичного и подсасываемого воздуха соответственно.

$$\alpha = N_2 / (N_2 - 3,762 O_2) = \{100 - (CO_2 + O_2)\} / \{100 - (CO_2 + O_2) - 3,762 O_2\} = \{100 - (6,4 + 3,5)\} / \{100 - 9,9 - 3,762 \cdot 3,5\} = 1,17,$$

где O_2 — содержание кислорода в отходящих газах из печи, %; $N_2 = 100 - (CO_2 + O_2)$ — содержание азота в отходящих газах, %; CO_2 — содержание диоксида углерода в отходящих газах, %.

$$V_T^B = V_{O_2} / 0,21 = 1,991 / 0,21 = 9,5 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где V_{O_2} — объем кислорода воздуха, необходимого для сжигания 1 м^3 газа; 0,21 — объемная доля O_2 в воздухе.

$$V_{O_2} = 0,01(2CH_4 + 3,5C_2H_6 + 5C_3H_8) = 0,01(2 \cdot 98,81 + 3,5 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,06) = 1,991 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где CH_4, C_2H_6 — содержание в топливе соответствующих компонентов, %.

6. Тепло оборотной пыли

$$Q_6 = G_{об.п} C_{об.п} t_{об.п} = 2,05 \cdot 1,214 \cdot 180 = 447,966 \text{ кДж},$$

где $G_{об.п}$ — количество оборотной пыли, кг; $C_{об.п}$ — средняя теплоемкость оборотной пыли, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{об.п}$ — средняя температура оборотной пыли, $^\circ\text{C}$.

7. Тепло экзотермических реакций

$$Q_7 = 320,229 \alpha = 320,229 \cdot 0,25 = 80,057 \text{ кДж}/\text{кг } Al_2O_3,$$

где 320,229 $\text{кДж}/\text{кг } Al_2O_3$ — тепловой эффект реакции перекристаллизации $\gamma-Al_2O_3$ в $\alpha-Al_2O_3$; 0,25 — доля $\alpha-Al_2O_3$ в глиноземе.

8. Тепло неорганизованного воздуха

$$Q_8 = G_{неорг}^B C_{неорг}^B t_{неорг}^B.$$

Количество неорганизованного воздуха (по данным БАЗ — СУАЛ), подаваемого вместе с пылью электрофильтров в печь, составляет 900 $\text{м}^3/\text{ч}$. Рассчитаем количество этого воздуха на 1 кг глинозема. Производительность печи составляет 20 т/ч, тогда на 1 кг глинозема приходится $900/20000 = 0,045 \text{ м}^3$ воздуха.

$$Q_8 = 0,045 \cdot 1,327 \cdot 180 = 10,748 \text{ кДж.}$$

Итого приход тепла:

$$\begin{aligned} Q_{\text{прих}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 = \\ &= 33278,7H_T + 7,299H_T + 72,216 + 26,288 + \\ &+ 4010,325H_T + 447,966 + 80,057 + 10,748 = \\ &= 37296,324H_T + 637,275 \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

Расход тепла

1. С прокаленным глиноземом

$$Q_1 = 1,0C_{\text{гл}}t_{\text{гл}} = 1,0 \cdot 1,122 \cdot 1000 = 1122,0 \text{ кДж,}$$

где $C_{\text{гл}}$ — средняя теплоемкость глинозема при данной температуре, кДж/(кг·°C); $t_{\text{гл}}$ — температура глинозема на выходе из барабана печи, °C.

2. С продуктами сгорания

$$Q_2 = V_d C_d t_d H_T = [12,098 + 9,5(1,17 - 1)] \cdot H_T \cdot 250 \times 1,394 = 4778,98H_T, \text{ кДж,}$$

где V_d — удельное количество отходящих газов, м³/м³,

$$V_d = V_d^0 t_d V_t^0 (\alpha - 1,0);$$

C_d — средняя теплоемкость отходящих газов, кДж/(кг·°C); t_d — средняя температура отходящих газов (из практики), °C; V_d^0 — теоретическое количество отходящих газов, образующихся при сжигании 1 м³ газа,

$$V_d^0 = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_{2\text{изб}}},$$

где $V_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}}$ — теоретические объемы продуктов сгорания газа при сжигании 1 м³ природного газа, м³/м³; V_{N_2} — объем азота, поступающего с воздухом на сжигание 1 м³ природного газа с учетом коэффициента избытка, м³/м³; $V_{\text{O}_{2\text{изб}}}$ — избыток кислорода, поступающего с воздухом на сжигание 1 м³ природного газа, м³/м³; $V_{\text{O}_{2\text{изб}}} = \text{O}_2(\alpha - 1)$.

$$\begin{aligned} V_{\text{CO}_2} &= 0,01(\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + 2\text{C}_2\text{H}_6 + 3\text{C}_3\text{H}_8) = \\ &= 0,01(0,01 + 98,81 + 2 \cdot 0,35 + 3 \cdot 0,06) = \\ &= 0,997 = 1 \text{ м}^3/\text{м}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{H}_2\text{O}} &= 0,01(2\text{CH}_4 + 3\text{C}_2\text{H}_6 + 4\text{C}_3\text{H}_8) = \\ &= 0,01(2 \cdot 98,81 + 3 \cdot 0,35 + 4 \cdot 0,06) = \\ &= 1,989 = 1,99 \text{ м}^3/\text{м}^3. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{N}_2} &= 0,01\text{N}_2 + \alpha K V_{\text{O}_2} = 0,01 \cdot 0,77 + 1,17 \cdot 3,76 \cdot V_{\text{O}_2} = \\ &= 0,01 \cdot 0,77 + 1,17 \cdot 3,76 \cdot 1,991 = 8,767 \text{ м}^3/\text{м}^3. \end{aligned}$$

$$V_{\text{O}_{2\text{изб}}} = (1,17 - 1) \cdot 1,991 = 0,34.$$

$$V_d^0 = 1,0 + 1,991 + 8,767 + 0,34 = 12,098 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

3. Тепло на реакцию дегидратации гидроксида алюминия и на образование $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$:

$$Q_3 = 249,07 + 467,16 = 716,23 \text{ кДж/кг.}$$

4. Тепло на испарение влаги

$$Q_4 = (G_{\text{г.вл}} + G_{\text{кр.вл}}) \cdot 595 = (0,157 + 0,53) \cdot 2490,67 = 1711,09 \text{ кДж,}$$

где $G_{\text{г.вл}}$ — количество гигроскопической воды в гидроксиде алюминия, кг,

$$\begin{aligned} G_{\text{г.вл}} &= 1,53 \cdot \% \text{H}_2\text{O} / (100 - \% \text{H}_2\text{O}) = \\ &= 1,53 \cdot 9,3 / (100 - 9,3) = 0,157; \end{aligned}$$

$G_{\text{кр.вл}}$ — количество кристаллизационной воды в гидроксиде алюминия, кг,

$$G_{\text{кр.вл}} = 3 \cdot 18 / 102 = 0,53.$$

5. Тепло на нагрев водяных паров до температуры отходящих газов

$$\begin{aligned} Q_5 &= (G_{\text{г.вл}} + G_{\text{кр.вл}}) t_{\text{вл}} C_{\text{вл}} / 0,804 = \\ &= (0,157 + 0,53) \cdot 250 \cdot 1,53 = 326,84 \text{ кДж/кг,} \end{aligned}$$

где $t_{\text{вл}}$ — средняя температура водяного пара (по температуре отходящих газов), °C; $C_{\text{вл}}$ — средняя теплоемкость водяного пара, кДж/(м³·°C); 0,804 — плотность водяного пара, кг/м³.

6. Тепло с пылью в отходящих газах

$$Q_6 = G_{\text{об.п}} t_{\text{об.п}} C_{\text{об.п}} = 2,05 \cdot 250 \cdot 1,27 = 650,88 \text{ кДж/кг.}$$

7. Теплопотери в окружающую среду поверхностью барабана печи (7 % от прихода тепла)

$$\begin{aligned} Q_7 &= 0,07(37296,324H_T + 637,275) = \\ &= 2610,74H_T + 44,61, \text{ кДж/кг.} \end{aligned}$$

8. Тепло от недожога газа

$$Q_8 = \beta H_T Q_H^0 = 0,02H_T \cdot 33278,7 = 665,57H_T, \text{ кДж,}$$

где β — коэффициент, определяющий потери тепла от недожога топлива (2 % от химически сгоревшего топлива).

9. Тепло на нагрев неорганизованного воздуха до температуры отходящих газов (250 °C)

$$\begin{aligned} Q_9 &= C_{\text{неорг}}^B \Delta t_{\text{неорг}}^B G_{\text{неорг}}^B = 1,327(250 - 180) \cdot 0,045 = \\ &= 4,18 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Итого расход тепла

$$\begin{aligned} Q_{\text{расх}} &= 1122,0 + 4778,98H_T + 716,23 + 1711,09 + \\ &+ 326,84 + 650,88 + 2610,74H_T + 44,61 + 665,57H_T + \\ &+ 4,18 = 8055,26H_T + 4575,83 \text{ кДж.} \end{aligned}$$

Тогда из уравнения теплового баланса $Q_{\text{прих}} = Q_{\text{расх}}$

$$Q_{\text{прих}} = 37296,32H_T + 637,275;$$

$$Q_{\text{расх}} = 8055,26H_T + 4575,83$$

имеем

$$37296,32H_T - 8055,26H_T = 4575,83 - 637,27,$$

$$29241,06H_T = 3938,56,$$

$$H_T = 0,1347 \text{ м}^3/\text{кг},$$

или $0,1347 \cdot 7950/7000 = 0,1529$ кг условного топлива тратится на получение 1 кг глинозема.

Тепловой баланс процесса кальцинации гидроксида алюминия в трубчатой вращающейся печи с холодильником «кипящего слоя» с выводом пыли электрофильтров из оборота (2-й вариант)

В приходной части баланса изменится статья 6 и исчезнет статья 8, в расходной части исчезнет статья 9. Количество оборотной пыли уменьшится на 10 % и составит $2,05 - 2,05 \cdot 0,1 = 1,845$ кг.

Статья 8 из приходной части и статья 9 из расходной части исчезнут, так как в печь не будут по-

даваться пыль от электрофильтров и дополнительный воздух. Все остальные статьи теплового баланса останутся без изменения.

Приход тепла

6. Тепло оборотной пыли

$$Q_6 = G_{об.п} C_{об.п} t_{об.п} = 1,845 \cdot 1,214 \cdot 180 = 403,16 \text{ кДж}.$$

Тогда приход тепла составит:

$$\begin{aligned} Q_{пр} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 = \\ &= 33278,7H_T + 7,299H_T + 72,216 + 26,288 + \\ &+ 10,325H_T + 403,16 + 80,057 = 37296,324H_T + \\ &+ 581,72 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Расход тепла

$$\begin{aligned} Q_{расх}^* &= Q_{расх} - Q_9 = 8055,26H_T + 4575,83 - 4,18 = \\ &= 8055,26H_T + 4571,65 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Таблица 2. Тепловой баланс процесса кальцинации гидроксида алюминия в трубчатой вращающейся печи

Статья	Вариант	
	с оборотом пыли отходящих газов	с выводом пыли от электрофильтров из оборота
<i>Приход тепла, кДж</i>		
1. Тепло от сгорания топлива Q_1	$33278,700H_T$	$33278,700H_T$
2. Физическое тепло топлива Q_2	$7,299H_T$	$7,299H_T$
3. Тепло гидроксида алюминия Q_3	72,216	72,216
4. Тепло гигроскопической воды гидроксида алюминия Q_4	26,288	26,288
5. Теплосодержание воздуха, подаваемого в печь для сжигания топлива, Q_5	$4010,325H_T$	$4010,325H_T$
6. Тепло оборотной пыли Q_6	447,966	403,160
7. Тепло экзотермических реакций Q_7	80,057	80,057
8. Тепло дополнительного (неорганизованного) воздуха Q_8	10,748	—
Итого приход тепла	$37296,324H_T + 637,275$	$37296,324H_T + 581,720$
<i>Расход тепла, кДж</i>		
1. С прокаленным глиноземом Q_1	1122,000	1122,000
2. С продуктами горения Q_2	$4778,98H_T$	$4778,98H_T$
3. Тепло на реакцию дегидратации гидроксида алюминия и на образование $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ Q_3	716,230	716,230
4. Тепло на испарение влаги Q_4	1711,090	1711,090
5. Тепло на нагрев водяных паров до температуры отходящих газов Q_5	326,840	326,840
6. Тепло с пылью в отходящих газах Q_6	650,880	650,880
7. Теплотери поверхностью барабана печи (7 % от прихода тепла) Q_7	44,640	44,640
8. Теплотери от недожога газа Q_8	$665,570H_T$	$665,570H_T$
9. Тепло на нагрев дополнительного (неорганизованного) воздуха до температуры отходящих газов (250 °C) Q_9	4,18	—
Итого расход тепла $Q_{расх}$	$8055,26H_T + 4575,83$	$8055,26H_T + 4571,65$
Тепловой баланс $Q_{прих} = Q_{расх}$	$8055,26H_T + 4575,83$	$8055,26H_T + 4571,65$
Удельный расход топлива на 1 кг глинозема H_T , м ³ /кг	0,1347 (0,1529 кг условного топлива)	0,1364 (0,1549 кг условного топлива)

Окончательный вид уравнения теплового баланса будет следующим:

$$37296,32H_T + 581,72 = 8055,26H_T + 4571,65,$$

$$37296,32H_T - 8055,26H_T = 4571,65 - 581,72,$$

$$29241,06H_T = 3989,93,$$

$$H_T = 3989,93/29241,06 = 0,1364 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Таким образом, в 1-м варианте $H_T = 0,1347 \text{ м}^3/\text{кг Al}_2\text{O}_3$, или $0,1529 \text{ кг условного топлива/кг Al}_2\text{O}_3$, а во 2-м варианте $H_T = 0,1364 \text{ м}^3/\text{кг Al}_2\text{O}_3$, или $0,1549 \text{ кг условного топлива/кг Al}_2\text{O}_3$. Следовательно, в варианте с выводом пыли электрофильтров из общей массы расход топлива практически не изменится. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выводе пыли из оборота при производстве глинозема исключаются затраты на подачу и нагрев дополнительного воздуха, что позволит увеличить разрежение в печи и ее тепловую нагрузку. Полное исключение из оборота мелкодисперсной пыли электрофильтров позволит несколько увеличить крупность глинозема, что благоприятно повлияет на процесс электролиза. Расчет теплового баланса печи кальцинации показал, что расход топлива при прокаливании 1 т глинозема практически не изменится. В тепловом балансе уменьшится статья прихода тепла за счет изъятия пыли электрофильтров, однако расхода тепла на нагрев воздуха с этой пылью от 180 до 250 °С не будет.

На Богословском алюминиевом заводе пыль электрофильтров стали подавать в последнюю секцию холодильника «кипящего слоя», что позволило несколько увеличить производительность агрегата кальцинации по готовому глинозему. Однако при этом в глинозем попадают примеси из пыли, что нежелательно. В связи с этим пыль электрофильтров рекомендуется использовать для производства огнеупоров, что расширит номенклатуру товарной продукции. Проведенные исследования в этом направлении показали целесообразность такого варианта.

Таким образом, вывод пыли электрофильтров из оборота при производстве глинозема позволит

сократить расход энергии на ввод и нагрев дополнительного сжатого воздуха, увеличив при этом разрежение в печи и ее полезную тепловую нагрузку; получить более крупный глинозем; расширить ассортимент продукции для нужд завода и других потребителей.

Библиографический список

1. Выбор оборудования для перемещения и складирования глиноземной пыли и разработка технологии ее утилизации : отчет о НИР / ООИ «ВЕРА» – ОАО «БАЗ-СУАЛ» ; рук. работы С. Я. Давыдов. — Екатеринбург, 2000. — 154 с.
2. **Давыдов, С. Я.** Вращающиеся печи предприятий строительных материалов : учеб. пособие / С. Я. Давыдов, В. А. Пьячев, И. Д. Кащеев // Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. — 352 с.
3. **Завадский, К. Ф.** Увеличение производительности кальцинации гидроксида алюминия / К. Ф. Завадский, А. А. Рукомойкин, С. Я. Давыдов [и др.] // VI региональная научно-практическая конференция «Алюминий Урала-2001». Краснотурьинск : ОАО БАЗ, 2001. — С. 85, 86.
4. **Сысоев, А. В.** Увеличение производительности кальцинации гидроксида алюминия / А. В. Сысоев, А. Н. Аминов, К. Ф. Завадский [и др.] // Тр. Межд. конгресса «300 лет уральской металлургии» (секция «Производство алюминия и изделий из него»). — Екатеринбург – Каменск-Уральский, 4 октября 2001 г. — С. 45.
5. **Давыдов, С. Я.** Использование кипящего слоя для энергосберегающего пневмоподъема мелкодисперсной пыли / С. Я. Давыдов // Новые огнеупоры. — 2012. — № 8. — С. 17–22.
6. **Каменских, В. А.** Получение высокоглиноземистого шамота на основе пыли электрофильтров печей кальцинации глиноземного производства / В. А. Каменских, С. Я. Давыдов, К. Г. Земляной, М. В. Денисова // Тр. Межд. конгресса «300 лет уральской металлургии». — Екатеринбург, 2001. — С. 264–265.
7. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов : исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2007. — 317 с. ■

Получено 29.01.13

© С. Я. Давыдов, Н. П. Косарев, Н. Г. Валиев,
Г. Н. Бездежский, И. Д. Кащеев,
В. Н. Корюков, 2013 г.

К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹, И. Г. Маряев², А. А. Платонов²

¹ ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

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

УДК 666.762.32.017:620.193.93;66.041.57

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШЛАКО- И КЛИНКЕРОУСТОЙЧИВОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

В ООО «Группа «Магнезит» разработано оборудование и внедрен новый метод испытания шлако- и клинкероустойчивости огнеупорных изделий на высокотемпературной установке барабанного типа. Метод позволяет дать объективную оценку эффективности применения огнеупоров в качестве футеровочного материала для тепловых агрегатов.

Ключевые слова: огнеупоры, шлакоустойчивость, клинкероустойчивость, динамический метод испытаний, вращающаяся печь барабанного типа.

Износостойчивость футеровки вращающихся печей зависит от многих факторов: состава и структуры используемых огнеупоров, конструкции и качества кладки, геометрических размеров печи, технологических и теплотехнических режимов ее работы, состава обжигаемой шихты, образования и сохранения защитной обмазки (гарнисажа) [1]. Оценку влияния некоторых факторов, таких как, например, особенности конструкции печи, ее геометрические размеры и качество кладки, можно провести заранее или свести их негативное воздействие к минимуму за счет оптимизации режима работы печи [2]. Оценку других факторов (интенсивность образования гарнисажа и химическую коррозию огнеупоров), имея только «гостированные» данные физико-механических показателей огнеупоров (химический состав — основные оксиды, открытая пористость, предел прочности при сжатии при комнатной температуре, температура начала размягчения, термостойкость, остаточные изменения размеров при 1600 °С), можно провести только ориентировочно и не всегда точно. Поэтому была поставлена и решена задача по разработке нового метода для оценки служебных показателей огнеупоров еще до их использования у потребителя. Прототипами разрабатываемой методики являются «Rotary kiln test» (www.difk.de) и американский стандарт [3].

Для оценки характера взаимодействия огнеупоров с шихтами вращающихся печей в ООО «Группа «Магнезит» разработан и внедрен новый метод исследования клинкеро- и шлакоустойчивости огнеупорных материалов. Испытания проводятся в лабораторной вращающейся печи, оборудованной кислородно-газовой горелкой, обеспечивающей нагрев до 1700 °С. Печь состоит из

двух частей цилиндрической формы: стационарно закрепленного на направляющих роликах холодильника и съемной части, предназначенной для установки испытуемого тигля. Холодильник подключен через цепную передачу к электродвигателю, позволяющему плавно менять частоту вращения печи в достаточно широком диапазоне — от 0,2 до 7 об/мин. Внутренний объем холодильника футерован теплоизоляционными изделиями и имеет центральное отверстие диаметром 50 мм для выброса отработанных газов и ввода термопреобразователя. Термопара — платино-родиевая, подключенный к ней контроллер температур автоматически записывает температурные режимы проведения испытаний. Регулирование скорости нагрева и поддержание стационарных режимов работы осуществляются в ручном режиме.

Внутренний объем печи позволяет провести установку тигля, состоящего из 12 образцов. Из предоставленных на испытания изделий изготавливают образцы трапециевидальной формы размерами 230×(78/57)×40 мм. Далее из исследуемых образцов монтируется общий тигель, состоящий из 12 сегментов. Швы в тигле заполняют мертелем или собирают его насухо, высушивают при 110 °С в сушильном шкафу до постоянной массы. В каждом тигле обязательно используется один стандартный образец, принятый в качестве эталона (определенная марка изделия, отобранная от одной партии в большом количестве). Данные по клинкероустойчивости стандартного изделия используют для получения возможности сопоставления результатов различных испытаний.

Перед проведением испытания устанавливают тигель в съемную часть лабораторной печи, внутри на металлическом кожухе печи размеща-



Рис. 1. Печь в режиме разогрева, регулировка интенсивности работы газовой горелки

ется асбестовый лист, оставшееся пространство между стенкой печи и испытуемыми образцами заполняется огнеупорной массой. На торцевых концах печи помещают блоки из периклазохроми- тового бетона, фиксирующие огнеупорный набор- ный тигель. Объем внутреннего пространства печи после завершения футеровочных работ со- ставляет 7 дм³. В полностью собранную печь уста-

навливают термопару, к рабочему каналу печи подводят газовую горелку (рис. 1). Первоначаль- но производят непрерывный плавный разогрев печи до рабочих температур 1500–1700 °С, ско- рость подъема температуры 10–15 °С/мин. После достижения требуемых температур осуществляют порционную загрузку клинкерного материала. Масса одновременно введенного клинкера 0,3–1,0 кг. Выдержка печи при рабочей темпера- туре после каждой стадии загрузки составляет 30 мин. После завершения стадий введения клин- кера производят несколько циклов с резким пони- жением и повышением температуры для модели- рования процессов получения огнеупорами тер- мических ударов. После завершения испытаний печь самопроизвольно охлаждается до 60–50 °С, затем наборный тигель извлекают из печи и раз- бирают на отдельные образцы (рис. 2).

Методика в настоящее время отработана для оценки клинкероустойчивости огнеупорных изде- лий цементных марок как периклазошпинельно- го, так и периклазохромитового состава, в том числе и на воспроизводимость. По разработанной методике выполнено тестирование на клинкеро- устойчивость изделий в первую очередь произ-



Рис. 2. Образцы изделий после испытания и разборки тигля

водства ООО «Группа «Мagneзит» к цементному клинкеру ЗАО «Катавский цемент».

Условия проведения испытаний: рабочая температура 1700 °С, частота вращения печи 5 об/мин,

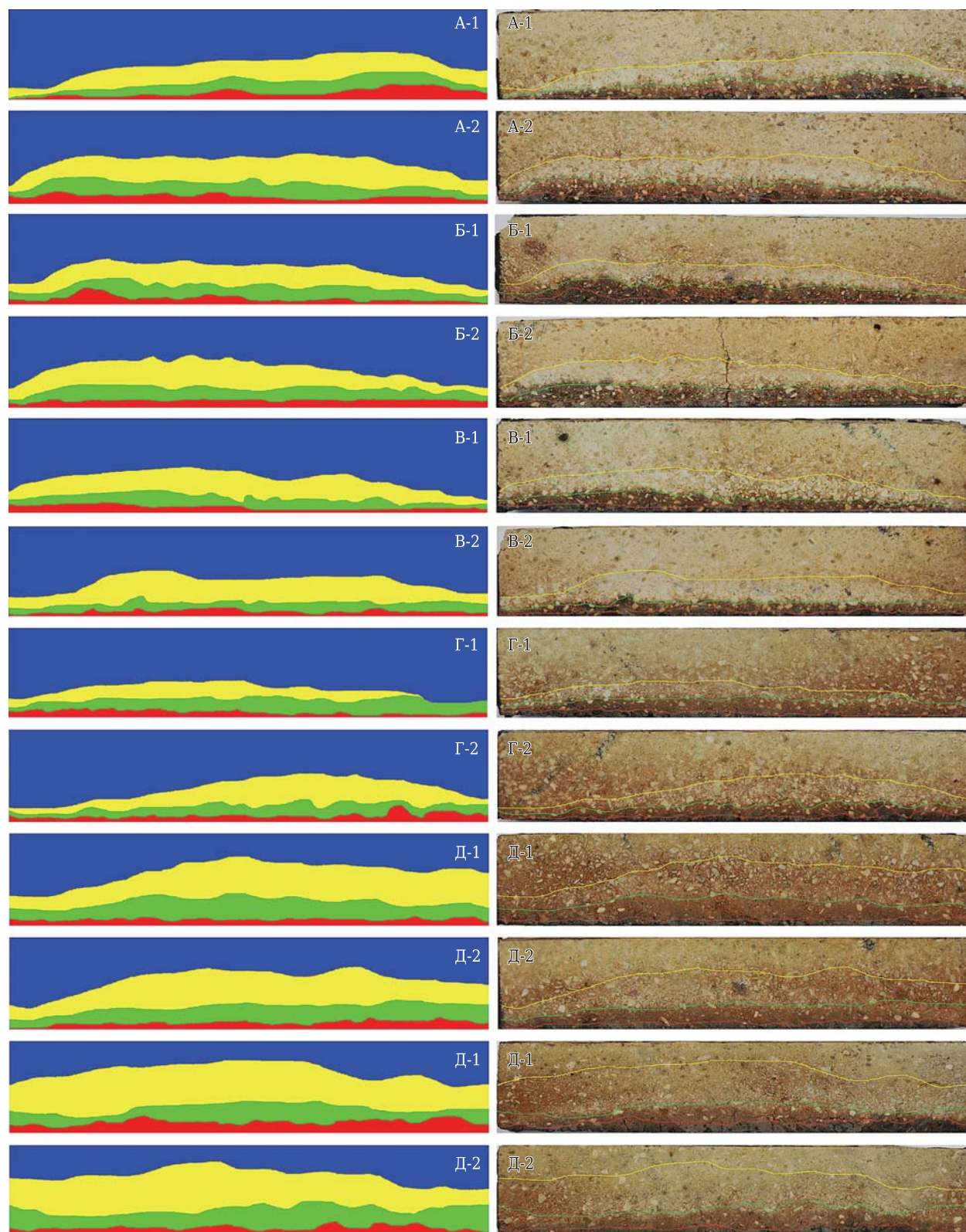


Рис. 3. Внешний вид распилов изделий после проведения теста на устойчивость к клинкеру ЗАО «Катавский цемент», а также определения площади зональной пропитки: ■ — рабочая зона пропитки ларнитом и браунмиллеритом; ■ — горячая зона пропитки алюминатом кальция и ларнитом; ■ — переходная зона пропитки ларнитом и алюмосиликатами, образование калиевого β -глинозема; ■ — холодная (наименее измененная) зона

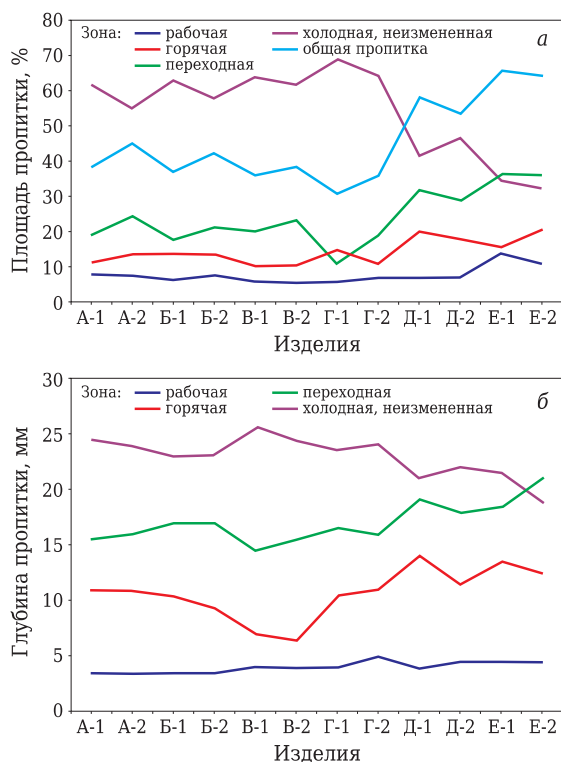


Рис. 4. Площадь (а) и глубина (б) пропитки изделий по зонам, а также площадь и толщина холодной зоны

пятикратное термоциклирование 1700 – 1000 – 1700 °С после проведения последней загрузки клинкера. Длительность испытания 14 ч. Клинкер для испытания — сырьевая мука ЗАО «Катавский цемент» и сульфат калия, смешанные в соотношении 8:2 (8 частей сырьевой муки и 2 части K_2SO_4) и упакованные в брикеты по 100 г. Общая масса клинкера 3 кг. В качестве исследуемых образцов выступали изделия для цементных вращающихся печей шести различных марок. Из изделий одной марки изготавливали и устанавливали по два образца в положение один против другого. Каждое изделие, прошедшее испытание, по длине распиливали алмазной пилой на две половины (рис. 3). Поверхность распила фотографировали для дальнейшей оценки площади образующейся зональности (рис. 4). Из одной половинки образца изготавливали аншлиф для исследований степени перерождения внутренней структуры изделия. Интенсивность пропитки огнеупора реагентами, формирующимися в печи (жидкими и газообразными), в сочетании с процессами образования новых фаз и коррозии исходных компонентов огнеупора рассматривается как первая стадия процесса износа огнеупора в службе. Процесс представляет также интерес для оценки условий формирования обмазки (гарнисажа). Площади пропитки определяли на цифровых фотографиях с помощью программ обработки изображений.

Глубину пропитки оценивали на электронном микроскопе. С помощью энергодисперсионного анализатора определяли химический состав холодной наименее измененной зоны, а также границы изменения состава пропитки (см. таблицу). Исследование огнеупоров, проведенное на растровом электронном микроскопе, показало, что все образцы имеют близкий механизм взаимодействия клинкера с огнеупором. Следует отметить наличие интенсивной пропитки порового пространства изделий клинкерным материалом, частичную коррозию зерен алюмомagneзиальной шпинели на глубину до 5 мм, образование вторичных силикатов в изделиях некоторых марок. По составу пропитки можно выделить четыре зоны различного состава, диагностируемых даже визуально:

- рабочую зону черного цвета, которая начинается непосредственно от рабочей поверхности, контактирующей с налипшим на нее гарнисажем, и имеет глубину до 15 мм; в поровом пространстве диагностируются ларнит и браунмиллерит, в малой степени — алюминаты кальция;

- горячую зону темно-коричневого цвета, которая следует за черной зоной. Четкого разделения зон на контакте нет. В пропитке этой зоны наблюдается большое количество алюминатов кальция, содержание силиката кальция незначительно, браунмиллерит отсутствует (мощность зоны зависит от марки изделия);

- переходную зону от бело-серого до светло-бежевого цвета, которая следует за коричневой зоной. Контакт зон достаточно четкий, визуально выделяется хорошо. Зона содержит в основном ларнит и в меньшем количестве алюминаты кальция; наблюдается также образование калиевого β -глинозема и натриево-калиевого алюмосиликата;

- наименее измененную (холодную) зону, которая в зависимости от марки изделия имеет различные цвета — от коричневого до бежевого и следует за бело-серой зоной, имеет четкий переход. В зоне зафиксированы незначительные выделения сульфата калия, максимальное содержание которого фиксируется на расстоянии 20–25 мм от горячего края.

Анализируя полученные данные по глубине пропитки, ее интенсивности и концентрации мигрирующих ионов, а также площади пропитки, все изделия можно расположить в следующий ряд от наиболее стойких марок к менее стойким: наиболее стойкие — изделия марки В; далее идут изделия марок А и Б (с добавкой циркония) с примерно равными показателями и изделие марки Г; несколько хуже показатели изделия марки Д; самая

Характеристика пропитываемых образцов (по зонам) после теста на клинкероустойчивость

Показатели	Зона			Примечание
	рабочая	горячая	переходная	
Цвет зоны	Черный	Темно-коричневый	Светло-серо-бежевый	Разделены условно, так как цвет зон разных марок изделий различается
Фазы, пропитывающие огнеупор	Ларнит, браунмиллерит	Алюминат кальция, ларнит	Ларнит, алюминат кальция, β-глинозем	Сульфат калия —
Пропитка клинкером вглубь от рабочей поверхности изделий марки	Глубина пропитки, мм / площадь пропитки, %			Площадь холодной зоны, %
А-1	3–4/8	10–12/11	15–16/19	62
А-2	3–4/8	10–12/13	16/24	55
Б-1	3–4/6	10–11/13	16–18/18	63
Б-2	3–4/8	9–10/13	16–18/21	58
В-1	3–5/6	6–8/10	14–15/20	64
В-2	3–5/5	6–7/10	15–16/23	62
Г-1	3–5/6	9–12/14	16–17/11	69
Г-2	5/6	10–12/11	15–17/18	65
Д-1	4/7	13–15/20	18–20/32	41
Д-2	4–5/7	10–13/18	17–19/29	46
Е-1	4–5/14	13–14/16	18–19/36	34
Е-2	4–5/12	12–13/20	20–22/36	32

В зоне пропитки черного цвета практически полностью отсутствуют цирконаты кальция, в остальных части изделия они сохранились в полном объеме

Как и у изделий марки А, в зоне черного цвета полностью отсутствуют цирконаты кальция. Во всей остальной части изделия они сохранились в полном объеме

В области пропитки черного цвета происходит коррозия зерен алюмомагнезической шпинели

Состав пропитки и примерное соотношение фаз для всех марок огнеупора одинаковы

Характер пропитки и основные фазы полностью идентичны периклазопильным изделиям, рассмотренным выше

интенсивная пропитка, наибольшая насыщаемость силикатами зафиксированы у изделий марки Е.

Следует отметить, что динамический метод определения клинкеро- и шлакоустойчивости на базе вращающейся лабораторной печи дает достоверные и хорошо воспроизводимые результаты. Испытуемые образцы, как и в промышленных печах, подвержены комплексному воздействию агрессивных факторов: высокой температуры, циклических малоамплитудных (50–150 °С) колебаний температуры при каждом обороте печи, химическому воздействию компонентов клинкера и воздействию различных механических нагрузок вследствие динамических условий испытания (изменения частоты вращения печи при порционных загрузках шихты, технологические остановки при смене баллонов, термические удары в диапазоне 1000–1700 °С и т. д.). По нашему мнению, освоенная методика — более информативна, чем иные известные методики определения клинкеро- и шлакоустойчивости, как динамические, так и статические.

Результаты испытаний служат для объективного прогнозирования эффективности применения того или иного огнеупора в качестве футеровочного материала для вращающихся печей. Для

каждого клиента ООО «Группа «Магнезит» можно осуществить подбор продуктов и решений, наиболее соответствующих конкретным условиям службы.

В настоящее время в стадии освоения методики выполнения шлакоустойчивости огнеупорных материалов, рекомендуемых к применению (в том числе разрабатываемых в исследовательских подразделениях в России, Словакии, Китае) специалистами ООО «Группа «Магнезит» для различных агрегатов черной и цветной металлургии.

Библиографический список

1. **Перепелицын, В. А.** Аномальный износ футеровки вращающейся печи для обжига портландцементного клинкера / В. А. Перепелицын, И. Г. Марясев, Л. Д. Бочаров, А. А. Платонов // Огнеупоры и техническая керамика. — 2008. — № 2. — С. 33–39.
2. **Шубин, В. И.** Футеровка цементных вращающихся печей / В. И. Шубин. — М.: Стройиздат, 1975. — 182 с.
3. Standard Practice for Rotary Slag Testing of Refractory Materials // ASTM C 874–99. ■

Получено 10.01.13

© Л. М. Аксельрод, И. Г. Марясев,
А. А. Платонов, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Unitecr 2013

**13-й Всемирный конгресс
и объединенная международная конференция
по огнеупорам**

г. Виктория, Канада • 10–13 октября 2013 г.



Тематика:

- Расширенные испытания огнеупоров
- Передовые методы исследований и оборудование
- Монолитные огнеупоры
- Огнеупоры для черной промышленности
- Сырьевые материалы
- Огнеупоры для стекольной промышленности
- Огнеупоры для цементной промышленности
- Моделирование огнеупоров
- Огнеупоры для нефтехимии
- Переработка лома огнеупоров
- Экономия энергии за счет дизайна футеровки
- Системы бескислородных огнеупоров
- Огнеупоры для химических процессов
- Развитие основных огнеупоров
- Образование в области огнеупоров
- Огнеупоры для цветной металлургии
- Безопасность, защита окружающей среды, рециклинг огнеупоров

<http://www.expoclub.ru>

Р. Ю. Куфтырев, д. т. н. А. В. Беляков, к. т. н. И. Г. Кузнецова

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

УДК 666.762.93

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ AlN–BN (обзор)

Рассмотрены основные методы получения на основе соединений AlN и BN композиционного керамического материала, удачно сочетающего свойства компонентов: высокая теплопроводность и хорошие механические свойства нитрида алюминия дополняются высокими диэлектрическими характеристиками и легкой обрабатываемостью нитрида бора. Приведены методы получения керамики из смеси порошков — обычное спекание, горячее прессование, реакционное спекание, спекание в искровом разряде (SPS), а также методы, позволяющие получать материал с более однородной структурой, с использованием органических и неорганических прекурсоров.

Ключевые слова: композиционный материал, нитрид алюминия, нитрид бора.

Керамика из гексагонального нитрида бора обладает высокими электроизоляционными свойствами, устойчивостью к тепловым ударам, химической стойкостью и прочностью при высоких температурах, повышенной теплопроводностью, устойчивостью в вакууме, большим сечением захвата тепловых нейтронов в сочетании с хорошей обрабатываемостью, а также высокими огнеупорными свойствами. Керамика из нитрида алюминия также обладает высокими показателями физико-технических свойств, такими как теплопроводность и электросопротивление, тугоплавкость, термостойкость, устойчивость в агрессивных химических средах — расплавленных металлах и сплавах [1].

В настоящее время несколько компаний предлагают керамику на основе системы AlN–BN. Характеристика материалов приведена в таблице, из которой видно, что композит AlN–BN обладает набором уникальных свойств — высокая теплопроводность, высокое электросопротивление, хорошие диэлектрические характеристики и хорошие механические свойства. Производители заявляют о высокой коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости материала. Такое сочетание свойств позволяет применять данный композиционный материал в различных областях промышленности: в электронной технике для деталей, требующих отвода большого количества тепла и имеющих высокое электросопротивление; в силовой электронике для деталей, требующих высоких диэлектрических свойств при сверхвысоких частотах (низкие значения диэлектрической постоянной и диэлектрических потерь); в радиоэлектронике для получения радиопрозрачных деталей; в вакуумной технике для создания различ-

ных огнеупорных деталей и тиглей для вакуумного осаждения; в приборостроении для создания теплоотводов, изоляторов и защитных трубок для специальных печей, деталей и огнеупорных изделий с низким температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР); в других областях в качестве конструкционного материала. Кроме того, благодаря хорошей механической обрабатываемости данного композита существует возможность создания из него деталей сложной формы с высокой степенью точности, что имеет большое значение в электронике.

Попытки создания материала на основе BN и AlN, который бы сочетал в себе положительные качества компонентов, предпринимаются уже достаточно давно. В СССР такие работы проводили под руководством проф. Г. В. Самсонова. Так, в диссертации Л. И. Приходько представлены результаты исследования условий получения плотных изделий из AlN и BN различными методами [5]. В книгах Г. В. Самсонова и Т. Я. Косолаповой представлены обзоры методов получения и некоторые свойства материалов системы AlN–BN [6, 7].

Нами выполнен обзор опубликованных в последние десятилетия статей, посвященных получению материалов системы AlN–BN. Материалы на основе AlN и BN получают всеми основными способами керамической технологии: обычным спеканием, горячим прессованием, реакционным спеканием. Смесь исходных компонентов получают как традиционным способом в шаровой мельнице, так и разнообразными химическими методами.

Характеристика коммерческих материалов из керамики на основе AlN–BN

Показатели	Условия проведения испытания	Керамика		
		Shapal Hi Msoft [2]	BNP-2 [3]	AREMCOLOX 502-1800 [4]
Плотность, г/см ³	4 °С	2,88	2,90	2,43
Пористость, %	25 °С	—	<0,1	9,0
Объемное электросопротивление, Ом·см	25 °С, постоянный ток	—	1,0·10 ¹²	—
Диэлектрические потери	25 °С, 1 МГц	1·10 ⁻⁵	—	—
Диэлектрическая постоянная	25 °С, 1 Гц	6,8	7,1	6,4
Электрическая прочность, кВ/мм	25 °С	56	40	43
Теплопроводность, Вт/(м·К)	25 °С	92	92,6	40
ТКЛР, °С ⁻¹	20–600 °С	—	4,5·10 ⁻⁶	5,6·10 ⁻⁶
Максимальная температура использования, °С	На воздухе	—	1020	700
	В неокислительной атмосфере	—	1900	1200
Термостойкость, °С	Вода	—	400	—
Предел прочности, МПа:				
	при изгибе	320	300	125
при сжатии	25 °С	—	1170	—

СПЕКАНИЕ БЕЗ ПРИЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Авторы работы [8] проводили исследование влияния добавки BN вплоть до 10 мас. % на основные механические и электрофизические свойства материала, полученного спеканием без приложения давления. Изучали влияние природы исходного порошка AlN на свойства композита. Установлено, что увеличение содержания нитрида бора затрудняет спекание AlN, а также что на свойства композита значительное влияние оказывает природа исходных порошков. Плотный материал был получен с добавкой 4 мас. % BN. Дальнейшее увеличение содержания BN приводило к резкому увеличению пористости.

Авторами работы [9] были получены образцы керамики спеканием в атмосфере азота при 1800 °С с выдержкой при максимальной температуре 2 ч. В качестве спекающей добавки использовали Y₂O₃ в количестве 3 мас. %. Исходные порошки AlN и BN совместно со спекающей добавкой смешивали и измельчали в шаровой мельнице в среде этанола в течение 72 ч. Содержание BN в образцах варьировали от 0 до 20 об. %. Образцы формовали под давлением 160 МПа, относительная плотность прессовок примерно 50 %. Исследовали влияние содержания BN на микроструктуру, механические свойства и обрабатываемость керамики. С увеличением содержания BN относительная плотность керамики уменьшалась. Так, при добавлении 20 об. % BN относительная плотность керамики составила 86,2 %, предел прочности при 4-точечном изгибе уменьшился с

340 МПа (для чистого AlN) до 120 МПа. Уменьшение прочности авторы связывают в основном с увеличением пористости материала, которая, в свою очередь, увеличивается из-за плохой спекаемости BN. Уменьшение прочности можно также объяснить наличием в спеченном композите остаточных растягивающих напряжений, развивающихся из-за различия ТКЛР AlN и BN, которое может достигать 130 МПа. α-BN имеет анизотропный ТКЛР: по оси с ТКЛР = 7,15·10⁻⁶ К⁻¹, а по оси а ТКЛР = 0,77·10⁻⁶ К⁻¹, тогда как у AlN изотропный ТКЛР равен 5,6·10⁻⁶ К⁻¹. Кроме того, при увеличении содержания BN уменьшаются трещиностойкость, твердость и модуль Юнга.

В работе [10] рассматривали влияние сухого вибропомола на свойства композита. При увеличении времени помола с 1 до 8 ч удельная поверхность порошка AlN возрастала с 5,3 до 7,5 м²/г, а для порошка BN сохранялась на исходном уровне, т. е. 11,5–12,0 м²/г. Это связано с тем, что AlN хрупкий материал и хорошо подвергается помолу, тогда как порошок BN налипает на стенки мельницы, что резко снижает эффективность помола. Содержание BN в композите варьировали от 10 до 90 мас. % с шагом 10 мас. %. Оптимальное содержание BN составляло 50 мас. %. Используя этот оптимальный состав, исследовали влияние на свойства прессовок давления прессования (100–300 МПа) и температуры спекания (2070–2270 К). Спекание прессовок вели в засыпке из смеси AlN и BN. Оптимальными условиями по уровню полученных свойств оказались давление прессования 200 МПа и температура спекания 2170 К. Установлены зависимости плотности материала, меха-

нической прочности, термостойкости, ТКЛР и электросопротивления от удельной поверхности порошка AlN. Чем более мелкий исходный порошок AlN и, соответственно, больше его удельная поверхность $S_{уд}$, тем выше его плотность, механическая прочность и термостойкость. ТКЛР и электросопротивление при этом почти не изменяются. Свойства композита оптимального состава, полученного из порошка AlN с $S_{уд} = 7,5 \text{ м}^2$, были следующими: плотность $2,5 \text{ г/см}^3$, предел прочности при сжатии 108,8 МПа (какая относительная прочность, если истинную прочность посчитать по аддитивности?), термостойкость воздушная 171 теплосмена 1270–293 К, электросопротивление при 473 К $5 \cdot 10^{11} \text{ Ом} \cdot \text{см}$.

В патенте [11] компании «Tokuyama Soda» на изготовление композита AlN–BN приведены характеристики образцов, полученных спеканием заготовок. Количество вводимого BN составляло 20 мас. %, в качестве спекающей добавки использовали кристаллогидрат нитрата кальция в количестве 17 мас. %. Компоненты смешивали в шаровой мельнице в среде этанола, заготовки прессовали гидростатическим способом под давлением 200 МПа, спекание проводили в среде азота при 1900 °С с выдержкой 3 ч. Плотность полученных образцов $2,9 \text{ г/см}^3$, предел прочности при трехточечном изгибе 304 МПа. При спекании заготовок под давлением азота 0,96 МПа получали керамику, плотность которой $2,94 \text{ г/см}^3$, предел прочности при изгибе 353 МПа и теплопроводность $90 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

ГОРЯЧЕЕ ПРЕССОВАНИЕ

В статье [12] исследователи показали, что повышение содержания BN в композите AlN–BN от 15 до 85 мас. % приводило к снижению предела прочности при изгибе со 158 до 24 МПа. Для повышения прочности в композит вводили различные упрочняющие добавки: MoSi_2 , ZrO_2 и SiO_2 . Изучали их влияние на фазообразование и свойства горячепрессованного под давлением 30 МПа при 1600–1850 °С композита AlN–BN, полученного из смеси порошков. В процессе спекания образовывались фазы $\text{SiO}_2 \cdot 4\text{AlN}$, ZrN , MoB и MoB_2 . Введение диоксида циркония признано нецелесообразным, так как он вступает во взаимодействие с AlN и BN с образованием ZrN , который имеет низкую стойкость к окислению, начиная окисляться на воздухе уже при 300–400 °С. Введение MoSi_2 и SiO_2 (вместе или по отдельности) способствует повышению прочности в 2–3 раза. При этом возрастает стойкость композита к окислению, а электросопротивление остается примерно таким же, как и без использования добавок. Одна-

ко при этом должна уменьшаться теплопроводность.

В статье [13] рассмотрено влияние добавок Y_2O_3 и CaH_2 на уплотнение, микроструктуру и некоторые механические свойства композита AlN–BN. Количество вводимого BN изменяли от 5 до 30 мас. %. Керамику получали в атмосфере азота или в вакууме (0,1 Па) под давлением 34,5 МПа при 1800–2000 °С (в зависимости от добавки). Относительная плотность полученных образцов от 92 до 98 %. Пористость композита увеличивалась с повышением содержания BN. По уменьшению плотности образцы располагались в ряд: с добавкой CaH_2 ; без добавок; с добавкой Y_2O_3 . Согласно приведенным в статье данным, при использовании добавки CaH_2 плотность выше, а прочность ниже, чем у керамики с добавкой Y_2O_3 , что можно, видимо, объяснить более крупным размером кристаллов в керамике с добавкой CaH_2 . Гексагональный BN остается отдельной фазой, и его пластинчатые кристаллы ориентируются перпендикулярно направлению прессования. В изученном интервале составов композита не выявлено существенных отличий по ТКЛР от чистого AlN, поскольку он образует матрицу композита. Прочность образцов AlN без спекающей добавки была наивысшей — 383 МПа, с добавкой Y_2O_3 она составила 300 МПа, с добавкой CaH_2 — 227 МПа. Это объясняется тем, что образцы AlN без добавок имели кристаллы меньшего размера. Повышение содержания BN сильно снижало предел прочности при 4-точечном изгибе. Применение добавок уменьшало негативное влияние повышения содержания BN. Высокотемпературная прочность (1000–1500 °С) образцов композита без добавки была наибольшая, но с увеличением содержания BN она понижалась для них в большей степени, чем для образцов композита с добавками Y_2O_3 и CaH_2 . Модуль Юнга, определенный при комнатной температуре, уменьшался с увеличением количества BN.

В работе [14] рассмотрено влияние температуры спекания и добавки CaF_2 на уплотнение, диэлектрические свойства и теплопроводность композита AlN–BN с содержанием 15 мас. % BN. Количество вводимой спекающей добавки варьировали от 0 до 4 мас. %. Прессование осуществляли в атмосфере азота под давлением 30 МПа с выдержкой при максимальной температуре 1750–1900 °С 3 ч. Установлено, что введение CaF_2 эффективно снижает температуру обжига и ускоряет уплотнение композита. При добавлении 3 мас. % CaF_2 и спекании при 1850 °С были получены образцы с относительной плотностью 98,53 %. Увеличение содержания CaF_2 и повышение температуры горячего прессования приводи-

ли к возрастанию теплопроводности благодаря росту кристаллов AlN и совершенствованию структуры границ между ними. Повышение температуры спекания способствовало уменьшению относительной диэлектрической постоянной и тангенса угла диэлектрических потерь, а увеличение содержания CaF₂ повышало ϵ и уменьшало tg δ . Наибольшее достигнутое значение теплопроводности составило 110 Вт/(м·К) при добавлении к композиту 3 мас. % CaF₂ и спекании при 1850 °С. При этих же условиях $\epsilon = 7,54$, а tg $\delta = 6,36 \cdot 10^{-4}$ при 1 МГц.

В патенте [15] на получение композита AlN–BN приведены зависимости диэлектрической постоянной и тангенса угла диэлектрических потерь при 8,5 ГГц материала с различным содержанием BN (5, 25, 35 об. %) от температуры (вплоть до 1400 °С). Исходные компоненты смешивали в шаровой мельнице в среде ацетона, горячее прессование проводили в среде азота под давлением 46 МПа при 1700 °С и выдержке 90 мин. Кроме того, даны зависимости предела прочности при изгибе и термостойкости композита от содержания BN. Предел прочности при изгибе возрастал при введении от 5 до 25 об. % BN, а далее понижался. Наибольшей термостойкостью характеризовался материал, содержащий 25 об. % BN. Плотность материала изменялась от 3,26 г/см³ для образцов без добавления BN через максимум при содержании BN 5 об. % (3,29 г/см³) до 2,95 г/см³ при содержании добавки 35 об. %. Данный композит рекомендуют для получения электромагнитных окон высокоскоростных летательных аппаратов.

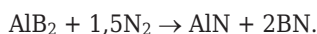
Таким образом, одноосное горячее прессование в пресс-формах позволяет получать из композита AlN–BN достаточно плотную керамику, но метод аппаратно сложен и не позволяет изготавливать изделия сложной формы. При горячем прессовании частицы BN в композите ориентируются перпендикулярно направлению прессования, что вызывает анизотропию свойств конечного материала и в зависимости от применения может быть как вредным, так и полезным.

РЕАКЦИОННОЕ СПЕКАНИЕ

Метод реакционного спекания позволяет получить материал с более равномерным распределением нитрида бора, так как его образование происходит непосредственно в процессе спекания. По этой же причине могут повышаться механические характеристики композита. С другой стороны, этим методом без применения горячего прессования невозможно получить беспористый материал. Остаточные промежуточные продукты

реакции ухудшают теплопроводность и электрофизические свойства керамики.

В работе [16] в качестве основного компонента был использован диборид алюминия AlB₂. Схему синтеза можно представить следующим уравнением реакции:



Приведенная реакция термодинамически возможна при температуре проведения эксперимента. В соответствии с ней получали композит, который состоял из 37 об. % AlN и 63 об. % BN. Исследователи провели дифференциально-термический (ДТА) и термогравиметрический (ТГ) анализы нитрования борида алюминия, которые показали, что процесс состоит из двух основных стадий: 1) быстрое нитрование алюминия при температуре ~1000 °С; 2) нитрование промежуточного соединения Al_{1,67}B₂₂, которое идет очень медленно при температурах ниже 1400 °С и ускоряется при более высоких температурах. Процесс нитрования AlB₂ можно выразить следующими уравнениями реакции:



Установлено, что повышение давления азота ускоряет нитрование. В итоге был подобран оптимальный режим термообработки образцов: давление азота 0,8 МПа (8 ат), выдержка при 1600 °С 5 ч и 1 ч при 1900 °С. При этом режиме достигали максимальной степени нитрования. К исходной реакционной смеси введением добавки AlN были приготовлены 3 состава с различным содержанием BN (15, 30, 63 об. %). В качестве спекающей добавки использовали Y₂O₃ в количестве 5 мас. %. Спекание проводили по оптимальному режиму. Относительная плотность спеченных образцов 92,8, 76,3 и 68 % для составов, содержащих 15, 30 и 63 об. % BN соответственно. Предел прочности при изгибе составил 217 и 127 МПа для образцов с содержанием BN 15 и 30 об. %. Предложен механизм формирования структуры композита. При таком методе получения материал имел мелкокристаллическую структуру, частицы BN были распределены гомогенно и изотропно.

СПЕКАНИЕ В ИСКРОВОМ РАЗРЯДЕ (МЕТОД SPS)

Метод спекания в искровом разряде (СИР), плазменно-искровое спекание, искровое плазменное спекание (Spark plasma sintering — SPS) стал достаточно часто применяться относительно недавно [17]. В графитовую матрицу засыпают порошок исходного материала и помещают между нижним и верхним пуансонами, одновременно являющи-

мися электродами. Далее, как при горячем прессовании, прикладывают давление, а через электроды подают импульсы постоянного тока (~1000 А и выше). Тепловая энергия для спекания обеспечивается из-за прохождения импульсов тока через заготовку и графитовую матрицу. Отмечается возможность воздействия на процесс спекания электромагнитных импульсов, возникающих от импульсов электрического тока, вызывающих высокоскоростную диффузию из-за высокой скорости миграции ионов. Особенность данного метода заключается в большой скорости нагревания заготовки, когда поверхностные слои частиц порошка теряют свою устойчивость и начинают деформироваться, обеспечивая уплотнение заготовки. Резкое повышение температуры в местах соприкосновения частиц может приводить к испарению или плавлению материала с образованием перешейка между ними.

Влияние добавки BN в количестве от 5 до 30 об. % на микроструктуру, механические свойства и теплопроводность композита AlN–BN, полученного методом SPS, исследовали в работе [18]. Спекание проводили в среде азота под давлением 30 МПа, продолжительность выдержки при максимальной температуре 5 мин. В качестве исходных компонентов использовали AlN, BN и Sm₂O₃ (уплотняющая добавка). Рассматривали влияние температуры спекания (1600–1800 °С) на плотность керамики, а также влияние последующей газостатической термообработки (выдержка 4 ч при 1850 °С под давлением азота 5 МПа) на прочность и теплопроводность материала. В работе показано, что достаточно плотную (относительная плотность 98,5 %) керамику на основе композита AlN–BN можно получить и при увеличении содержания BN вплоть до 30 об. %, но при этом необходимо повышать температуру спекания до 1800 °С. Отмечается, что пластинчатые частицы BN не ориентированы в композите. Авторы считают это следствием особого механизма уплотнения материала при СИР. В процессе спекания массоперенос интенсифицируется благодаря ускорению объемной диффузии в приграничных областях кристаллов. Таким образом, спекание композита ускоряется, но значительного роста кристаллов не происходит. Для всех составов предел прочности при трехточечном изгибе не был менее 190 МПа. Отмечается, однако, что теплопроводность спеченных образцов значительно уменьшается с увеличением количества BN. В образцах, прошедших дополнительную газостатическую термообработку, которая способствовала росту зерен AlN и совершенствованию границ между кристаллами, было отмечено повышение теплопроводности. Так, для композита с содержанием

BN 30 об. % значение теплопроводности составило 60 Вт/(м·К). Но такое изменение микроструктуры из-за роста кристаллов ухудшает механические свойства композита.

В работе [19] методом SPS была получена серия образцов композита AlN – 15 мас. % BN с различным содержанием CaF₂ (1, 2, 3, 4 мас. %) в качестве спекающей добавки. Исследовали влияние количества CaF₂ и температуры спекания (1700–1850 °С) на микроструктуру и теплопроводность композита. Режим спекания был аналогичен предыдущему. Добавка фторида кальция эффективно снижала температуру спекания и ускоряла уплотнение композита благодаря образованию жидкой фазы. Относительная плотность керамики и размер зерен AlN в композите увеличивались с возрастанием температуры спекания. Теплопроводность при повышении температуры спекания возрастала, а при увеличении содержания спекающей добавки наблюдали ее максимум при 3 мас. % CaF₂. Наибольшее достигнутое значение теплопроводности в данной работе составило 78,6 Вт/(м·К), его показали образцы с относительной плотностью 98,2 %, полученные спеканием с 3 мас. % CaF₂ при 1800 °С.

Авторы работы [20] для получения композита методом SPS в качестве спекающей добавки использовали Y₂O₃. Помимо изучения влияния на свойства композита количества вводимого BN (от 15 до 30 об. %), исследовали влияние количества оксида иттрия и температуры спекания на плотность, состав фаз, микроструктуру и теплопроводность керамики. Спекание проводили под действием импульсов электрического тока и давления 30 МПа, но в вакууме (<6 Па) и с выдержкой при максимальной температуре (1600–1800 °С) 10 мин. В результате исследования установили, что при увеличении добавки оксида иттрия ускорялся процесс уплотнения материала, повышалась относительная плотность. При увеличении количества BN для сохранения высоких плотности и теплопроводности материала необходимо увеличивать количество спекающей добавки, т. е. для определенного содержания BN в композите необходимо подбирать оптимальное количество спекающей добавки. Например, для композита AlN – 15 об. % BN при увеличении содержания добавки Y₂O₃ с 3 до 8 мас. % теплопроводность возросла с 110 до 141 Вт/(м·К). Подобное явление — рост теплопроводности при увеличении содержания спекающей добавки вплоть до 16 мас. % — характерно только для спекания в условиях SPS. Авторы считают, что при спекании в вакууме происходило испарение вторичной фазы, способствующее улучшению теплопроводности.

Исследователи из Кореи [21] методом SPS получили композит с использованием в качестве спекающей добавки CaF_2 в количестве 3 мас. %. Спекание вели с выдержкой при максимальной температуре 1800 °C 10 мин. Исследовали влияние количества BN на механические свойства, микроструктуру и обрабатываемость керамики. Установлено, что с увеличением количества BN модуль Юнга, прочность и твердость уменьшались, а трещиностойкость возрастала. Трещины, возникающие при испытании материала на твердость, в большинстве случаев отклонялись вблизи пластинчатых частиц BN, указывая на слабую межфазную связь между AlN и BN. Керамика обладала прекрасной обрабатываемостью. Композит, полученный данным методом, имел анизотропную структуру, подобную горячепрессованным образцам, т. е. происходила ориентация пластинчатых частиц BN перпендикулярно направлению прессования. Видимо, ориентации способствовали достаточно большая продолжительность выдержки, присутствие жидкой фазы и рост кристаллов BN.

Неоспоримым достоинством данного метода спекания является получение плотной керамики за короткий цикл, т. е. его повышенная по сравнению с горячим прессованием производительность. Однако при этом усложняется аппаратное оформление. Кроме того, керамика, полученная данным методом, не отличается высокой теплопроводностью, поскольку кристаллы и их границы не успевают усовершенствовать свою структуру.

МЕТОДЫ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ПОЛУЧАТЬ РАВНОМЕРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ AlN И BN В КОМПОЗИТЕ

Вследствие того что частицы гексагонального BN (α -BN) имеют анизотропную форму кристаллов, возникают проблемы с их равномерным распределением в матрице из AlN. Если эту проблему не решить, то в керамике остаются поры, снижающие эксплуатационные характеристики. Мелкие частицы BN способны образовывать прочные, но содержащие поры агрегаты, которые в спеченной керамике образуют области пониженной плотности, что приводит к негативным последствиям. Далее будут рассмотрены работы, направленные на создание более однородной смеси AlN и BN.

Исследователи из Китая [22] предложили способ получения композита с использованием в качестве исходных компонентов α -BN и порошка Al. Эти вещества брали в различных молярных соотношениях, смешивание проводили в шаровой мельнице в спирте. Высушенную смесь формовали сначала при 50 МПа одноосным прессованием, а затем допрессовывали в гидростате при

200 МПа. Спекание проводили в графитовой печи в азоте без избыточного давления по следующему режиму: выдержка 30 мин при 1050 °C и 1 ч при 1800 °C. Установлено, что увеличение содержания алюминия, превращающегося в AlN, приводило, как и в других описанных выше случаях, к улучшению механических и термических свойств. Лучшими характеристиками обладал материал, полученный из смеси BN и Al, взятых в соотношении 1:1. Плотность материала 2,18 г/см³ (расчет показывает, что в нем содержится 16 мас. % AlN), относительная плотность 92,6 %, предел прочности при изгибе 106 МПа, теплопроводность 72 Вт/(м·K), ТКЛР $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Другая научная группа тоже исследовала эту систему [23]. Были использованы α -BN и порошок Al в молярном соотношении 1:1. В отличие от предыдущего исследования смесь реагентов термообработывали в вакууме при 950 °C. При такой термообработке получали сначала диборид алюминия AlB_2 , который нестабилен при высоких температурах и легко разлагается в среде азота с образованием смеси AlN и BN. Отмечается, что если проводить термообработку при температуре выше 975 °C, то образуется более стабильное вещество AlB_{12} . Полученный по данной методике порошок спекали методом SPS при давлении 30 МПа (время выдержки не указано). Исследовали влияние температуры спекания (1500–1700 °C) на плотность керамики, теплопроводность и относительную диэлектрическую проницаемость. Из приведенных в работе графиков видно, что с повышением температуры синтеза плотность материала возрастала, как и теплопроводность, тогда как диэлектрическая проницаемость снижалась. Материал, полученный при 1700 °C, имел плотность 2,73 г/см³, теплопроводность 75 Вт/(м·K), диэлектрическую постоянную 8,3. Дополнительное преимущество данного метода заключалось в использовании вместо относительно дорогого нитрида алюминия более дешевого алюминия. Кроме того, не возникали проблемы с хранением высокодисперсного AlN, который, как известно, легко гидратируется на воздухе.

Наилучшей гомогенности смеси можно достичь при использовании прекурсоров, которые получают из органических веществ, содержащих алюминий и бор. В статье [24] предложен метод синтеза прекурсора по реакции между Me_3NAlH_3 (Me — метильная группа) и NH_3BH_3 , взятыми в соотношениях 1:1 и 1:2. Процесс проводили в толуоле. В результате получали соединение, содержащее связи Al–N–B. Полученный прекурсор подвергали пиролизу в аммиаке при 1000 °C. Отмечено, что исходное соотношение Al:B сохранилось в конечной смеси, причем ее выход состав-

лял 60–75 %. В качестве побочных продуктов образуются только H_2 и Me_3N . Исследования с помощью сканирующего электронного микроскопа показали, что смесь состояла из наноразмерных частиц AlN и BN . С помощью ЯМР-спектроскопии было подтверждено отсутствие в смеси оксидов. Фирма «DuPont» запатентовала метод получения смеси AlN – BN из органических прекурсоров [25]. Однако стоит отметить, что используемые в работе вещества пожароопасны и токсичны, к тому же их необходимо сначала синтезировать. Кроме того, наночастицы надо предохранять от окисления и гидратации. Все это ограничивает применение данных методов.

В другом методе использовали неорганические легкодоступные вещества для синтеза либо BN , либо AlN и BN . Например, в работе [26] брали в качестве исходных веществ для получения BN турбостратной структуры t - BN , борную кислоту H_3BO_3 и мочевины $CO(NH_2)_2$. Полагали, что во время совместного помол с AlN в среде спирта в шаровой мельнице происходило осаждение H_3BO_3 и $CO(NH_2)_2$ на частицах нитрида алюминия. При восстановлении высушенного порошка в среде водорода при 350 °C в течение 3 ч и при 1100 °C 5 ч образовывался t - BN , который после выдержки при 1650 °C в течение 5 ч переходил в BN с гексагональной структурой. Далее проводили совместный помол в шаровой мельнице в жидкой среде в течение 72 ч для разрушения прочных агломератов. После сушки шликера осуществляли сухой помол порошка в шаровой мельнице в течение 6 ч. В результате получали гомогенную смесь нанопорошков AlN и BN . Заготовки из этих порошков спекали методом горячего прессования в среде азота с выдержкой при максимальной температуре 1800 °C 2 ч.

В работе [27] исследовали микроструктуру и механические свойства полученного в работе [26] композита AlN – BN (нанокompозита). Для сравнения получали композит с применением доступных на рынке порошков AlN и BN (микрокомпозит), а также керамику из AlN . По данным электронной микроскопии установили, что микроструктура нанокompозита более гомогенная по сравнению с микроструктурой микрокомпозита и керамикой из AlN . На снимках видно, что в микрокомпозите большие пластинчатые кристаллы предпочтительно ориентированы в перпендикулярном направлении по отношению к прикладываемому в процессе горячего прессования давлению. Проведенные эксперименты по определению механических свойств показали, что нанокompозит достаточно хорошо обрабатывался при содержании в нем 15 об. % BN , однако лучше это происходило при 20 и 30 об. % BN , и при этом ма-

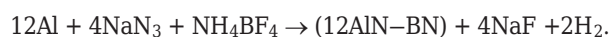
териал сохранял высокую прочность. В случае AlN с 15 об. % BN предел прочности при трехточечном изгибе составил 761 МПа. Такое сочетание свойств возможно благодаря очень малому размеру кристаллов в нанокompозите. По этой же причине при определении твердости вдавливанием шарика нанокompозит показал квазипластическое поведение, не характерное для керамических материалов.

Другая группа ученых использовала этот метод с небольшими отличиями [28]. Брали борную кислоту и мочевины в мольном соотношении 1:3. Смешивание с AlN проводили в жидкой среде в шаровой мельнице. Количество борной кислоты подбирали таким образом, чтобы конечный материал содержал различное количество BN (10, 20, 30 мас. %). Высушенный порошок помещали в графитовую печь и выдерживали при 850 °C 15 ч в среде азота для получения слоя t - BN на поверхности частиц AlN . После смешивания полученного порошка со спекающей добавкой Y_2O_3 в количестве 3 мас. % материал спекали горячим прессованием под давлением 30 МПа при 1850 °C, выдержке 1 ч и давлении азота 0,93 МПа. Исследовали влияние количества BN на твердость и прочность композита. Установлено, что твердость композита резко снижается с увеличением количества BN , тогда как предел прочности при изгибе снижается медленно. В другой работе этих же исследователей [29] проведено сравнение коррозионной стойкости материала, полученного смешиванием AlN с BN , и материала, полученного по вышеприведенной схеме. Однако материалы в этой работе были получены методом SPS. Исследовали поведение полученной керамики в растворах кислот и щелочей. Установлено, что нанокompозит менее подвержен коррозии, чем микрокомпозит и чистый AlN . Авторы объяснили это более равномерным распределением кристаллов BN вокруг кристаллов AlN . BN помогает защитить кристаллы AlN от действия коррозии.

В работе [30] гомогенную смесь AlN – BN получали с применением более распространенных исходных веществ — хлорида алюминия или лактата алюминия, мочевины и борной кислоты. Исходные компоненты смешивали в мольном соотношении 1:2:1 в водном растворе, который затем нагревали до 90 °C. Через этот раствор при интенсивном перемешивании пропускали аммиак до тех пор, пока раствор не приобретал сильно основной характер. После этого раствор нагревали до 150 °C, а воду удаляли под вакуумом. В результате получали гель, который переносили в корундовую лодочку и термообработывали при 1100 °C в токе аммиака для получения смеси AlN – BN . Затем полученную смесь выдерживали в азоте при

1600 °С. Данные рентгенофазового анализа показали, что конечный продукт состоял из гексагонального AlN и турбостратного BN.

Другой способ синтеза гомогенной смеси нитридов алюминия и бора в одну стадию был предложен в работе [31]. Автор разработал метод получения порошка нитридных композиций, в числе которых AlN–BN, на основе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Суммарное уравнение реакции имеет следующий вид:



Произведен и обоснован выбор технологических параметров, оказывающих наиболее существенное влияние на выходные параметры горения исходных шихт и синтеза нитридной композиции: давление газа в реакторе, плотность загрузки реактора, соотношение компонентов, размер частиц компонентов исходных шихт. Приведена характеристика получаемого порошка: содержание, мас. %: основного вещества 95–97, азота 35, алюминия свободного 0,2–0,5, кислорода (в пересчете на оксид) 0,3–0,6, бора свободного 0, углерода общего 0,1; удельная поверхность 15–30 м²/г. В работе также указано, что образцы керамики, полученные горячим прессованием из порошков, синтезированных этим способом, имеют более однородную структуру по сравнению с образцами из порошков, полученных другими методами. Никаких других свойств керамики не приводится.

Группой ученых из США рассмотрен синтез композиционного материала методом химического осаждения паров. В работе [32] приводятся данные термодинамических расчетов, проведенных авторами, для системы B–Al–N–Cl–H. В качестве исходных были выбраны недорогие реагенты, такие как BCl₃, AlCl₃ и NH₃. В последующих статьях [33–35] рассмотрено влияние технологических параметров синтеза на фазовый состав и структуру осаждаемых пленок AlN–BN. Для сравнения получены по отдельности пленки AlN и BN. Установлена существенная зависимость морфологии и кристаллической структуры композиционных покрытий от температуры, давления и концентрации AlCl₃ и BCl₃.

Таким образом, существует много методов получения керамических композитов в системе AlN–BN. Увеличение содержания BN понижает диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь композита, что важно для его применения в выводных окнах СВЧ-устройств. В то же время увеличение содержания BN затрудняет получение высокоплотного керамического композита, что ухудшает прочностные и электрофизические свойства, а также снижает

теплопроводность. Для повышения плотности композита применяют горячее прессование, спекание методом SPS, введение уплотняющих добавок. В качестве уплотняющих добавок применяют в основном те же, что и для керамики из AlN: Y₂O₃, CaO, CaH₂, CaF₂, Ca₃(BO₃)₂, оксиды лантаноидов. При спекании добавки взаимодействуют с другими компонентами керамики и образуют жидкую фазу, которая понижает температуру обжига, способствует совершенствованию структуры кристаллов и границ между ними, что повышает теплопроводность. Добавки увеличивают эффективность горячего прессования и метода SPS. При горячем прессовании и достаточной продолжительности выдержки при высокой температуре в методе SPS гексагональные пластинчатые кристаллы BN ориентируются перпендикулярно направлению прикладываемого усилия.

Для равномерного распределения AlN и BN в композите применяют химические методы и соответствующие вещества-предшественники (прекурсоры), облегчающие этот процесс. Например, синтез диборида алюминия AlB₂ и его последующее нитрование позволяют получить равномерное на наноуровне распределение компонентов в нанокompозите. Следует отметить, что уменьшение размера кристаллов улучшает механическую обрабатываемость и повышает прочность композита, но благодаря увеличению протяженности границ между кристаллами и повышению дефектности кристаллов и межкристаллических границ понижается теплопроводность. Технология получения композита определяется комплексом свойств, которые требуются при его эксплуатации.

Библиографический список

1. **Самсонов, Г. В.** Получение и методы анализа нитридов / Г. В. Самсонов, О. П. Кулик, В. С. Полищук. — Киев : Наукова думка, 1978. — 320 с.
2. Техническая информация о продукте под торговой маркой Shapal компании Tokuyama Corporation с сайта производителя : буклет. URL : http://www.tokuyama.co.jp/eng/products/specialty/shapal/pdf/catalog/Shapal_e.pdf (дата обращения : 12.11.2012).
3. Техническая информация о продукте под торговой маркой BNP-2 с сайта компании «Ceramic Substrates and Components Ltd». URL : http://www.ceramic-substrates.co.uk/machinable_ceramics/bnp2.html (дата обращения : 12.11.2012).
4. Характеристики материалов, производимых компанией «Aremco Products» Inc. : технический бюллетень. URL: http://www.aremco.com/wp-content/uploads/2010/11/A01_12.pdf (дата обращения : 12.11.2012).
5. **Приходько, Л. И.** Высокотемпературные электроизоляционные материалы на основе тугоплавких бескислородных соединений : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев : КПИ, 1968. — 23 с.

6. **Самсонов, Г. В.** Неметаллические нитриды / Г. В. Самсонов. — М. : Металлургия, 1969. — 286 с.
7. **Косолапова, Т. Я.** Неметаллические тугоплавкие соединения / Т. Я. Косолапова, Т. В. Андреева, Т. С. Бартницкая [и др.]. — М. : Металлургия, 1985. — 224 с.
8. **Беляков, А. В.** Керамика из нитрида алюминия с добавкой нитрида бора / А. В. Беляков, И. Г. Кузнецова, Н. А. Попова [и др.] // Керамика и огнеупоры: перспективные решения и нанотехнологии : сб. докл. Междунар. конф. с элементами науч. школы для молодежи, БГТУ им. В. Г. Шухова. Белгород, 9–12 ноября 2010 г. — Белгород, 2010. — С. 308–309.
9. **Cho, W. S.** Microstructure and mechanical properties of AlN–hBN based machinable ceramics prepared by pressureless sintering / W. S. Cho, Z. H. Piao, K. J. Lee [et al.] // J. Europ. Ceram. Soc. — 2007. — Vol. 27. — P. 1425–1430.
10. **Koval'chenko, M. S.** Effects of initial powder vibro-grinding on the properties of AlN–BN ceramic composites / M. S. Koval'chenko, T. V. Dubovik, A. A. Rogozinskaya [et al.] // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. — 2004. — Vol. 43, № 9/10. — P. 443–446.
11. **Pat. 4642298 US.** Composite nitride sintered body / Nobuyuki Kuramoto, Kazuya Takada, Yoshihiko Numata ; issue February 10, 1987.
12. **Grigor'ev, O. N.** Composites based on aluminum and boron nitrides formed during hot pressing / O. N. Grigor'ev, N. D. Bega, T. V. Dubovik [et al.] // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. — 2009. — Vol. 48, № 5/6. — P. 346–352.
13. **Mazdiyasni, K. S.** Phase characterization and properties of AlN–BN composites / K. S. Mazdiyasni, R. Ruh, E. E. Hermes // Amer. Ceram. Soc. Bull. — 1985. — Vol. 64, № 8. — P. 1149–1154.
14. **Haiyang, Zhao.** Thermal conductivity and dielectric property of hot-pressing sintered AlN–BN ceramic composites / Zhao Haiyang, Wang Weimin, Fu Zhengyi [et al.] // Ceramics International. — 2009. — Vol. 35. — P. 105–109.
15. **Pat. 4666873 US.** Aluminum nitride-boron nitride composite article and method of making same / Morris J. R., Tanzilli R. A. ; issue May 19, 1987.
16. **Zhang, Guo-Jun.** Nonoxide–boron nitride composites: in situ synthesis, microstructure and properties / Guo-Jun Zhang, Jian-Feng Yang, Motohide Ando [et al.] // J. Europ. Ceram. Soc. — 2002. — Vol. 22. — P. 2551–2554.
17. **Khor, K. A.** Thermal conductivity and dielectric constant of spark plasma sintered aluminum nitride / K. A. Khor, K. H. Cheng, L. G. Yu [et al.] // Materials Science and Engineering A347. — 2003. — P. 300–305.
18. **Meijuan, Li.** Effects of microstructure modification on properties of AlN / BN composites / Li Meijuan, Zhang Lianmeng, Shen Qiang [et al.] // J. Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. — 2008. — Vol. 23, № 1. — P. 121–124.
19. **Zhao, H.** Spark plasma sintered AlN–BN composites and its thermal conductivity / H. Zhao, W. Wang, H. Wang [et al.] // J. Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. — 2008. — Vol. 23, № 6. — P. 866–869.
20. **Li, Yong-Li.** Fabrication and thermal conductivity of AlN / BN ceramics by spark plasma sintering / Yong-Li Li, Jian Zhang, Jiu-Xing Zhang // Ceramics International. — 2009. — Vol. 35. — P. 2219–2224.
21. **Jingwen, Xu.** Mechanical properties and machinability of AlN–hBN ceramics prepared by spark plasma sintering / Xu Jingwen, Ki-Ju Lee, Si-Young Beck [et al.] // J. Ceram. Soc. of Jap. — 2009. — Vol. 117, № 9. — P. 1028–1031.
22. **Jihong, Cheng.** Boron nitride-aluminum nitride ceramic composites fabricated by transient plastic phase processing / Cheng Jihong, Zhaoqiang Zeng, Chongjun Wu // J. Amer. Ceram. Soc. — 2001. — Vol. 84, № 4. — P. 887–889.
23. **Jia, Tiekun.** AlN matrix composites fabricated by the spark plasma sintering — reactive synthesis method / Tiekun Jia, Weimin Wang, Zhengyi Fu [et al.] // J. Ceramic Processing Research. — 2009. — Vol. 10, № 6. — P. 794–797.
24. **Danan, Dou.** Reactions of aluminum hydride derivatives with ammonia-borane: a new approach toward AlN/BN materials / Dou Danan, Douglas R. Ketchum, Ewan J. M. Hamilton [et al.] // Chemistry of Materials. — 1996. — Vol. 8. — P. 2839–2842.
25. **Pat 4764489 US.** Preparation of mixed boron and aluminum nitrides / Bolt John D. Issue August 16, 1988.
26. **Kusunose, T.** Fabrication of boron nitride dispersed nanocomposites by chemical processing and their mechanical properties / T. Kusunose // J. Ceram. Soc. Jap. — 2006. — Vol. 114, № 2. — P. 167–173.
27. **Kusunose, T.** Contact damage of machinable aluminum nitride / boron nitride nanocomposites / T. Kusunose, T. Sekino, Y. Ando // J. Ceram. Soc. Jap. — 2008. — Vol. 116, № 6. — P. 762–766.
28. **Hai-yun, Jin.** Study of machinable AlN / BN ceramic composites / Jin Hai-yun, Wen Wang, Ji-qiang Gao [et al.] // Materials letters. — 2006. — Vol. 60. — P. 190–193.
29. **Hai-yun, Jin.** Corrosion behavior and creepage discharge character for machinable AlN/h-BN ceramics composites / Jin Hai-yun, Bo He, Nai-Kui Gao [et al.] // J. Ceramic Processing Research. — 2008. — Vol. 9, № 5. — P. 526–529.
30. **Tongsan, D. Xiao.** Synthesis of aluminum Nitride / Boron nitride composite materials / D. Xiao Tongsan, Kenneth E. Gonsalves, R. S. Peter [et al.] // J. Amer. Ceram. Soc. — 1993. — Vol. 76, № 4. — P. 987–992.
31. **Космачёва, Н. В.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез композиций на основе нитридов кремния, алюминия и бора с применением азидов натрия и галогидных солей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Самара, 2004. — 18 с.
32. **Twait, D. J.** Thermodynamic analysis of chemical vapor deposition of BN + AlN composite coatings / D. J. Twait, W. J. Lackey, Arlynn W. Smith [et al.] // J. Amer. Ceram. Soc. — 1990. — Vol. 73, № 6. — P. 1510–1518.
33. **Hanigofsky, J. A.** Composition and microstructure of chemically vapor-deposited boron nitride, aluminum nitride, and boron nitride + aluminum nitride composites / J. A. Hanigofsky, Karren L. More, W. J. Lackey [et al.] // J. Amer. Ceram. Soc. — 1991. — Vol. 74, № 2. — P. 301–305.
34. **Lee, W. Y.** Preparation of dispersed phase ceramic boron nitride and aluminum nitride composite coatings by chemical vapor deposition / W. Y. Lee, W. J. Lackey, Garth B. Freeman [et al.] // J. Amer. Ceram. Soc. — 1991. — Vol. 74, № 9. — P. 2136–2140.
35. **Lee, W. Y.** Simultaneous chemical vapor deposition of boron nitride and aluminum nitride / W. Y. Lee, W. J. Lackey, P. K. Agrawal [et al.] // J. Amer. Ceram. Soc. — 1991. — Vol. 74, № 10. — P. 2649–2658. ■

Получено 12.02.13

© П. Ю. Куфтырев, А. В. Беляков,
И. Г. Кузнецова, 2013 г.

УДК 006:658.56]:666.76

СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТОВ НА МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ОГНЕУПОРНОЙ ПРОДУКЦИИ, КОТОРЫЕ ПРИМЕНЯЮТ ДЛЯ ПРИЕМОСДАТОЧНОГО КОНТРОЛЯ

Приведены краткие сведения, касающиеся сравнения отечественных и зарубежных стандартов на методы испытаний и контроля качества огнеупоров, которые применяют при приемочных испытаниях.

Ключевые слова: *методы испытаний, огнеупорные изделия, предел прочности при сжатии, огнеупорность, остаточное изменение размеров при нагреве, определение температуры деформации, устойчивость к гидратации огнеупоров.*

В РФ качество огнеупоров регламентируют стандарты на продукцию, технические условия и стандарты организаций (СТО). В большинстве стран за рубежом данные о свойствах изделий приводят в каталогах фирм-изготовителей, а также в корпоративных или фирменных стандартах.

Для адекватной оценки качества и обеспечения конкурентоспособности продукции необходимы методы испытаний и контроля качества огнеупоров, обеспечивающие получение сопоставимых результатов. Следовательно, необходима унификация и стандартизация методов испытаний и контроля качества огнеупоров.

Вместе с тем Соглашение о технических барьерах в торговле Всемирной торговой организации и Таможенного союза называет применение международных стандартов одним из важнейших условий, обеспечивающих устранение технических барьеров в торговле. В соответствии с этим при разработке новых и актуализации действующих российских стандартов одной из важнейших задач является максимально возможная гармонизация национальных стандартов на методы испытаний и контроля огнеупоров с международными стандартами и тем самым обеспечение сопоставимости результатов испытаний. Анализ отечественных, международных и национальных стандартов зарубежных стран позволил установить сходство и различие стандартизованных методов испытаний, в том числе оценить сопоставимость их результатов.

Национальные стандарты на методы определения прочностных свойств огнеупоров — предел прочности при сжатии при комнатной температуре — показатель, который чаще всего определяют при приемочном контроле. При разработке стандартов, регламентирующих определение предела

прочности при сжатии, было принято решение о разработке двух национальных стандартов, в одном из которых должны быть отражены требования международного стандарта ISO 10059-1-92, в другом — требования основных положений методик определения предела прочности при сжатии, действующих на российских предприятиях, а также учитывающие ряд положений ISO 10059-2-2003.

Исходя из этого, в настоящее время действуют два стандарта на определение предела прочности при сжатии при комнатной температуре: модифицированный ГОСТ Р 53065.1-2008 (ISO 10059-1:1992) «Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре. Часть 1. Испытание без применения прокладок» и ГОСТ Р 53065.2 «Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре. Часть 2. Испытание с применением прокладок».

Часть 1 национального стандарта (Испытание без применения прокладок) разработана путем небольших модификационных изменений ISO 10059-1:1992. В данном стандарте установлены жесткие условия испытания:

- испытуемый образец должен быть в форме цилиндра высотой и длиной 50 мм,
- нагружаемые (опорные) поверхности должны быть шлифованными,
- размеры опорных поверхностей испытательного пресса должны быть нормированы.

Выполнение этих требований обеспечивает идентичность условий испытаний, но значительно увеличивает стоимость, поэтому метод реко-

мендован для арбитражных испытаний и при поставках продукции на экспорт.

Часть 2 национального стандарта (Испытание с применением прокладок) разработана на базе ГОСТ 4071.1–94 «Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре» и с учетом ряда нормативных положений ISO 10059.2–2003. Стандарт предназначен для массового контроля продукции. В область применения впервые включены образцы из неформованных материалов, испытания которых ранее не были предусмотрены в стандарте.

Международные и российские стандартизованные методы определения огнеупорных и термических свойств в ряде случаев значительно различаются и дают несопоставимые результаты.

Определение остаточных изменений размеров при нагреве огнеупорных теплоизоляционных изделий и огнеупорных изделий с общей пористостью менее 45 %, этот показатель важен для характеристики качества огнеупора, так как большие изменения размеров изделий в футеровке тепловых агрегатов в период службы могут привести к ее разрушению. Для определения остаточных размеров при нагреве были разработаны два стандарта: национальный ГОСТ Р 54311–2011 «Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Ускоренный метод определения остаточных изменений размеров при нагреве» и идентичный ГОСТ Р ИСО 2477–2011 «Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Определение остаточных изменений размеров при нагреве».

Основные различия национального и идентичного стандартов:

- продолжительность выдержки при температуре испытания (2 ч по российскому стандарту и 12 ч по идентичному);
- в идентичном стандарте регламентировано использование образцов значительно большего размера, чем в российском;
- число измерений испытываемого образца до и после обжига (2 измерения по российскому стандарту и 4 по идентичному);
- в идентичном стандарте строго регламентировано размещение образцов в печи — с большими промежутками, на высокой подставке, что обеспечивает более равномерный нагрев испытываемых образцов, но требует использования печей с большим рабочим пространством.

ГОСТ Р 54311–2011 позволит отечественным производителям проводить приемосдаточные испытания в соответствии со сложившейся практикой и установленными в нормативных документах нормами. Введение ГОСТ ИСО 2477–2011 обеспе-

чит классификацию теплоизоляционных огнеупоров, выпускаемых в России, в соответствии с международной практикой.

Для огнеупорных изделий с общей пористостью менее 45 % также были разработаны два стандарта: национальный ГОСТ Р 54528–2011 «Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения остаточных изменений размеров при нагреве» и идентичный межгосударственный ГОСТ ИСО 2478 «Изделия огнеупорные плотные. Определение остаточных изменений размеров при нагреве». В настоящее время ГОСТ ИСО 2478 находится на стадии рассмотрения в Росстандарте.

Основные различия стандартов заключаются в следующем:

- различная длительность выдержки при температуре испытания (2 ч по ГОСТ Р 54528 и 5 ч по ГОСТ ИСО 2478);
- в идентичном стандарте предусмотрены два метода измерений: линейный и объемный, а в национальном стандарте — только объемный с последующим пересчетом на изменение линейного размера;
- в идентичном стандарте регламентировано использование образцов значительно большего размера (50×50×60 мм), чем в национальном (30×30×60 мм);
- в идентичном стандарте строго регламентировано расположение испытываемых образцов в печи, что обеспечит более равномерный нагрев образцов, но требует применения печей с большим рабочим пространством.

Основой международного и национального стандартов на методы определения огнеупорности является один и тот же принцип — сравнение температур падения испытываемого конуса (пироскопа) и контрольного пирометрического конуса. Однако о сопоставимости результатов трудно судить из-за различий в процедуре испытания, связанных прежде всего с различным способом подготовки испытываемых конусов. Огнеупорность изделий по ISO 528 определяют на конусах, вырезанных из изделий. В России традиционно применяют конуса, сформованные из измельченного материала. Как правило, огнеупорность образцов, вырезанных из изделия и сформованных из измельченной пробы, различается на 30–40 °С. Национальный ГОСТ 4069 «Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения огнеупорности» не пересматривался с 1969 г., многие положения стандарта устарели, так как появились новая аппаратура, средства измерения. В связи с этим был разработан национальный стандарт ГОСТ Р 53788–2010 «Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения огнеупорности», в котором

предусмотрена возможность определения огнеупорности без применения пироскопов инструментальным методом — по показаниям термопары.

Одновременно разработаны два национальных стандарта, идентичных международным стандартам: ГОСТ Р ИСО 528–2009 «Огнеупоры. Определение эквивалентного пирометрического конуса (огнеупорности)» и ГОСТ Р ИСО 1146–2009 «Конусы пирометрические контрольные для лабораторного применения». В международном ISO 528 для определения огнеупорности предусмотрено использование пироскопов по ISO 1146, поэтому было необходимо разработать оба стандарта одновременно.

Российский и международный стандарты на методы определения температуры деформации под нагрузкой принципиально различаются способами измерения высоты образца в процессе испытания, что делает результаты испытаний несопоставимыми. Поэтому в план национальной стандартизации на 2012–2013 гг. включен пересмотр действующего ГОСТ 4070–2000 «Изделия огнеупорные. Метод определения температуры деформации под нагрузкой», который требует актуализации и правильного оформления в соответствии с ГОСТ 1.5–2001 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила, рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению», а ISO 1893–89, включенный в приложение к ГОСТ 4070, отменен и заменен на ISO 1893–2007. Одновременно разрабатывается идентичный ГОСТ ИСО 1893. В настоящее время окончательные редакции ГОСТ 4070 «Изделия огнеупорные. Метод определения температуры деформации под нагрузкой» и ГОСТ ИСО 1893 «Изделия огнеупорные. Определение деформации под нагрузкой (дифференциальный метод измерения при возрастающей температуре)» согласованы, формируется пакет документов для направления в Росстандарт.

Анализ основных положений стандартов на методы определения истинной и кажущейся плотности, открытой пористости показал сопоставимость результатов испытания, однако в стандартах все же имеются различия. На стадиях окончательной редакции находятся ГОСТ 2409 «Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения», требующий актуализации и переформирования в соответствии с ГОСТ 1.5, и идентичный межгосударственный ГОСТ ИСО 5017 «Изделия огнеупорные плотные. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости».

В последние годы появились новые стандарты на методы испытаний, которые также следует отнести к определению прочностных свойств, например:

- EN ISO 12680–2007 ч. 1 «Изделия огнеупорные. Методы испытаний. Часть 1. Определение динамического модуля Юнга путем импульсивного возбуждения вибрации»;

- серия ISO 1927–2012 «Монолитные (неформованные) огнеупоры». Части 1–8.

В РФ аналогов таких методов испытаний нет.

Производство и применение огнеупоров во всех странах характеризуется постоянным увеличением доли неформованных огнеупоров: бетонов, набивных и торкрет-масс, обмазок. В промышленно развитых странах рост производства неформованных огнеупоров сопровождается разработкой специальных методов испытаний и контроля и, соответственно, их стандартизацией. Введена в действие новая серия ISO 1927–2012 (ч. 1–8) по классификации, подготовке образцов и проведению испытаний для монолитных (неформованных) огнеупоров.

В РФ действует несколько стандартов на методы испытания неформованных огнеупоров: ГОСТ 31175–2003 «Мертели огнеупорные. Методы испытаний», ГОСТ 18847–84 «Огнеупоры неформованные сыпучие. Методы определения водопоглощения, кажущейся плотности и открытой пористости зернистых материалов» и с 1 января 2007 г. введен в действие национальный ГОСТ Р 52541–2006 «Бетоны огнеупорные. Подготовка образцов для испытаний», в котором учтены основные нормативные положения европейских стандартов (EN 1402-4:2003, DIN EN1405-5:2003). ГОСТ Р 52541 регламентирует подготовку образцов из бетонных масс на основе глиноземистого и высокоглиноземистого цемента.

С развитием производства перспективного вида теплоизоляционных огнеупоров, таких как волокнистые теплоизоляционные материалы и изделия, появились новые специфические методы их испытаний и соответствующие стандарты, регламентирующие условия проведения этих испытаний (ISO, EN, BS, DIN).

Национальные стандарты на методы испытаний волокнистых теплоизоляционных огнеупоров в России отсутствуют. Действующий ГОСТ 23619–79 «Материалы и изделия огнеупорные теплоизоляционные стекловолнистые» включает методы определения ряда свойств. Эти методы отличаются от методов, установленных в международном и британском стандартах, что затрудняет сравнение показателей отечественной и зарубежной продукции.

Действующие в настоящее время в РФ межгосударственные стандарты устанавливают методы определения термической стойкости обожженных изделий и образцов, вырезанных из изделий, не взаимодействующих с водой. Таким образом, вне области применения стандарта остается ряд огнеупоров, например периклазоизвестковые, бетонные, безобжиговые. Кроме того, из-за «жесткости» режима (нагрев до 1300 °С — охлаждение в проточной воде) этими методами нельзя испытывать изделия с низкой термостойкостью.

С 01.01.07 введен в действие разработанный Ассоциацией «СПб НТЦ» ГОСТ Р 52542–2006 «Огнеупоры. Методы определения термической стойкости при охлаждении сжатым воздухом», в котором учтены основные нормативные положения DIN CEN/TS 993-11:2003 «Методы испытания плотных огнеупоров. Часть 11. Определение ус-

тойчивости к термическому удару». Стандарт регламентирует два метода.

1. Определение числа теплосмен, которые выдерживает образец при нагружении изгибающим усилием 0,3 Н/мм² после каждой теплосмены до разрушения.

2. Определение термической стойкости по изменению предела прочности при изгибе после заданного числа теплосмен.

Для оценки эксплуатационных свойств огнеупоров очень важна оценка их химической устойчивости к расплавам шлака и стекла, растворам серной кислоты и щелочи, монооксиду углерода. За рубежом действует ряд стандартов на методы испытаний, которые позволяют качественно оценивать эти свойства. В России стандарты на такие методы испытаний отсутствуют.

Действующие и разрабатываемые стандарты на методы испытаний

Национальные стандарты (ГОСТ Р...), разработанные на базе межгосударственных (ГОСТ...)

ГОСТ Р 53065.1–2008 (ИСО 10059-1:1992) «Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре. Часть 1. Испытание без применения прокладок (MOD)». Дата введения 01.07.2009.

ГОСТ Р 53065.2–2008 «Изделия огнеупорные с общей пористостью менее 45 %. Метод определения предела прочности при сжатии при комнатной температуре. Часть 2. Испытание с применением прокладок». Дата введения 01.07.2009.

ГОСТ Р 53785–2010 «Огнеупоры и огнеупорное сырье. Методы определения огнеупорности». Дата введения 01.01.2011.

ГОСТ Р 54311–2011 «Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Ускоренный метод определения остаточных изменений размеров при нагреве». Дата введения 01.01.2012.

ГОСТ Р 54528–2011 «Изделия с общей пористостью менее 45 %. Метод определения остаточных изменений размеров при нагреве». Дата введения 01.09.2012.

Национальные стандарты (ГОСТ Р ИСО...), идентичные международным

ГОСТ Р ИСО 528–2010 «Огнеупоры. Определение эквивалентного пироскопа». Дата введения 01.08.2010.

ГОСТ Р ИСО 1146–2010 «Конусы пирометрические контрольные для лабораторного применения». Дата введения 01.06.2010.

ГОСТ Р ИСО 2477–2011 «Изделия огнеупорные теплоизоляционные. Определение остаточного изменения размеров при нагреве».

Дата введения 01.01.2012.

Межгосударственные стандарты (ГОСТ ИСО), идентичные международным

ГОСТ ИСО 1893 «Изделия огнеупорные. Определение деформации под нагрузкой (дифференциальный метод измерений при возрастающей температуре)». Разработана окончательная редакция.

ГОСТ ИСО 5017 «Плотные огнеупорные изделия. Определение кажущейся плотности, открытой и общей пористости».

Разработана окончательная редакция.

ГОСТ ИСО 8840 «Огнеупоры. Определение кажущейся плотности зернистых материалов (плотность зерна)».

Разработана первая редакция.

Межгосударственные стандарты (ГОСТ), пересмотр.

ГОСТ 4070 «Изделия огнеупорные. Метод определения температуры деформации под нагрузкой». Разработана окончательная редакция.

ГОСТ 2409 «Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения». Разработана окончательная редакция.

ГОСТ ИСО 2478 «Изделия огнеупорные плотные. Определение остаточных изменений размеров при нагреве». Окончательная редакция направлена в Росстандарт.

В России разработан стандарт Ассоциации «СПб НТЦ» СТО 73399783-002–2006 «Огнеупоры. Метод определения устойчивости к гидратации», при разработке которого использованы опыт Великобритании, США, результаты собственной экспериментальной проработки. Стандарт распространяется на порошки, заполнители, изделия на основе оксида магния. Такие материалы в теплой влажной атмосфере могут гидратироваться, при этом зерна порошков рассыпаются и материал измельчается, а изделия растрескиваются. Сущность метода заключается в обработке проб неформованных материалов или образцов, вырезанных из изделий, водяным паром под давлением с последующим определением изменения массы и зернового состава пробы и визуальной оценкой степени разрушения образцов. Устойчивость к гидратации можно определить двумя методами:

– обработкой испытуемого материала паром при нормальном или повышенном давлении и температуре, соответствующей давлению;

– выдержкой в климатической камере при температуре ниже 1000 °С и высокой влажности.

Методы, основанные на выдержке в камере, ближе к естественным условиям, но очень длительны — испытания длятся сутками. Поэтому в основу СТО положена методика обработки проб (образцов) паром в автоклаве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принят ряд российских стандартов и стандартов, идентичных международным, актуализируются и пересматриваются межгосударственные стандарты, что позволяет получать сопоставимые результаты при оценке качества отечественной и зарубежной продукции (см. таблицу). Для получения сопоставимых результатов испытаний необходимы образцы одинаковой формы и размеров, одинаковые условия испытаний.

В РФ практически отсутствуют стандарты на методы испытаний неформованных огнеупоров, а также теплоизоляционных волокнистых материалов и изделий. Расширение объемов производства указанных материалов в настоящее время обуславливает необходимость разработки стандартов на методы испытаний с учетом требований международной стандартизации.

Для достоверной оценки качества продукции отечественных производителей в сравнении с зарубежными аналогами необходимо систематическое проведение сопоставительных испытаний как по национальному, так и по международному стандартам. Применение стандартов, идентичных международным, позволит адекватно оценивать сырье и продукцию при поставках на экспорт. К сожалению, новые стандарты не внедряются в практику работы заводских лабораторий. Результаты таких испытаний могли бы дополнить характеристику качества огнеупоров. ■

Получено 29.01.13

© И. Н. Ефимова, 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

METALFORUM
Exhibition of Metallurgy,
Foundry and Metal Industry

METALFORUM 2013

4–7 июня 2013 г.
г. Познань, Польша

Международная выставка по металлургии, литью и металлообработке

Профили выставки:

- Добыча и переработка руд черных и цветных металлов
- Сырье металлургического производства – руды и концентраты, лом, отходы и шлаки
- Машины и оборудование для металлургии – **плавильные, отжиговые печи**, литейные ковши и литейные и формовочные машины, прокатные станы, волочильное, намоточное и обрезное оборудование
- Прессы и экструдеры. Молоты и **печи для термообработки**
- Оборудование для производства труб и проволоки, листа и фольги
- Материалы и добавки – **огнеупоры**, смеси, стержни, опоки
- Машины и оборудование для очистки и снятия напряжений в отливках
- Машины и оборудование для порошковой металлургии
- Металлы, сплавы черных и цветных металлов и изделия из них
- Трубы, проволока, пружины, кабели, цепи, продукция порошковой металлургии
- Металлоконструкции для промышленности и строительства, инструмент
- Научно-исследовательские разработки, услуги, программное обеспечение и т. п.

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

ABSTRACTS

UDC 669-147:539.219.1

The technique of non-metallic inclusions removing from aluminum deoxidized steels

Eckhardt G.-D. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 16–23.

The features of ladle processing for various steels, the low-carbon, desulphurized and resulphurized steels including, are regarded in the article as well as the various variants for minimization of the non-metallic inclusions content in these products. The purity of steel can be controlled by the improvement for the technology of metal tapping from the steel-teeming ladle, by the adjusting of the processing time for the metal bath in the ladle, by the adding of various alloying agents, as well as by the soft bubbling and adding calcium in the liquid steel. The presence of both the melt steel-dissolved calcium and the metal impurities modified by the calcium additions inhibit the depositions formations. Upon that, the purpose which is posed while the ladle processing is not so much the inclusions content minimization, but rather the inclusions content optimization. Ill. 8. Ref. 7.

Key words: stainless steel CleanSteel, non-metallic inclusions, ladle processing, depositions.

UDC 621.746.047

The industry application of the software support MouldScreen®: first try-out of the slag film visual display system at slab CCM

Hilgenhöner E. H., Wosch E. A. T. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 24–33.

The investigating results are given in the article for the correlation between the properties of various kinds of steel and the design features of continuous casting machines (CCM) from the one hand, and the physical and chemical properties of slag-forming materials injected into the CCM's mold as well as the slag films these materials create which coat the billet's outer skin, from the other hand. On base of vast scientific investigations the software support have been developed which allows the visualization of the slag's film width and state covering the entire internal surface of the CCM's mold. At the same time the displaying of all real variables for continuing casting all in all is carried out. The data on the properties of applicable slag-forming materials are inserted in the program and owing to this the MouldScreen® calculates and displays the states of both solid and liquid slag's fractions presenting in the mold as well as it shows the width and temperature of the crystallizing billet's outer skin. All data are displayed on the monitor screen. The physical and chemical model which the program is based on, gives out all needed information about the processes occurring inside the CCM's mold. The CCM's thermocouple element's indications are taken into account when calculating according the model. Besides so called «converting» utility program Modify tool is included into the MouldScreen® program, this utility facilitates the detailed analysis for the influence of various keyword working parameters on the slag film's behavior, and consequently, on the billet lubricating conditions as well as on the heat removing from the billet through the mold's walls. This feature allows the modeling of any keyword parameter influence's change on the metal tapping in whole. The first

try-out of the system was carried out on the slab CCM in Germany. Ill. 12. Ref. 8.

Key words: continuous casting, lubricating property of CCM's mold, slag film displaying.

UDC 666.974.2:66.043.1]:621.746.32

The remodeling strategy for the steel-teeming ladles conditioning area: the implementation and development of monolithic lining operation, the technological equipment installation

Garten V., Hohlov A., Usselman V., Fomina I. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 34–39.

The common strategy is proposed for the steel teeming conditioning ladle area which includes the selection and delivery of both refractory materials and equipment for the monolithic lining accomplishing taking into account the production and operation conditions at the enterprise, with the implementation service of VGH AG Company at all technological stages.

Key words: steel teeming ladles' monolithic lining, remodeling of technological area, improvement of technological process.

UDC 621.746.047

The implementation of automatic system for slag-forming materials' feeding into the continuous casting machine's mold

Gorostkin S. V., Garten V. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 39–42.

The competent selection of the slag-forming materials as well as the correct choice of their application technology influence significantly on the quality and safety of the steel teeming process. The automatic systems for slag-forming material's feeding provide the input of the mixture by the regular metered out batches with the result that the quality of the continuous cast steel billets' surface improves, the metal production quantity rejected by steel teeming defects and the consumption of slag-forming materials decrease. Ill. 6.

Key words: automatic systems for slag-forming materials' feeding, continuous casting machine, non-metallic inclusions, slab's defects.

UDC 66.041.49.043.1.67

High-efficiency carbon-containing linings for the high-temperature vessels in non-ferrous industry

Slovikovskii V. V., Gulyaeva A. V. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 43–46.

The article is concerned with the influence of carbon-bearing materials on the mechanical properties of refractories, with the development of the methods for magnesite refractories impregnating with carbon-bearing compositions, with the investigation of oxidation protection technology for carbon-containing refractories, with the defining of lining's zones which are effective for the carbon materials application. The linings with carbon-bearing materials were tried and introduced in thermal vessels of non-ferrous industry. According to the results of the inves-

tigations the technology for the periclase-carbon refractories was developed, the combined lining was designed and the method of brick's impregnating with coke pitch was presented. Both carbon-bearing refractories and coatings passed the industrial tests at several enterprises and were introduced in the reverberatory ore-thermal furnaces, in Waelz kilns and in the horizontal converters. The carbon refractories and coatings application in the thermal vessels' linings of non-ferrous industry increases the furnaces campaigns by the value from 30 to 200 %. Ill. 4. Ref. 4. Tab. 1.

Key words: carbon-bearing refractory, combined lining, slip layer, periclase, periclase-chromite, Waelz kiln, ore-thermal furnace.

UDC 666.762.2:669.189.3.043.1

The influence of chrome- and zirconium-oxides on the properties of the ramming mixtures made out of Bobrovsk's deposit's quartzites

Kashcheev I. D., Zemlyanoi K. G. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 47–51.

The production researches of Bobrovsk's deposit's quartzites are carried out in the article. The investigations are concerned with the influence of chrome- and zirconium oxides, of aluminum-chrome wastes and of the baddeleyite-corundum scrap on the ramming mixture sintering and on their structure and properties forming. The slag-resistance laboratory tests were carried out. Ill. 1. Ref. 8. Tab. 3.

Key words: quartzite, ramming mixture, induction furnace lining, refractories, sintering, resistance to slag.

UDC 662.614:669.712

The application of aluminous dust after aluminum hydroxide kiln calcining

Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Bezdezhskii G. N., Kashcheev I. D., Koryukov V. N. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 52–58.

The possibility is shown in the article for the application of aluminous dust in the technology of high-quality mullite and mullite-corundum refractories. The heat balance calculations for the aluminum hydrate calcining in the tabular rotary kiln with the drawing out of the aluminous dust from the process are carried out. It is established that when drawing out the aluminous dust from the electrostatic precipitators the fuel consumption doesn't grow, at the same time the decrease of power consumption for compressed air production which is needed for the dust transportation can take place. Ill. 1. Ref. 7. Tab. 2.

Key words: aluminous dust, aluminum hydroxide, heat balance, kiln, pneumatic transportation.

UDC 666.762.32.017:620.193.93]:66.041.57

Method for determination of refractories slag- and clinker-resistance for rotary kilns

Akselrod L. M., Maryasev I. G., Platonov A. A. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 59–64.

In the «Magnesit Group» Ltd a high-temperature drum-type plant has been developed and the new method was introduced to determine slag- and clinker-resistance of refractory materials using dynamic model. The method allows both the estimating objectively the clinker-resistance of cement-type refractories with different compositions and the efficiency of using these refractories in thermal vessels. Ill. 5. Ref. 3. Tab. 1.

Key words: refractories, slag-resistance, clinker-resistance, dynamic test procedure, drum-type rotary furnace,

UDC 666.762.93

The methods for AlN–BN-based composite ceramic materials formation (the review)

Kuftyrev R. Yu., Belyakov A. V., Kuznetsova I. G. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 65–73.

The article is concerned with the general methods for AlN–BN-based composite ceramic materials formation, the materials combining successfully the components' properties: the high heat conductivity and good mechanical characteristics of aluminum nitride are accomplished with the high dielectric behavior and easy workability of boron nitride. The following methods for obtaining ceramics out of powder mixtures are surveyed: the hot pressing, the reactive sintering, the spark-plasma sintering (SPS), as well as the methods allowing both the obtaining more homogeneous structure of materials, and the using organic and inorganic precursors. Ref. 35. Tab. 1.

Key words: composite material, aluminum nitride, boron nitride.

UDC 006:658.56]:666.76

The comparing of the domestic and foreign standards for refractory production testing using for the acceptance control

Efimova I. N. // *New Refractories*. — 2013. — No. 4. — P. 74–78.

The overview is given in the article about the comparison of the domestic and foreign testing and control standards which are applied for the refractory materials acceptance inspection. Tab. 1.

Key words: methods of testing, refractories, ultimate strength in compression, refractoriness, size residual variation when heating, temperature deformation evaluation, refractories resistance.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



12th International Conference on Ceramic Processing Science (ICCPs-12)

August 4-7, 2013 | Portland, Oregon

Abstracts due February 6, 2013

12-я Международная конференция по процессам обработки керамики (ICCPs-12)

4-7 августа 2013 г.

г. Портланд, США

Мощный двигатель для Вашего производства



Petronix. Движущая сила для совершенства Вашей стали.

Ускорьте темп Вашего успеха – с нашими превосходными агрегатами и сверхточными установками, производимыми со знаком «сделано в Германии». Торкрет-манипуляторы, установки для разогрева и сушки стальной заготовки, инновационные технологии для МНПЗ. Petronix предлагает индивидуальные решения для модернизации производственных процессов Вашего предприятия.



Barmer Str. 17 · 58332 Schwelm · Germany · Tel: +49(0)2336 4711-74 · www.petronix.de



Головной офис и дочерние предприятия VGH AG в Германии

VGH AG, г. Швельм
theramer GmbH, г. Хаттинген
Klaus & Klaus GmbH, г. Швельм
xanthurus GmbH, г. Швельм
Petronix Engineering GmbH, г. Швельм

Дочерние предприятия VGH AG

ЗАО «ВГХ», Россия
ООО «ВГХ-Украина», Украина
VGH Italia S.R.L., Италия
VGH China CO Ltd., Китай
VGH Refractories & Equipment LCC., США

Представительства VGH AG

Россия, г. Екатеринбург
Россия, г. Череповец
Республика Беларусь, г. Минск
Польша, г. Краков

YOUR STEEL. OUR PROFESSION.

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

