

**19–20 АПРЕЛЯ
2018 ГОДА**

МОСКВА, НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ МИСиС

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ **ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ**



ОТ МГА К НИТУ «МИСиС»
100 ЛЕТ
1918-2018
ОТКРЫВАЕМ НОВЫЙ ВЕК



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА —
ЖУРНАЛЫ «НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ»,
«СТАЛЬ», «METAL RUSSIA»,
ПОРТАЛ НИТУ «МИСиС»,
«БРЕНД-СЕРВИС. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ»
И А «МЕТАЛЛ-КУРЬЕР»

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Кажикенова С. Ш. Мониторинг технологических схем производства цветных металлов на металлургических предприятиях Казахстана..10	
Макаров В. Н., Давыдов С. Я., Макаров Н. В. Генезис экотехнологии в производстве строительных материалов.....10	
Мартынова Е. С., Бажин В. Ю., Никитина Л. Н. Контроль теплового состояния футеровки дуговой сталеплавильной печи.....11	
Саркисова Ж. В. Решения ГК «Термо Техно» для элементного и фазового анализов в огнеупорной отрасли.....12	
Сатбаев Б. Н., Кокетаев А. И., Аймбетова Э. О., Шалабаев Н. Т., Сатбаев С. Б. Проблемы и перспективы развития производства высокотемпературных композиционных материалов в Республике Казахстан.12	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Мануйлова Е. В., Симакова О. В. Магнийсодержащий сорбент для очистки технологических стоков.13	

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Глызина А. Э., Павлова И. А., Кашеев И. Д., Земляной К. Г. Изучение диатомитов Ильинского месторождения.....13	
Давыдов С. Я., Апакашев Р. А., Валиев Н. Г., Амдур А. М. Извлечение драгметалла из рудного сырья стройиндустрии.....14	
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Павлова И. А. Спекание керамических материалов на основе бокситизированных глин Северо-Онежского месторождения.....15	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Мануйлова Е. В. Эффективная стратегия использования минерально-сырьевой базы Группы «Магнезит»..15	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Мануйлова Е. В., Семенцов А. А. Группа «Магнезит» наращивает производственные мощности по выпуску плавного периклаза.....16	
Эйхельберг С. В., Филиппов С. Е., Шадеркин И. В. Комплексный анализ феррохромового шлака и способы его использования в промышленности.16	

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

Волкова Е. А. Идентификация технологического состояния системы экскаватор – самосвал – карьер.....17	
Головин Ю. И., Шуклинов А. В., Фарбер Б. Я., Лейтзел Т., Александер Р., Махоски Дж., Дьячек Т. А. Разработки компании Zircoa Inc. в области циркониевых огнеупоров.....18	
Дацко И. А., Данилова Ю. В., Ерошин М. А. Применение вторичного огнеупорного сырья в шамотном бетоне.....18	
Дацко И. А., Данилова Ю. В., Ерошин М. А., Мухамадеев Н. Е., Фахрутдинова М. Р. Бетонные хромсодержащие смеси MAGCAST ACR-852 и MAGCAST ACR-858.....19	
Дацко И. А., Данилова Ю. В., Ерошин М. А., Мухамадеев Н. Е., Фахрутдинова М. Р. Усовершенствование бетона Magcast AM 90/7.....19	
Кормина И. В., Кедин Н. А. Использование полимерного связующего в агломерации.....19	
Краснянский М. В., Егоров И. В., Попов А. Ю. Комплексные решения для монолитной футеровки сталеразливочных ковшей.....20	
Остапенко И. А., Логвинков С. М., Скородумова О. Б. Особенности применения минералов группы силлиманита в неформованных огнеупорах ПАО «Дружковский огнеупорный завод».....21	
Тимохова М. И. Способ квазиизостатического прессования керамических и огнеупорных изделий.....21	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Лаптев А. П., Пицик О. Н., Беспалова И. Г. Периклазовые огнеупоры для арматурного слоя футеровки с улучшенными теплофизическими свойствами.....22	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Мануйлова Е. В., Могильникова Е. С. Улучшение эксплуатационных характеристик периклазоизвестковых масс для набивки подины и ремонта откосов электропечей.....22	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Пицик О. Н., Найман Д. А. Периклазовый огнеупор с высокой устойчивостью к термическому воздействию в условиях переменного состава рабочей среды.....23	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Поспелова Е. И. Массы Группы «Магнезит» для рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей торкретированием.....24	
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Поспелова Е. И., Валеева Л. А. Массы Группы «Магнезит» для горячего ремонта футеровки металлургических агрегатов.....24	
Турчин М. Ю., Устинов В. А., Пицик О. Н., Киселева Е. А. Освоение производства периклазогерцинитовых огнеупоров на Саткинской производственной площадке Группы «Магнезит».....24	

Ярушина Т. В., Ерошин М. А., Турчин М. Ю., Лаптев А. П. Модифицированный периклазоуглеродистый огнеупор с повышенной устойчивостью к трещинообразованию.....25

Ярушина Т. В., Платонов А. А., Мигашкин А. О., Ерошин М. А. Новые шпинелеобразующие углеродсодержащие огнеупоры ПАО «Комбинат «Магнезит» для футеровки сталеразливочных ковшей.....26

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Таугер В. М., Казаков Ю. М., Волков Е. Б. Пневмотранспорт с использованием кинетической энергии контейнеров.....26	
Давыдов С. Я., Семин А. Н., Иванова Н. С. Использование укрывных устройств в стройиндустрии.....27	
Макаров В. Н., Давыдов С. Я., Макаров Н. В., Сазонов Д. В. Вихревая аэрация — технология повышения качества многокомпонентного сырья.....28	

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Абызов В. А., Посаднова Н. Е. Фосфатный жаростойкий клей и ячеистый бетон на основе алюмосиликатных промышленных отходов..29	
Абызов В. А., Речкалов Д. А., Черногорлов С. Н. Огнеупорные глиноземистые цементы на основе шлаков алюминотермического производства ферросплавов.....30	
Бардин Н. Г., Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Кузнецов А. В., Швецов А. А., Макаров Н. А. Покрытие системы $\text{HfB}_2\text{--SiC}$ на углерод-углеродном композиционном материале.....30	
Бардин Н. Г., Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Швецов А. А., Макаров Н. А. Формирование SiC-покрытия на УУКМ методом парового силицирования.....31	
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Огнеупорный бетон из форстеритового концентрата Ковдорского ГОКа.....32	
Беляков А. В., Церман С. И. Торцевой алмазный инструмент на базе «умных» сегментов для обработки хрупких материалов.....33	
Бесиса Д. Х. А., Эвайс Э. М. М., Шалаби Э. А. М., Усенко А., Ахмед Я. М. З., Кузнецов Д. В. Карбидно-нитридные керамические композиты для получения термоэлектрической энергии.....33	
Боровик С. И., Солдатов А. И. Модифицирование зерен плавного периклаза каменноугольными связующими.....34	
Вареникова Т. А., Дороганов В. А., Мишин Д. А., Дороганов Е. А., Шарыгин А. В. Огнеупорные материалы на основе алюмотермических шлаков.....35	
Головин Ю. И., Жигачев А. О., Умрихин А. В., Родаев В. В. Циркониевая керамика инженерного назначения на основе отечественного бадделита.....36	
Гревцев Н. В., Давыдов С. Я., Тяботов И. А., Олейникова Л. Н. Механизм структурообразования полидисперсных органоминеральных систем при получении поризованной керамики.....36	
Гудовских П., Вормейер Кр., Оврей Ж.-М., Цеттерстром К. Влияние состава и свойств огнеупорных бетонов на процесс их сушки..38	
Демидович В. Б., Перевалов Ю. Ю., Абдулхаков И. Ю., Баранкова И. И. Особенности использования футеровки в установках для индукционной заковки крупногабаритных валков прокатных станов.....38	
Демин Е. Н., Речкалов А. А. Пенокерамическое покрытие для защиты керамоволокнистой футеровки.....39	
Дружинина М. Э., Лучникова Г. Г., Суворов Д. С., Хайдаров Б. Б., Кузнецов Д. В. Исследование вяжущих на основе доменных гранулированных шлаков с добавками цементного клинкера.....40	
Зданиявичус П., Антонович В., Борис Р., Стонис Р., Шукис Р., Витек Е. Исследование модифицированного жаростойкого бетона в зависимости от сорта шамотного заполнителя.....40	
Зубащенко Р. В. Кинетика спекания керамоволокнистых изделий муллитокорундового состава.....40	
Зубащенко Р. В., Кузин В. И. Структурный фактор теплопроводности волокнисто-армированных композиционных материалов муллитокорундового состава с керамической матрицей.....41	
Зубащенко Р. В., Павлюшин М. А. Оптимизация состава алюмосиликатных конструктивно-теплоизоляционных изделий, армированных муллитокремнеземистым волокном.....41	
Иванов К. С. Технология синтеза пеностеклокерамики из опалкристиобалитовых пород.....41	
Калиш Д., Куглин К., Синельников В. О., Грабовы М. Эффективность удаления включений Al_2O_3 из стали в результате столкновения и агломерации в керамических фильтрах.....42	

Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Хафизова А. Р. Изучение возможности получения низкоцементных магнезиальных бетонов.....	43	Ягофаров В. Ю., Назаренко А. А., Филатенков А. Э., Рева В. П. Механохимический синтез карбида гафния с участием различных углеродных компонентов.....	60
Козлов В. В. Оптимизация шлакового режима и стабилизация шлаков внепечной обработки стали для повышения ресурса футеровки.....	43	Ярушина Т. В., Платонов А. А., Аксельрод Л. М., Хайдаров Б. Б., Суворов Д. С., Кузнецов Д. В. Влияние ГМУНТ на свойства огнеупоров состава MgO–С с ультранизким содержанием углерода: огнеупоры нового поколения.....	60
Кушнерев И. В., Оржих М. Б., Либанов Б. Б., Коротеев С. А., Платонов А. А., Плюхин В. В. Стабилизация шлаков внепечной обработки стали от силикатного распада.....	44		
Куценко К. И., Крахмаль Ю. А., Мишнева Ю. Е. Совершенствование технологии высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики.....	44	ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ	
Лотфи А., Поздняков А. В., Золоторевский В. С., Шалаби Э. А. М. Микроструктура и разрушение при ползучести композитов на основе сплава Cu–0,8Mn с добавками Al и Ba.....	45	Амелин А. В., Календа А. В., Ермохина Т. Ю. Перспективные направления повышения стойкости сталеразливочных ковшей ККЦ № 2 ЕВРАЗ ЗСМК.....	61
Лучникова Г. Г., Дружинина М. Э., Суворов Д. С., Хайдаров Б. Б., Кузнецов Д. В. Исследование свойств золо-шлаковых минеральных вяжущих, полученных с использованием вихревой электромагнитной гомогенизации.....	45	Амелин А. В., Календа А. В., Ермохина Т. Ю., Вебстер Э., Гончаров А. А. Комплексный подход к увеличению стойкости футеровки сталеразливочных ковшей в ЕВРАЗ ЗСМК с применением материалов компании Ра-На-Ge.....	61
Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Бабкина Л. А., Хончик И. В., Никулина Л. Н. Низкоцементная бетонная смесь основного состава.....	46	Брехачев Ю. С. Продление срока службы подины кольцевых печей ТПЦ от двух лет до трех.....	62
Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Бабкина Л. А., Хончик И. В., Никулина Л. Н. Низкоцементная бетонная смесь основного состава.....	46	Вдовин К. Н., Точилкин Василий В., Умнов В. И., Шахов С. И. Огнеупорные изделия подсистемы защитная труба – промежуточный ковш МНЛЗ.....	63
Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Шулик И. Г., Гальченко Т. Г., Процак Е. Б. Совершенствование технологии изделий из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, для установок выращивания монокристаллов.....	46	Вдовин К. Н., Точилкин Виктор В., Умнов В. И., Шахов С. И. Разливка металла и разработка огнеупорных изделий для разливочного отверстия промежуточного ковша МНЛЗ.....	63
Павлова И. А., Земляной К. Г., Валиева Л. Б. Разработка масс для реконструкции футеровки МГД-перемешивателя.....	47	Вдовин К. Н., Ушаков С. Н., Мельничук Е. А., Точилкин Василий В. Конструкции огнеупорных изделий для разливочной камеры промежуточного ковша МНЛЗ.....	64
Павловец А. Ю., Кашеев И. Д., Павлова И. А., Земляной К. Г., Климарев В. А. Экономическая и энергетическая эффективность применения низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC) в области приборостроения.....	48	Галенко И., Гартен В., Аксельрод Л. Монолитная футеровка сталеразливочных ковшей. Особенности эксплуатации.....	64
Перепелицын В. А., Дунаева М. Н. Щелочеустойчивость огнеупорных бетонов.....	48	Головин Ю. И., Шуклинов А. В., Фарбер Б. Я., Лейтзел Т., Александер Р., Махоски Дж., Тейлор Р., Дьячек Т. А. Партнерство компаний Zircoa Inc. и Dyson Technical Ceramic в производстве огнеупоров на основе диоксида циркония.....	64
Перепелицын В. А., Ягвцев А. В. Термодинамические и кристаллохимические основы совершенствования огнеупоров.....	49	Гурский А. В., Мазов М. М., Кондрукевич А. А., Каракай С. Н., Съёмщиков Н. С. Комплексная футеровка главного желоба доменной печи.....	65
Пундиене И., Пранцкевичене И., Клигис М., Гирскас Г. Влияние добавки ценоффер на свойства жаростойкого легковесного бетона.....	50	Иванова О. Б., Ушаков Н. В., Данилова О. Ю., Данилов Д. В. Комплексная поставка карбидкремниевых огнеупоров Волжского абразивного завода.....	66
Саитов А. В., Бажин В. Ю. Защита углеграфитовой футеровки от внедрения натрия после предварительной обработки поверхности литием.....	51	Коржавин А. Ю., Витовский А. В., Мусевич В. А., Хайченко М. В. Опыт применения огнеупоров АО «БКО» в АО «ОЭМК».....	66
Семченко Г. Д., Шабанова Г. Н., Бражник Д. А., Старолат Е. Е., Рожко И. Н., Руденко Л. В. Использование элементоорганического соединения для модифицирования фенолформальдегидной смолы в периклазоуглеродистых огнеупорах.....	52	Коростелёв А. А., Съёмщиков Н. С., Семин А. Е., Котельников Г. И. Повышение стойкости футеровки ДСП при использовании ГБЖ в завалке.....	67
Синельников В. О., Калиш Д. Экспериментальное определение химического состава шлака и футеровки кислородного конвертера.....	52	Косолапов А. А., Максимов М. В., Лундгард К., Кимо П. Опыт эксплуатации плотной вермикулитовой теплоизоляции производства компании «Скамол» в сталеразливочном ковше.....	68
Соков В. Н. Создание теплоизоляционных ячеистых огнеупоров при комплексном воздействии на пеномассу электрогидротеплосиловым полем.....	53	Лубяной Д. А., Мамедов Р. О., Люшуков В. А. Поведение кислой футеровки печи в дуговых и индукционных печах при плавке с термовременной обработкой.....	68
Соколов В. А., Гаспарян М. Д., Ремизов М. Б., Козлов П. В. Выбор огнеупорных материалов для электрических печей остекловывания радиоактивных отходов.....	53	Немсадзе Г. Г., Джоджуа Р. А., Смирнов А. Н., Шарандин К. Н., Рябый Д. В. Универсальные фильтрующие системы как эффективный способ повышения качества металлопродукции.....	69
Столин А. М., Бажин П. М. Новые возможности получения огнеупорных плит и слоистых композитов методами СВС.....	54	Словиковский В. В., Гуляева А. В., Комаровский В. А., Золотухин В. В., Шемелин В. А. Футеровка элементов кладки, подверженная повышенному эрозионному износу.....	70
Суворов С. А., Козлов В. В., Арбузова Н. В. Потенциальные ресурсы продления эксплуатации конструкций из огнеупоров.....	55	Словиковский В. В., Гуляева А. В., Комаровский В. А., Шемелин В. А. Влияние режимов разогрева футеровки тепловых агрегатов на стойкость огнеупорной кладки.....	70
Суворов С. А., Козлов В. В., Арбузова Н. В. Фазовый состав и регулятивное формирование свойств карбонированных шпинельнокорундовых огнеупоров.....	56	Точилкин Виктор В., Чиченева О. Н., Умнов В. И., Точилкин Василий В. Разработка стенда для подготовки комплекта огнеупорных изделий промежуточного ковша.....	71
Фёдоров С. Н., Бажин В. Ю., Васильев В. В., Куртенов Р. В. Фор-опыт по стабилизации анатаза TiO ₂ Cl-ионом, полученным из TiCl ₄	57	Турчин М. Ю., Сухарев С. В., Заболотский А. В., Шестаков А. В., Бердышев А. А., Скрипник А. В. Разработка и внедрение инновационного металлоприемника для промежуточных ковшей слябовых МНЛЗ.....	72
Чепчугов М. С., Евтушенко Е. И., Горбунова Н. М., Дороганов В. А., Дороганова О. В., Локтионов В. А. Аддитивная печать с применением каолиновых глин.....	58	Фехнер Р., Бросс Р., Крутиков Д. В., Гончаров А. А. Технология применения сухих терморективных смесей для футеровки промежуточного ковша.....	72
Шалаби Э. А. М., Чурюмов А. Ю. Термический анализ композитов A359/SiC, применяемых в автомобильной промышленности.....	58	Ярушина Т. В., Платонов А. А., Мигашкин А. О., Аношкин И. В., Бессольников А. А., Ерошин М. А. Механизм коррозии периклазохромитовых прямосвязанных огнеупоров во всасывающем патрубке RH-вакууматора.....	73
Шатохин И. М., Манашева Э. М., Зияудинов М. Х., Манашев И. Р. Роль нитрида ферросилиция в повышении стойкости леточных масс.....	59		
Шаяхметов У. Ш., Шаяхметов А. У., Хамидуллин А. Р., Куланбаева З. М., Ахметшина Г. Г. Спекание и структура малоусадочной композиционной керамики на основе ZrO ₂	59		

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА

(✉)

E-mail: sauleshka555@mail.ru

© Д. т. н. **С. Ш. Кажикенова** (✉)

Карагандинский государственный технический университет, г. Караганда, Казахстан

Проведен энтропийно-информационный анализ качества технологических переделов производства меди и свинца на металлургических предприятиях Казахстана в зависимости от способа плавки. Предложены расчетные формулы, устанавливающие критерий мониторинга рассматриваемых металлургических процессов.

На основании проведенных исследований способов плавки цветных металлов на примере производства меди и свинца установлены приоритетные автогенные процессы. Из всех способов осуществления реакционной свинцовой плавки КИВЦЭТ дает наилучшие технико-экономические показатели. Как показывает опыт развития металлургического производства, технология

переработки медных, никелевых и некоторых свинцово-цинковых руд совершенствуется на базе автогенных процессов. Этот факт подтверждается приведенными в данной работе расчетами, полученными на основе информационной энтропии Шеннона. В качестве основных инструментов мониторинга различных металлургических производств цветных металлов использован новый метод оценки технологической схемы, позволяющий установить ее надежность на основе фундаментальных закономерностей теории информации. Полученные информационные формулы для мониторинга технологических схем могут быть использованы не только в металлургической, но и в любой другой технологии.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГЕНЕЗИС ЭКОТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(✉)

E-mail: davidovtrans@mail.ru

© Д. т. н. **В. Н. Макаров**, д. т. н. **С. Я. Давыдов** (✉), к. т. н. **Н. В. Макаров**

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

Пыль, образующаяся на предприятиях строительной индустрии, весьма разнообразна по свойствам, химическому и дисперсному составу. Все горные породы (и пыль горных пород) делятся по способу образования на три большие группы: изверженные, осадочные и метаморфические. Изверженные породы (гранит, диорит и им подобные) широко используют в производстве щебня, необходимого для получения высокопрочных бетонов. Пыль осадочных пород — это пыль песка, каолина, глины, доломита, известняка. Осадочные породы наиболее широко применяют в производстве строительных материалов. Например, песок является сырьевым материалом силикатного и глиняного кирпича, стеклянного и минерального волокна, а также входит в состав керамических изделий. Метаморфические породы — гнейс, кварцит, талькомагнезит используют в производстве огнеупорных материалов. Следует отметить силикозопасность пыли метаморфических пород, так как наличие свободной SiO_2 в кварцевой пыли достигает 70–85 %.

Существенное влияние на эффективность пылеподавления в технологических процессах подготовки компонентов исходного сырья для производства строительных материалов оказывают плотность орошения и удельный расход воды. При этом низконапорное орошение не улавливает мелкие фракции пыли, наиболее пневмокониозоопасные для человеческого организма. Определяющую роль в увеличении эффективности коагуляционного взаимодействия капель воды и частиц пыли играет именно кинетическая энергия движения капель распыляемой воды, а не общий ее расход. Для

низконапорного распыления жидкости влияние начального участка факела на общую эффективность коагуляции не столь существенно из-за малой кинетической энергии диспергируемой струи. Динамически активный начальный участок с высокой кинетической энергией капель при высоконапорном гидрообеспыливании играет определяющую роль в общей эффективности захвата и коагуляции пылевых частиц каплями воды.

Поскольку пылеподавление фактически возможно только при непосредственном контакте капли жидкости с частицей пыли, то механизм именно этого процесса необходимо изучить для разработки технологии и соответствующих технических средств, обеспечивающих наиболее комфортные условия для его эффективного осуществления. Технически коагуляция представляет собой результат столкновения двух фаз — жидкой и твердой. Соударение происходит при контакте капли жидкости и частицы пыли, при этом сам факт коагуляции, т. е. поглощения пыли жидкостью, может и не наступить, поскольку для окончательного захвата и перехода в единую систему капля жидкости — частица пыли необходимо, чтобы силы инерции частиц пыли были больше сил адгезии и смачивания.

Цель моделирования кинематических и динамических параметров системы капля жидкости — частица пыли в процессе предлагаемой вихревой инерционной ортокинетической гетерокоагуляции — исследование механизма кинематической коагуляции в условиях действия присоединенного в зоне контакта индуцированного вращающегося вихря капель жидкости. Пред-

ложенная математическая модель вихревой кинематической коагуляции послужит основой подготовки рекомендации по совершенствованию технологического оборудования динамического высоконапорного гидрообеспыливания, созданию энергоэффективных вихревых форсунок для установок пылеподавления.

В данной работе рассмотрен механизм целенаправленного управления краевым углом смачивания и кинетической энергией взаимодействия капель жидкости и частиц пыли. С ростом краевого угла смачивания частиц пыли величина энергии поглощения их каплями жидкости снижается, что позволяет обеспечить заданный уровень эффективности обеспыливания при меньших энергозатратах либо расширить диапазон поглощения частиц пыли меньшего размера, т. е. повысить эффективность пылеподавления при заданных энергозатратах. Таким образом, для снижения энергоемкости высоконапорного гидродинамического пылеподавления необходимо изменить кинематику взаимодействия капли жидкости и частиц пыли в зоне контакта. С учетом вышеизложенного это возможно за счет влияния инерционной силы, обусловленной вращением капли жидкости вокруг ее оси, совпадающей с вектором скорости.

При вращении капли жидкости с угловой скоростью $\omega_{\text{ж}}$ вокруг ее поверхности и в зоне контакта согласно условию Гельмгольца – Бернулли создается область раз-

режения, т. е. пониженного статического давления на величину удельной энергии присоединенного вихря, скорость которого согласно гидродинамической аналогии определяется по известной в теории электродинамики формуле Био – Саварра. Таким образом, присоединенный вихрь, обусловленный вращением капли жидкости, уменьшая статическое давление в зоне ее контакта с частицей пыли, способствует снижению аэродинамического энергетического барьера. Кроме того, дополнительно за счет инерционной силы увеличивается краевой угол смачивания до величины $\theta_{\text{ш}}$, что снижает уровень запрещающего поверхностно-адгезионного барьера.

Таким образом, вращательное движение капли жидкости увеличивает фактическое эффективное значение критериев Стокса и Рейнольдса в зоне контакта, способствуя снижению как запрещающего уровня поверхностно-адгезионного энергетического барьера, так и критического уровня аэродинамического энергетического барьера.

Применение предложенной вихревой кинематической коагуляции позволяет на 20 % снизить расход воды по сравнению с классическим высоконапорным гидрообеспыливанием, доведя его до 8 л/т, и существенно уменьшить медианный размер диспергированного состава частиц пыли, повышая тем самым эффективность пылеулавливания до 99 %.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

КОНТРОЛЬ ТЕПЛОвого СОСТОЯНИЯ ФУТЕРОВКИ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

(✉)

E-mail: lisochka-solnce@mail.ru

© Е. С. Мартынова (✉), д. т. н. В. Ю. Бажин, к. т. н. Л. Н. Никитина

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Санкт-Петербург, Россия

Дуговые сталеплавильные печи (ДСП) характеризуются прерывным циклом работы, при котором наблюдается существенное воздействие на футеровку шахты печи. Типовая дуговая сталеплавильная печь ДСП-90, которая эксплуатируется на Ростовском электрометаллургическом заводе, является печью периодического действия, цикл выплавки стали в дуговой печи составляет 50–55 мин, а температура металла достигает 1620–1630 °С. После выливки металла температура футеровки снижается до 700–800 °С. Такие перепады температуры отрицательно сказываются на состоянии футеровки печи (микротрещины, изменение толщины швов, сколы и изломы). Кроме того, особенности эксплуатации ДСП влияют на теплофизические свойства самих элементов футеровки (металлизация и зашлакованность), а следовательно, и изменяют тепловой баланс агрегата, что вызывает необходимость постоянной корректировки мощности дуги. От потерь тепла, которые происходят через футеровку печи, напрямую зависят КПД печи и потребляемая энергия.

В настоящее время техническое состояние футеровки на работающих промышленных печах определяют в основном визуальным осмотром наружной поверхности, данные математического моделирования теплового поля при изменении мощности дуги

не используются. При этом существующие методы контроля ДСП и уровень автоматизации не соответствуют современным тенденциям развития техники и физико-химическим условиям плавильных процессов многокомпонентных сплавов, что приводит к преждевременному выходу из строя электродов и футеровки печей, а также к большому количеству брака при низком выходе годной продукции.

Для контроля и управления температурным режимом и его тепловым состоянием по всему объему металлургического агрегата (ДСП) разработан программный алгоритм в рамках пакета SE. Встроенные термопары фиксируют значение температуры в зависимости от изменения длины дуги, степени нагрева шихты и расплава в шахте печи. Регулятор согласует значения температуры футеровки со всех точек измерения и подает сигнал об изменении положения электродов на привод управления. Если теплофизические свойства футеровки в процессе эксплуатации меняются, вводится поправочный коэффициент, чтобы расчетные значения температуры совпадали с измеренными текущими данными.

На основе такого алгоритма планируются построение системы контроля показателей теплового режима печи ДСП-90 и ее использование для стабильного технологического состояния плавки многокомпонентной шихты.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

РЕШЕНИЯ ГК «ТЕРМО ТЕХНО» ДЛЯ ЭЛЕМЕНТНОГО И ФАЗОВОГО АНАЛИЗОВ В ОГНЕУПОРНОЙ ОТРАСЛИ

(✉)

E-mail: olga.morozova@thermotechno.ru

© **Ж. В. Саркисова** (✉)

ООО «ТТ Аналитика», Москва, Россия

Группа компаний «Термо Техно» более 17 лет работает в сфере аналитического и испытательного оборудования для промышленности и научно-исследовательской отрасли.

ГК «Термо Техно» предлагает широкую линейку оборудования для проведения экспрессного химического анализа, рентгенофазового анализа, подготовки проб, физико-механических испытаний материалов, материалаграфии, анализа мелкодисперсных материалов, анализа пористости материалов, системы автоматизации пробоотбора, пробоподготовки и лабораторных процессов и для других, в том числе нестандартных, задач. ГК «Термо Техно» является эксклюзивным представителем в России и странах СНГ швейцарского завода ARL — крупнейшего мирового производителя аналитического оборудования.

Решения ГК «Термо Техно» для выполнения элементного и фазового анализов в огнеупорной промышленности:

- инструментальные методы анализа в огнеупорной промышленности;
- сравнение методов подготовки проб огнеупоров: сплавления и прессования;
- результаты и примеры анализа химического состава огнеупоров экспресс-методами;
- использование рентгеновской дифракции в огнеупорной промышленности: возможности и преимущества.

Совместный Демоцентр ГК «Термо Техно» и НИТУ МИСиС предоставляет возможность специалистам различных отраслей ознакомиться с оборудованием для проведения материаловедческих исследований полного цикла: анализа химического и фазового составов материалов, металлографического анализа, исследований физико-химических свойств.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

(✉)

E-mail: de7482@mail.ru

© **Д. т. н. Б. Н. Сатбаев**, **д. т. н. А. И. Кокетаев**, **Э. О. Аймбетова** (✉), **Н. Т. Шалабаев**, **С. Б. Сатбаев**
РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», г. Астана, Республика Казахстан

Для развития производства высокотемпературных композиционных материалов Республика Казахстан обладает достаточными сырьевыми ресурсами. Имеются значительные запасы тугоплавких глин, кварцита, хромруды, мелкие месторождения магнезита, циркона, талькомагнезита, бокситов, а также техногенные отходы ГМК (до 25 млрд т), которые могут использоваться как сырье для производства композиционных материалов (общеизвестно, что в настоящее время перерабатывается не более 2 % всех накопленных твердых отходов). Потребность в высокотемпературных и коррозионно-стойких материалах только на крупных предприятиях, таких как «Казцинк», «Корпорация «Казахмыс», «ТНК Казхром» и др., оценивается на уровне 120–150 тыс. т в год (200–210 млн долл. США). Традиционные огнеупоры не обеспечивают высокую химическую стойкость, поскольку они предназначены для защиты от высокой температуры (>1500 °C); многие материалы обеспечивают химическую стойкость (>95 %) обычно при невысоких температурах (до 1000 °C).

Реализация предлагаемой нами технологии производства новых композиционных материалов, обладающих свойствами «два в одном» (огнеупоры + химическая стойкость), очень актуальна для нашей республики, так как для производства композиционных материалов в основном используются отходы металлургических производств. Новые химически

стойкие и высокотемпературные материалы обладают рядом технологических преимуществ: высокой прочностью, химической стойкостью, термо- и износостойкостью, низким коэффициентом трения, широкой и доступной сырьевой базой, простотой и гибкостью технологии производства. Кроме того, разработанные ранее авторами новые виды высокотемпературных материалов имеют высокую стойкость во влажной среде (низкий показатель водопоглощения) — важный показатель для материалов, которые эксплуатируются в подобных средах (в частности, в химических реакторах и резервуарах для хранения и т. п.).

Предлагаемая технология производства композиционных материалов имеет следующие преимущества по сравнению с существующими:

- высокое качество продукции вследствие формирования связующей части изделий при высокой температуре — обеспечиваются высокие химическая (от 95 до 99 %) и термическая стойкость (17–23 теплосмены) и огнеупорность (>1500 °C);

– существенное снижение температуры обжига изделий (некоторые составы достаточно подвергать только термообработке посредством нагрева и охлаждения по подобранным режимам, которые зависят от состава шихты и влияют на получение качественного материала) за счет применения новых технологий комбинирования сырьевых составляющих с экзотермиче-

скими смесями, что обеспечивает самоспекание композиционного материала;

- использование местного минерального сырья и дешевых металлургических отходов;
- экологически чистая технология;

– незначительные капитальные затраты для организации производства по данной технологии;

- возможность производить большой ассортимент продукции (формованные, неформованные и фасонные изделия) с широким спектром применения.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

МАГНИЙСОДЕРЖАЩИЙ СОРБЕНТ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТОКОВ

E-mail: emanuylova@magnezit.com

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, Е. В. Мануйлова (✉), О. В. Симакова
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Одним из основных источников загрязнения водных ресурсов тяжелыми металлами являются сточные воды металлургических производств. Промышленные стоки, содержащие тяжелые металлы, как правило, представляют собой кислые водные растворы, в которых токсичные вещества присутствуют в виде ионов. Наибольшую опасность представляют комплексные формы тяжелых металлов, которые теоретически и экономически целесообразно извлекать методами сорбции ионного обмена.

Разработанные в условиях Группы «Магнезит» сорбенты на основе магнийсодержащих материалов обеспечивают поглощение ионов тяжелых металлов за счет ионообменной адсорбции, характеризующейся замещением ионов магния на катионы извлекаемых металлов. Определение эффективности сорбентов при поглощении тяжелых металлов проводили в статических условиях в соотношении твердое : жидкое, равном 1 : 30 соответственно. Использовали модельный раствор, содержащий катионы меди. После контакта с

сорбентом концентрация катионов меди в модельном растворе снизилась от 415 до 0,26 мг/л. После положительных результатов лабораторных исследований сорбента были проведены испытания на производственных стоках, полученных от потенциальных потребителей.

Результаты химического анализа воды с производственного объекта до и после сорбции показали, что разработанный сорбент эффективно очищает воду от катионов тяжелых металлов. После контакта с водой сорбенты исследовали на электронном и оптическом микроскопах, а также с применением рентгенофазового анализа. На поверхности гранул сорбента и в их объеме происходит осаждение оксидов железа, меди, цинка, формируя локальные «щетки» кристаллов и образования округлой кораллоподобной формы. Глубина проникновения солей в центр гранулы сорбента зафиксирована до 600 мкм. Полученные результаты показали, что разработанный сорбент обладает большой статической емкостью по отношению к ионам железа и другим вредным примесям.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИЗУЧЕНИЕ ДИАТОМИТОВ ИЛЬИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

E-mail: htoko@yandex.ru

© А. Э. Глызина, К. Т. Н. И. А. Павлова (✉), Д. Т. Н. И. Д. Кашеев, К. Т. Н. К. Г. Земляной
ФГАУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Природный диатомит относится к экологически чистым материалам, а материалы на его основе являются нетоксичными, безопасными, огнеустойчивыми и обладают хорошей совместимостью с другими материалами. Материалы (изделия, порошки, засыпки и т. п.) обладают хорошей теплоизолирующей способностью, обусловленной особой природной структурой. В связи с этим предложено применение диатомита Ильинского месторождения в качестве теплоизолирующей смеси (ТИС) для засыпки зеркала металла. Для эффективного применения ТИС должны обладать определенной температурой плавления и теплоизолирующей способностью.

Изучены диатомиты Ильинского месторождения, представленные осадочными кремнеземистыми породами органогенного происхождения. Порода тонкозернистая, легко растирается между пальцами, пористого строения. С химической точки зрения исследуемый диа-

томит представляет собой кремнеземистую породу, состоящую из SiO_2 (от 60–98 %). Состав примесей, мас. %: Al_2O_3 9,45, Fe_2O_3 4,00, CaO 0,98, MgO 1,16, K_2O 1,27, Na_2O 0,32, TiO_2 0,56, $\Delta m_{\text{прк}}$ 7,01 (в виде H_2O , CO_2 и органических соединений). Диатомит относится к аморфным метастабильным материалам, обладающим некоторой избыточной энергией. При нагревании неустойчивый при низких температурах метастабильный диатомит переходит в стабильное состояние — кристобалит. Температура перехода, по литературным данным, выше 800 °С.

Диатомит состоит из микрокремнезема и безводной кремниевой кислоты, находящейся в аморфном состоянии. Присутствие аморфно-кристаллических разновидностей сырья подтверждается эндотермическими эффектами при нагревании до 400 °С. Основная влага (80 % общей потери массы) удаляется при нагреве до 400 °С, остальная влага удаляется при нагреве до 1200 °С

и появляются рефлексы (на рентгенограммах), присущие метакристобалиту. По минеральному составу диатомит представлен опалом (SiO_2 и H_2O), монтмориллонитом в виде нонтронита $\{(\text{CaO}, \text{Na}_2\text{O})\text{Fe}_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}\}$, кварцем. Присутствие монтмориллонита в диатомите придает ему способность пластически деформироваться при увлажнении водой, при этом число пластичности (по ГОСТ 21216) составляет 16, что позво-

ляет отнести диатомитовую пробу к среднепластичному сырью. Технологические испытания показали возможность прессования образцов как пластическим способом (при влажности 25 %), так и полусухим (при 20 %).

Предварительные испытания показали, что на основе диатомитов Ильинского месторождения возможно получение гранулированных теплоизоляционных смесей в качестве теплоизоляционной засыпки.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДРАГМЕТАЛЛА ИЗ РУДНОГО СЫРЬЯ СТРОЙИНДУСТРИИ



E-mail: davidovtrans@mail.ru

© Д. Т. Н. **С. Я. Давыдов** (✉), д. х. н. **Р. А. Апакашев**, д. т. н. **Н. Г. Валиев**,
д. т. н. **А. М. Амдур**
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

В силикатно-карбонатных рудах песчано-гравийных месторождений находятся примеси золота в ассоциированном тонкодисперсном и вкрапленном состоянии. Одним из экономически выгодных направлений использования глинистого и силикатно-карбонатного минерального сырья является получение на его основе стеновых керамических изделий с высокими эксплуатационными свойствами.

Опыты проводили с силикатно-карбонатной среднезернистой рудой серого цвета. Руда характеризуется весьма сложным составом. По результатам химического и фазового анализов основными породообразующими минералами руды являлись: кальцит (45,8 %), кварц (18,5 %), доломит (12,5 %), плагиоклаз (9,2 %), мусковит (5,9 %) и пирит (3,6 %). В качестве второстепенных и редких минералов в руде обнаружены оксиды и гидроксиды железа, такие как гётит, гидрогётит и гематит, суммарное содержание которых составляет 4,5 %. Компонентом руды является золото, его содержание $3,6 \cdot 10^{-4}$ мас. %. Пирит распределен в силикатных и карбонатных породах с ассоциированным с ним тонкодисперсным золотом. По результатам фазового анализа основная часть золота представлена в сростках с сульфидами. Золото находится в тонкодисперсном виде (<10 мкм), оно ассоциировано с пиритом и арсенопиритом, а также заключено в кварце и минералах железа и не извлекается цианированием. Эта руда относится к упорным типам руд.

Установлено, что при температурах, превышающих температуру плавления золота и минерального сырья (1300 °C), и выдержке в течение 10 мин распределение частиц золота резко меняется по объему расплава. На поверхности образующегося оксидного расплава (шлака) наблюдаются шарообразные выделения металла размерами от 1 до 500 мкм и более, которых не было в пробе исходной руды. В объеме расплава концентрация золота минимальна. Поскольку золото практически не вступает в реакции с другими веществами, его химическое взаимодействие с оксидным расплавом будет небольшим, адгезия мала и краевой угол смачивания выше 90 град. Поэтому с точки зрения уменьшения свободной энергии системы капле золота выгодно меньше контактировать с оксидным расплавом и больше с га-

зом, что и реализуется при выделении капель золота на поверхности расплава. Плотность золота примерно в 8 раз больше плотности оксидного расплава. Следовательно, радиус флотирующихся пузырьков капелек золота должен по крайней мере в 2 раза превышать их радиус. Изучение микрофотографий оксидного расплава после нагрева до 1300 °C показало присутствие пузырьков радиусом 750 мкм, что достаточно для флотации крупных капель золота.

В процессе флотации идет коагуляция капель золота, так как их размеры на поверхности шлака после охлаждения значительно превышают исходные, достигая в ряде случаев 500 мкм и более. Если пробу исходной руды не продувают газом, то золото на поверхности расплава не обнаруживается. Это указывает на определяющую роль флотации для выделения золота на поверхности расплава. Таким образом, в процессе нагрева внешним источником дисперсные капли золота движутся к поверхности руды по порам под действием термокапиллярного давления. После расплавления минерального сырья они флотируются пузырьками газов. В процессе флотации идет коагуляция. В результате происходят концентрирование золота на поверхности образующегося оксидного расплава-шлака и укрупнение частиц до размеров, позволяющих извлекать частицы золота гравитационными и другими методами. Работа устройства для извлечения золота проведена в лабораторных условиях. Режим продувки контролировали визуально через технологическое отверстие в верхней части печи. Продувку расплава осуществляли в течение 20 мин. После слива и кристаллизации первой порции расплава присутствие частиц золота в полученном материале фиксировали с помощью оптического микроскопа Axiolmage. Установлено, что на поверхности закристаллизовавшегося расплава наблюдаются шарообразные выделения золота размерами 500 мкм и более, которых не было в пробах исходной руды.

Таким образом, можно сделать вывод о промышленной применимости предложенного устройства для обогащения золотосодержащего материала с использованием термокапиллярного эффекта и флотации для извлечения золота из труднообогатимого золотосодержащего минерального сырья и техногенных образований.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СПЕКАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БОКСИТИЗИРОВАННЫХ ГЛИН СЕВЕРО-ОНЕЖСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(✉)

E-mail: kir77766617@yandex.ru

© Д. Т. Н. И. Д. Кащеев, к. т. н. К. Г. Земляной (✉), к. т. н. И. А. Павлова
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

■ Исследовано влияние зернового состава алюмосиликатного материала на его спекаемость. Определен зерновой состав исходной керамической массы, являющейся высокодисперсной, с размером частиц, достигающим около 170 мкм, содержание которых составляет примерно 60 мас. %; частиц размерами менее 0,5 мкм в общей массе шихты не более 7,0 мас. %. На кривой распределения зернового состава выделяются четыре группы частиц с медианными диаметрами 0,2, 0,5, 20 и 70 мкм, содержание которых примерно одинаково. Показано, что домол исходной керамической массы до 100 % фракции мельче 10 мкм позволяет увеличить содержание фракции мельче 0,5 мкм от 7,0 до 18,1 мас. %; при этом кривая распределения зерен имеет один максимум с медианным диаметром частиц 0,6 мкм, содержание которых составляет 28,5 мас. %, т. е. шихта становится мономодальной.

Исследовано влияние температуры на формирование структуры и физико-керамических свойств исследованных шихт, которое проявляется неоднозначно. В интервале низких температур обжига (до 1200–1250 °С) преобладает диффузионный механизм спекания, для которого характерно медленное постепенное нарастание прочности с ростом температуры; при этом дополнительное измельчение улучшает свойства образцов примерно в 2 раза, но характера поведения материала в обжиге не изменяет. Выше 1250 °С спекание переходит в режим диффузионно-жидкофазного формирования структуры. При этом заметно снижается пористость, возрастают усадка, предел прочности при сжатии и твердость образцов. Появление жидкой фазы обусловлено присутствием примесей в исходных сырьевых природных материалах.

■ Исследовано влияние природных добавок (полевого шпата Малышевского рудоуправления, фельзита Покровского месторождения, гранодиорита Исетского месторождения) на спекаемость алюмосиликатного материала. Показано, что улучшение физико-химических свойств керамики возможно как повышением удельной поверхности шихты, так и введением добавок природных щелочных алюмосиликатов с прогнозируемыми вязкостью и количеством расплава. Наибольшее влияние на уменьшение пористости и повышение предела прочности алюмосиликатной керамики оказывает добавка полевого шпата в количестве до 5 мас. %, но он является самой дорогой добавкой. По суммарному содержанию ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) исследуемые щелочесодержащие добавки располагаются в ряд, мас. %: полевого шпата (11,77) → фельзит (7,55) → гранодиорит (6,87). Аналогично они располагаются в ряд и по величине соотношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$, соответственно 1,72 – 0,64 – 0,96.

Однако суммарное содержание щелочных компонентов в шихте не является гарантом хорошей спекаемости керамики. Так, при концентрации ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) в количестве 5 мас. % пористость образцов после обжига при 1400 °С составила 8 %. При аналогичном содержании щелочей в шихте с гранодиоритом и при той же температуре обжига образцы имели пористость 17 %, т. е. в 2 раза больше. По всей вероятности, не только суммарное содержание щелочных оксидов, но и другие показатели заметно влияют на физико-керамические свойства образцов (калиевый модуль, фазовый состав и др.).

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ЭФФЕКТИВНАЯ СТРАТЕГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ГРУППЫ «МАГНЕЗИТ»

(✉)

E-mail: emanuylova@magnezit.com

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, Е. В. Мануйлова (✉)
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группа «Магнезит» продолжает эффективное использование собственной минерально-сырьевой базы. В первую очередь это выражается в успешном освоении технологии обогащения кондиционных и некондиционных типов магнезитовых руд методом рентгено-трансмиссионной сепарации, для чего было осуществлено техническое перевооружение обогатительного цеха: тяжелосредние сепараторы заменены на инновационные рентгено-трансмиссионные. Эти мероприятия позволили улучшить технико-экономические показатели процесса обогащения и, что самое важное, обеспечили возможность перерабатывать ранее не используемые отвалы с некондиционным магнезитом.

Следующий этап эффективной стратегии — возобновление открытой разработки с Карагайского карьера,

магнезитовая руда которого является более качественной, чем магнезиты других карьеров Саткинской группы месторождений. Проект технического перевооружения Карагайского карьера согласован ЦКР-ТПИ Роснедр (Центральная комиссия по разработке месторождений твердых полезных ископаемых Федерального агентства по недропользованию), горный план прошел утверждение в Ростехнадзоре.

Помимо Карагайского карьера в эксплуатацию вводится новый объект — Ельничное месторождение, расположенное в 5 км к северу от г. Сатка и в 2 км восточнее производственных цехов Группы «Магнезит». Право пользования недрами Ельничного месторождения принадлежит Группе «Магнезит». На сегодняшний день запасы Ельничного месторождения разведаны и утверж-

дены в Федеральном агентстве по недропользованию. Технический проект «Разработка Ельничного месторождения магнезита» согласован с территориальной комиссией по разработке полезных ископаемых «Челябинскнедра». Магнезиты Ельничного месторождения по качественным показателям равнозначны магнезитам группы Саткинского месторождения, что подтверждают результаты предварительного опытно-промышленного

тестирования этого вида сырья, проведенного в рамках ТЭО кондиций путем его обжига во вращающейся печи.

На ближнюю перспективу развития сырьевой базы Группы «Магнезит» остается преимущественно открытая разработка. Наряду с ней в 2018 г. планируется активно увеличивать долю подземной разработки магнезита до максимально необходимой производительности согласно календарному плану добычи.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ГРУППА «МАГНЕЗИТ» НАРАЩИВАЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МОЩНОСТИ ПО ВЫПУСКУ ПЛАВЛЕННОГО ПЕРИКЛАЗА

(✉)

E-mail: emanuylova@magnezit.com

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, Е. В. Мануйлова (✉), А. А. Семенцов
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группа «Магнезит» активно наращивает производственные мощности по выпуску плавленного периклаза, реализуя несколько инвестиционных проектов. Из них один, который выделяется своей широкомасштабностью и инновационностью, предполагает строительство завода по производству плавленного периклаза в объеме 50 тыс. т в год на Саткинской производственной площадке. Его основными агрегатами станут пять современных электродуговых печей, разработанных немецкой компанией SMS SIEMAG совместно со специалистами Группы «Магнезит». Печи оснащаются системой автоматизированного управления технологическим процессом плавки. Проект предусматривает также ряд технологических новшеств. Наиболее важное из них — вращающиеся в процессе плавки печные ванны. Их использование позволит существенно улучшить технико-экономические и качественные показатели плавки. Завод представляет собой технологический комплекс, включающий участки приемки сырья и подготовки шихты, электроплавки, охлаждения и разделки

блоков, дробления и сортировки, брикетирования, а также склад готовой продукции, откуда плавленный периклаз можно будет отгружать потребителям автомобильным и железнодорожным транспортом. Помимо этого, на Саткинской производственной площадке в 2017 г. успешно введены в эксплуатацию две электродуговые печи. До конца 2018 г. планируется завершить строительство еще четырех электродуговых печей.

С введением в эксплуатацию вновь созданных плавильных мощностей Группа «Магнезит» получит возможность не только отказаться от закупок плавленного периклаза зарубежного производства, но и, наоборот, сможет осуществлять крупные поставки плавленного периклаза высочайшего качества бренда Русский Магнезит™ сторонним потребителям. В настоящее время Группа «Магнезит» проводит научно-исследовательские работы на имеющихся плавильных мощностях по разработке технологии получения плавленного периклаза с увеличенным размером кристаллов (>1200 мкм).

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ФЕРРОХРОМОВОГО ШЛАКА И СПОСОБЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(✉)

E-mail: i.shaderkin@miduralgroup.com

© С. В. Эйхельберг, С. Е. Филиппов, И. В. Шадеркин (✉)
ООО «Ключевская обогатительная фабрика», пос. Двуреченск Свердловской обл., Россия

Специфические свойства многих видов техногенного сырья позволяют рассматривать его не только в качестве заменителей природного сырья, но и как новые нетрадиционные полезные ископаемые.

На Ключевском заводе ферросплавов производство ферросплавов основано на восстановлении оксидов металла алюминием. Продуктом экзотермических реакций металлургического процесса алюминотермического способа производства ферросплавов является глинозем, который переходит в шлак в процессе плавки. Помимо глинозема в шлак переходят оксиды ряда других элементов, участвующих в реакции. Актуальность проблемы обусловлена значительным повышением кратности феррохромового шлака, пребыванием его в основном в порошкообразном виде, накоплением в отвале за последние 10 лет до нескольких сотен тысяч тонн.

Приведены результаты комплексного исследования глиноземистых шлаков, образующихся при производстве

феррохрома алюминотермическим способом. Определены химический, минеральный составы и физико-химические свойства шлака.

Продукты, полученные в ходе разделения шлака феррохрома самораспадающегося, можно использовать в следующих направлениях: шпинель — для изготовления пористых керамических фильтров, противопожарных красок в литейном производстве, декоративных цветных плиток, высокоогнеупорных материалов, сухих огнеупорных смесей, в качестве абразивного материала; вяжущее — для производства сухих строительных смесей, композиционного гранулированного сорбента. Вовлечение шлаков феррохрома в хозяйственный оборот позволит улучшить экологическую обстановку региона, уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду и здоровье населения, будет способствовать сохранению природных ресурсов за счет комплексного и максимального использования сырья.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СИСТЕМЫ ЭКСКАВАТОР – САМОСВАЛ – КАРЬЕР**(✉)
E-mail: davidovtrans@mail.ru© **Е. А. Волкова** (✉)

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

При растущем спросе и повышающихся мировых ценах на огнеупорные материалы внедрение современных автоматизированных систем управления производством может стать существенным преимуществом для российских компаний, так как оптимальное управление всем производственным циклом позволяет как снизить себестоимость добычи сырья, так и контролировать его качество. Одним из перспективных направлений в области автоматизированного управления в горнодобывающей отрасли на данный момент является сетецентрический подход к управлению. Сетецентрические системы управления отличаются от классических тем, что не имеют единого центра управления, а решение глобальных и локальных оптимизационных задач происходит на стороне так называемых «агентов» — в случае с добычей огнеупорных материалов, как правило, осуществляемой открытым способом, в роли агентов выступает карьерная техника, в частности самосвалы и экскаваторы.

Одной из важнейших задач, решаемых в рамках автоматизации открытых горных работ, является идентификация технологического состояния горных машин. При классическом централизованном подходе к управлению задача идентификации технологического состояния сводится к определению технологического состояния для каждой горной машины в отдельности. При этом общие принципы определения состояния, в частности для экскаваторов, были разработаны еще в начале 90-х годов прошлого столетия. В соответствии с этими принципами технологическое состояние экскаваторов определяется на основе показателей бортового оборудования посредством наложения их на спроектированные авторами имитационные модели. Таким образом, точность определения технологического состояния при таком подходе определяется точностью моделирования, а также зависит от погрешности получаемых данных. Идентификация состояний автомобильного горного транспорта в научных работах практически не рассматривается, несмотря на то что эффективность и безопасность управления таким транспортом непосредственно влияет на качество и стоимость проведения горных работ.

При сетецентрическом управлении, однако, имеет смысл рассматривать технологическое состояние всего горнотранспортного комплекса в целом, т. е. системы экскаватор – самосвал – карьер, в которой помимо взаимозависимых состояний горных машин имеет ме-

сто также влияние внешней среды, определяемой в целом агентом класса «карьер». В такой системе можно определить следующее множество агентов: $A_g = \{A_t, A_{ex}, A_q\}$, где A_t — множество агентов-самосвалов; A_{ex} — множество агентов-экскаваторов; A_q — агент внешней среды.

В многоуровневых иерархических системах управления, которые, как правило, используются для управления сложными динамическими системами, одной из сложнейших задач является координация различных уровней между собой. При сетецентрическом подходе данная задача решается на уровне агентной платформы, которая выполняет роль посредника между агентами. Следует отметить, что состояние как отдельных составляющих, так и сетецентрической системы в целом зависит от соответствующих состояний всех агентов, входящих в систему. В случае с системой горнотранспортного комплекса, например, технологические состояния экскаваторов и самосвалов являются взаимозависимыми, и если параметры состояний конкретного экскаватора и самосвала, находящегося в непосредственной близости от него, соответствуют технологическому состоянию «погрузка», то можно говорить о том, что данное состояние однозначно определено для системы.

Множество параметров состояний при таком подходе представляет собой набор прямых измерений, полученных посредством установленных на узлах и агрегатах датчиков, а также некоторое количество значений, определенных косвенно (например, мгновенный расход топлива — прямая характеристика, тогда как средний расход — расчетная). Одной из важных задач для повышения качества идентификации состояний помимо обмена данными между агентами является максимальное определение характеристик посредством прямых измерений, так как расчетные значения всегда обладают некоторой погрешностью. Например, для определения положения ковша экскаватора в полярной системе координат можно использовать прямое измерение посредством лазерного сканирования и распознавания образов.

Точная идентификация состояний как отдельных агентов, так и системы экскаватор – самосвал – карьер позволит повысить качество управления горнотранспортным комплексом, что, в свою очередь, приведет к достижению глобальной цели системы управления — повышению прибыли.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ ZIRCOA Inc. В ОБЛАСТИ ЦИРКОНИЕВЫХ ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: ashuklinov@zircoa.com

© Д. ф.-м. н. Ю. И. Головин¹, к. ф.-м. н. А. В. Шуклинов¹(✉), к. ф.-м. н. Б. Я. Фарбер², Т. Лейтзел², Р. Александер², Дж. Махоски², Т. А. Дьячек¹

¹ ООО «Циркоа-РУС», г. Тамбов, Россия

² Компания Zircoa Inc., г. Солон, Огайо, США

Для успешного развития российской промышленности и поддержания ее конкурентоспособности необходимо активнее внедрять в практику высокотехнологичные материалы и осваивать новейшие подходы. Керамика на основе диоксида циркония обладает высочайшими эксплуатационными характеристиками — долговечностью, механической прочностью, стойкостью к воздействию большинства агрессивных сред даже при высоких температурах, что позволяет не только повышать качество конечной продукции, но и в ряде случаев существенно сокращать издержки производства за счет уменьшения простоев, снижения числа ремонтов и т. д.

Фирма Zircoa Inc., представленная в России компанией ООО Циркоа-РУС, более 60 лет производит огнеупоры на основе диоксида циркония и является признанным экспертом в этой сфере. Zircoa Inc. самостоятельно производит сырье для своих огнеупоров, пользуясь собственной технологией, благодаря чему продукция фирмы является уникальной. В числе других причин, позволяющих много лет удерживать высокие позиции, можно перечислить постоянную исследовательскую работу, направленную на улучшение составов и дизайна изделий, плотное со-

трудничество с каждым заказчиком на всем протяжении совместной работы, индивидуальную разработку продуктов по техническим условиям заказчика, строжайший контроль качества и безукоризненное соблюдение сроков и условий поставки.

В докладе представлены основные продуктовые линейки, включая штучные огнеупоры для сталелитейной промышленности, футеровочные блоки, трубы, изделия и засыпки для печей с рабочими температурами вплоть до 2200 °С, которые с успехом применяются в производстве технического углерода, синтетического сапфира, кварца высокой чистоты, алюмоиттриевого граната и т. п., тигли для аффинажной промышленности и литья жаропрочных сплавов, а также изделия из высокоплотной керамики — мелющие тела, элементы запорной арматуры, экструзионные матрицы и др. Рассмотрены области, в которых применение циркониевых огнеупоров способно помочь производителям повысить эффективность рабочих процессов. На примере случаев из реальной практики проиллюстрировано, какие подходы использовали специалисты фирмы для решения проблем заказчиков.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОГО ОГНЕУПОРНОГО СЫРЬЯ В ШАМОТНОМ БЕТОНЕ

(✉)
E-mail: idatsko@magnezit.com

© И. А. Дацко (✉), Ю. В. Данилова, М. А. Ерошин
ООО «Группа «Мagneзит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Традиционно на Саткинской производственной площадке Группы «Мagneзит» для футеровки некоторых зон туннельных и вращающихся печей используют шамотные изделия. Со временем футеровка агрегатов заменяется, в результате чего образуется большое количество лома огнеупорных изделий — вторичного огнеупорного сырья. Для снижения себестоимости шамотных бетонов, изготавливаемых с использованием привозного шамотного сырья марки ШГАР-42, а также вовлечения в основное производство отходов от ремонта собственных тепловых агрегатов сотрудниками технического управления Группы «Мagneзит» был разработан бетон, в составе которого содержится до 60 % вторичного огнеупорного сырья — выкрутки и лома шамотных изделий. Перед применением лом шамотных изделий подвергается очистке, сортировке с последующими дроблением и классификацией на необходимые фракции. Как и большинство вторичного сырья, этот материал обладает рядом особенностей: повышенными показателями водопоглощения и пористости, сниженной плотностью. Эти особенности ведут к некоторому повышению необходимого количества воды затворения и ухудшению показателей готового продукта. Однако при правильном подборе гранулометрического состава лома количество воды не сильно отличается от вводимого в серийные марки, изготовленные на шамоте марки ШГАР-42.

Разработанный состав рекомендован для применения в наименее ответственных зонах тепловых агрегатов с температурой до 1350 °С. С учетом повышенной пористости полученный состав обладает пониженной теплопроводностью. Удовлетворительные физико-механические показатели и низкая себестоимость делают разработанный состав привлекательным для применения в газоходах цементной промышленности, в качестве арматурной футеровки в некоторых агрегатах, а также в других зонах с относительно невысокой температурой и отсутствием контакта с расплавом. Физико-механические показатели разработанного состава приведены ниже:

После термообработки при 300 °С

Предел прочности, МПа:	
при сжатии.....	65,0
при изгибе.....	10,0
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,1
Открытая пористость, %.....	14,0

После термообработки при 1100 °С

Предел прочности, МПа:	
при сжатии.....	135,0
при изгибе.....	22,0
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,05
Открытая пористость, %.....	18,0
Температура начала деформации, °С.....	1385

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**БЕТОННЫЕ ХРОМСОДЕРЖАЩИЕ СМЕСИ
MAGCAST ACR-852 И MAGCAST ACR-858**(✉)
E-mail: idatsko@magnezit.com© И. А. Дацко (✉), Ю. В. Данилова, М. А. Ерошин, Н. Е. Мухамадеев, М. Р. Фахрутдинова
ООО «Группа «Мagneзит», г. Сатка Челябинская обл., Россия

Несмотря на общую тенденцию к снижению применения хромосодержащих материалов, оксид хрома все еще является очень востребованным материалом в огнеупорной индустрии. Группа «Мagneзит» выпускает огнеупорный бетон MAGCAST ACR-852, в состав которого входит оксид хрома. Основная задача оксида хрома — это, безусловно, повышение стойкости материала к воздействию агрессивных компонентов шлака. Традиционно Группа «Мagneзит» использует бетон MAGCAST ACR-852 при производстве сводовых изделий для ДСП и АКП, а продукция, изготовленная по данной технологии, пользуется высоким спросом и применяется на металлургических предприятиях по всей России. Из-за постоянно растущих требований к качеству и стойкости огнеупорных изделий возникает необходимость все более глубокой модернизации производимой продукции. За прошедший год хромосодержащий состав бетона был детально проработан по всем направлениям. В результате его реологические свойства были значительно улучшены, физико-механические показатели вышли на новый уровень.

Для расширения сферы применения хромосодержащих высокоглиноземистых масс специалистами Группы «Мagneзит» были разработаны составы с повышенным содержанием оксида хрома — MAGCAST ACR-858 (Al_2O_3 87,00 %, SiO_2 0,20 %, CaO 2,5 %, Cr_2O_3 9,05 %) для зон с наиболее интенсивным воздействием шлака, а также MAGCAST ACR-852 (Al_2O_3 90,0 %, SiO_2 3,5 %, CaO 1,6 %, Cr_2O_3 2,0 %) для внешней части патрубков вакууматора. Составы прошли успешные лабораторные испытания и готовы к применению в промышленных условиях. Показатели хромосодержащих масс представлены ниже:

После сушки при 110 °C

Предел прочности, МПа:

при сжатии..... 70,0

при изгибе..... 25

Кажущаяся плотность, г/см³..... 3,10

Открытая пористость, %..... 10

После термообработки при 1000 °C

Предел прочности при сжатии, МПа..... 90,0

Кажущаяся плотность, г/см³..... 3,06*После термообработки при 1500 °C*

Предел прочности при сжатии, МПа..... 100,0

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БЕТОНА Magcast AM 90/7(✉)
E-mail: idatsko@magnezit.com© И. А. Дацко (✉), Ю. В. Данилова, М. А. Ерошин, Н. Е. Мухамадеев, М. Р. Фахрутдинова
ООО «Группа «Мagneзит», г. Сатка Челябинская обл., Россия

В условиях дефицита периклазоуглеродистых изделий металлурги начинают ориентироваться на монолитную футеровку дна сталеразливочных ковшей. Материал, применяемый в дне сталеразливочного ковша, должен обладать высокими показателями прочности, термостойкости, шлакоустойчивости и эрозионной стойкости. В ассортименте Группы «Мagneзит» присутствует высокоглиноземистая шпинелесодержащая бетонная тиксотропная смесь Magcast AM 90/7, которая удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к службе в дне сталеразливочного ковша. В результате длительной работы состав был максимально адаптирован для применения в этой зоне.

Гранулометрический состав был подробно изучен и оптимизирован, показатель дилатансии максимально

снижен, а перекачиваемость готовой смеси улучшена. При этом вода затворения находилась на уровне не более 4,5 %. Количество цемента было снижено, в результате чего бетон перешел в разряд ультранизкоцементных (ULCC). Снижение количества цемента и воды затворения в совокупности с доработанной поровой структурой позволяют минимизировать риск возникновения взрывного растрескивания бетонного дна при сушке и разогреве сталеразливочного ковша. При производстве этого вида бетона применяется только высококачественное сырье, подвергающееся тщательному входному контролю. В настоящее время часть металлургических заводов России уже проводят промышленные испытания доработанного состава бетона Magcast AM 90/7, по результатам которых будут сделаны выводы об его эффективности.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО В АГЛОМЕРАЦИИ(✉)
E-mail: ikormina@mail.ru© И. В. Кормина (✉), Н. А. Кедин
ООО «Полипласт УралСиб», г. Екатеринбург, Россия

В Лебяжинском аглоцехе Высокогорского горно-обогатительного комбината (ВГОК) при производстве железорудного агломерата для Челябинского металлургического комбината (ЧМК) остро встал вопрос о по-

вышении производительности агломашин и улучшении механических свойств агломерата. Основными компонентами железорудной части шихты являются: концентрат ММС, концентрат СМС руды шахты Магнетитовая,

сырой сидерит. Известно, что использование в составе агломерационной шихты большой доли мелкодисперсного сырья вызывает ухудшение ее газопроницаемости. Это приводит к уменьшению скорости фильтрации газа, снижению интенсивности теплообмена и процессов спекания, удельной производительности агломашин и качества агломерата.

Стратегией реализации планов было выбрано введение в аглошихту полимерной связующей добавки серии Термопласт СВ. В 2015 г. в агломерационной лаборатории ВГОК были проведены лабораторные спекания железорудного агломерата на предмет выбора полимерной связующей добавки для проведения промышленных испытаний. Опробованы пять марок связующего. Наилучшие результаты получены при применении связующего Термопласт 5СВ. Вертикальная скорость спекания по сравнению с базовой возросла на 12,7 % при сохранении высоких показателей прочности агломерата и расходе связующего 0,3 % от состава шихты. Это позволило рекомендовать добавку Термопласт 5СВ для промышленных испытаний и предполагать прирост производительности агломерационной машины не менее чем на 10 %.

Проведенные кратковременные промышленные испытания спекания агломерата позволили установить улучшение следующих показателей за счет ввода в шихту 4,3 кг/т добавки Термопласт 5СВ: рост производительности агломерационных машин не менее чем на 18 %, снижение расхода природного газа не менее чем

на 12 %, электроэнергии не менее чем на 10 %, кокса не менее чем на 10 %;

В мае – июле 2017 г. проведены продолжительные опытно-промышленные испытания связующей добавки Термопласт 5СВ в шихте железорудного агломерата для ЧМК. Расход связующего поддерживался неизменным — 0,38 % от нагрузки шихты.

Выводы по результатам промышленных испытаний в 2017 г.:

- удельная производительность агломашин увеличилась относительно базы на 17,4 % за счет увеличения газопроницаемости шихты и скорости спекания. Скорость аглолент возросла в среднем на 23,2 %. В период испытаний многократными замерами зафиксировано положительное влияние связующего Термопласт 5СВ на гранулометрический состав шихты. Содержание нежелательной фракции (<1,6 мм) в составе снизилось от 31,3 до 24,6 %;

- прочность агломерата сохранилась на прежнем уровне;

- негативного влияния связующей добавки на химический состав агломерата не зафиксировано;

- отмечено снижение расхода кокса на 9,0 % (отн.);
- за счет увеличения производительности агломашин удельный расход газа, воздуха и электроэнергии снизился на 10,3, 10,4 и 12,0 % соответственно;

- без раскрытия внутренних экономических расчетов отмечено: сумма вложений окупается менее чем за 1 мес стабильной работы участка.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: krasnyansky@keralit.com

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

© К. т. н. **М. В. Краснянский** (✉), **И. В. Егоров, А. Ю. Попов**
ООО «Кералит», Москва, Россия

Компания «Кералит» была основана в 2001 г. для организации нового современного производства огнеупорных материалов и изделий на их основе для черной и цветной металлургии, цементной и стекольной промышленности. Уже в 2004 г. был введен в эксплуатацию производственный комплекс, который находится в Московской области и располагает высокопроизводительными автоматизированными линиями по выпуску как неформованных огнеупорных материалов (огнеупорные бетоны, набивные, пластичные и торкрет-массы), так и виброформованных огнеупорных изделий различного назначения. С 2013 г. в составе предприятия действует цех по производству табулярного глинозема и алюмомагнезиальной шпинели, позволяющий работать на собственном сырье.

Компания «Кералит» является одним из крупнейших поставщиков бетонов для выполнения монолитной футеровки сталеразливочных ковшей для предприятий черной металлургии стран СНГ. В настоящее время поставки бетонов для монолитной футеровки дна сталеразливочных ковшей серийно осуществляются на 10 металлургических предприятий, в том числе на БМЗ,

НЛМК, «Уральская Сталь» и «НЛМК-Калуга». Поставка бетонов для монолитной футеровки стен осуществляется на 5 металлургических предприятий.

В настоящее время в связи со сложной ситуацией на рынке периклазоуглеродистых изделий все больше металлургических предприятий принимают решение о переходе на монолитную футеровку сталеразливочных ковшей. Основными преимуществами такой футеровки являются снижение удельного расхода и удельных затрат на огнеупоры, сокращение затрат времени на футеровку и уменьшение доли ручного труда, а также уменьшение количества выбросов канцерогенных углеводородов (фенолы, формальдегид, бенз(а)пирен) при сушке ковшей. Накопленный опыт позволяет нам реализовывать проекты монолитной футеровки сталеразливочных ковшей по схеме «под ключ». В нее входят разработка технической документации на монолитную футеровку; проектирование и поставка необходимого технологического оборудования для качественного выполнения монолитной футеровки; поставка полного спектра огнеупорных материалов; шеф-монтаж; обучение сотрудников.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ СИЛЛИМАНИТА В НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРАХ ПАО «ДРУЖКОВСКИЙ ОГНЕУПОРНЫЙ ЗАВОД»

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: batrachenko@gir.ua

© И. А. Остапенко¹ (✉), С. М. Логвинков², О. Б. Скородумова³¹ ПАО «Дружковский огнеупорный завод», г. Дружковка Донецкой обл., Украина² Харьковский национальный экономический университет, г. Харьков, Украина³ Национальный университет гражданской защиты Украины, г. Харьков, Украина

В конвертерном производстве стали многие проблемы решаются за счет эффективного применения в футеровке тепловых агрегатов неформованных огнеупоров: теплоизоляционных и огнеупорных бетонов, наливных и торкрет-масс, ремонтных составов и др., которые поставляются в виде сухих смесей. Для плотных и огнеупорных бетонов прогрессивным решением в обеспечении необходимых эксплуатационных свойств является использование в составах минералов группы силлиманита: кианита (дистена), андалузита и силлиманита.

В ПАО «Дружковский огнеупорный завод» освоено производство сухих смесей для неформованных огнеупоров, унифицированных по способу нанесения (виброуплотнение, саморастекание, торкретирование, обмазка, набивка) и области применения. В составах смесей для огнеупорных бетонов ответственного назначения используются нетермообработанный и термообработанный кианит, андалузит, силлиманит и шамот на основе дистен-силлиманитового концентрата. Эти компоненты проявляют ряд специфических эффектов в составе смесей, что обеспечивает им конкурентоспособность. Гранулометрический состав и удлиненно-пластинчатая морфология зерен товарных концентратов

кианита, а также дистен-силлиманитового шамота позволяют регулировать низкотемпературную прочность бетонов и обеспечивать их пониженную склонность к трещинообразованию при разогреве футеровки. Каждый из рассматриваемых компонентов имеет характерные микропримеси, специфическую локализацию в поликристаллическом ростке зерна, а также отличающийся тип элементарной ячейки кристаллов. Соответственно, каждый компонент в условиях нагрева трансформируется в муллит и кварц в индивидуальном температурном интервале, с определенной скоростью и разным увеличением объема. Эти обстоятельства позволяют прецизионно регулировать усадку, открытую пористость, высокотемпературную прочность, огнеупорность, крип и коррозионную стойкость. При этом в разработанных составах сухих смесей учитываются стерические контакты зерен минералов группы силлиманита с кремнеземистыми или глиноземистыми компонентами, поскольку при этом изменяется характер формирующихся твердых растворов в соответствии с эвтектично-перитектичным взаимодействием: $(5m - 2)Al_2SiO_5 + (1 - 2m)Al_6Si_2O_{13} \rightleftharpoons (Al_2O_3)_{(1-m)}(SiO_2)_m$, где m — параметр нестехиометрии твердых растворов.

СПОСОБ КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ И ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: 06051961@yandex.ru

© К. т. н. М. И. Тимохова (✉)

Квазиизостатическое прессование, являющееся разновидностью изостатического прессования, было впервые разработано в СССР, во ВНИИЭК. Работы по созданию керамических изделий способом квазиизостатического прессования первоначально были направлены на разработку конструкции пресс-форм, обеспечивающих создание трехосевого давления на прессуемый материал. За основу были приняты пресс-формы статического прессования, металлический сердечник которых меняли на эластичный прессующий сердечник — пресс-буфер, создающий радиальное давление на прессуемый материал под действием давления, передаваемого на него пуансонами пресс-формы.

Квазиизостатическое прессование является единственной технологией для массового производства мелющих шаров диаметром от 30 до 70 мм. Эта технология была внедрена первоначально на прессах статического прессования производительностью 60 шт./ч, а затем на созданном пресс-автомате производительностью 600 шт./ч. Ассортимент изделий, прессуемых этим способом, разнообразен: кольца 8 наименований — от

80 до 250 мм диаметром и высотой от 70 до 170 мм (разработаны чертежи пресс-формы для кольца высотой 250 мм); капсулы и обечайки к ним круглой, прямоугольной, квадратной формы; тигли; мелющие шары диаметром от 30 до 70 мм; трубки; стержни; диски; шайбы; плиты квадратной и прямоугольной формы; ребристые изоляторы. Опробована прессуемость других материалов: металлических пресс-порошков, стеклопорошков, ситаллов. Все материалы показали хорошие прессуемость и качество отпрессованных образцов. На некоторые изделия до настоящего времени сохранились чертежи пресс-форм, надежно работавших на керамических предприятиях в течение нескольких лет.

Способ квазиизостатического прессования к 1990 г. был внедрен на 14 предприятиях страны и на 5 предприятиях освоен самостоятельно. К этому времени ряд зарубежных стран эту технологию приняли для своего производства.

Однако после 1990 г. в связи с перестройкой народного хозяйства страны производство на керамических заводах надолго было приостановлено. Часть керами-

ческих предприятий закрылись из-за отсутствия спроса на отечественную керамику. Полностью утерян способ квазиизостатического прессования, являющийся самым экономичным и перспективным из всех известных способов керамического производства огнеупорных изде-

лий. Поэтому в связи с восстановлением отечественной промышленности возрождение технологии и ее широкое внедрение в производство керамических и огнеупорных изделий является в настоящее время весьма целесообразным.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: mturchin@magnezit.com

ПЕРИКЛАЗОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ АРМАТУРНОГО СЛОЯ ФУТЕРОВКИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

© М. Ю. Турчин (✉), М. А. Ерошин, А. П. Лаптев, О. Н. Пицик, И. Г. Беспалова
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Периклазовые огнеупоры производства Группы «Магнезит» широко используются в футеровке арматурного слоя различных промышленных тепловых агрегатов — сталеразливочных ковшей, конвертеров, электропечей. Основное назначение огнеупоров для арматурной зоны — уменьшение потерь тепла из рабочего пространства печи в окружающую среду и защита кожуха теплового агрегата от высокотемпературного воздействия, в том числе при нарушении целостности рабочего слоя футеровки. Традиционно применяемые уплотненные периклазовые огнеупоры марок П-91 и П-90 при высокой прочности характеризуются фактическим уровнем открытой пористости 18–20 %. В процессе обжига серийных периклазовых огнеупоров формируется достаточно плотная структура, характеризующаяся определенным уровнем теплопроводности ~ 3,7 Вт/(м·К). Разработчиками Группы было выбрано направление усовершенствования состава периклазовых огнеупоров для уменьшения их теплопроводности. Это достигалось введением различных выгорающих и порообразующих добавок в комбинации с традиционными периклазовыми наполнителями. Среднестатистические показатели разработанных огнеупоров: предел прочности при сжатии 35–45 МПа, открытая пористость ~27 %, кажущаяся плотность ~2,50 г/см³, температура начала размягчения под нагрузкой (по ГОСТ 4070–2014) 1500 °С, массовая доля MgO ~ 92 %.

Особенная поровая структура полученных среднеплотных периклазовых огнеупоров характеризуется увеличенной долей открытых пор различного типа — до 25 % по сравнению с серийными изделиями, в которых она не превышает 15 %. Теплопроводность опытных изделий, изготовленных по различным вариантам, составляет 2,40–3,0 Вт/(м·К), в то время как у серийных

огнеупоров марки П-91 этот показатель составляет 3,9 Вт/(м·К). В связи с повышенной пористостью полученных огнеупоров дополнительно определена классификационная температура — выше 1650 °С. Согласно ГОСТ Р 52803–2007 это максимальная температура, при которой остаточное изменение размеров образца изделия после изотермической выдержки в течение 5 ч не превышает 2 %. Данный показатель позволяет косвенно оценить возможный температурный интервал, в котором линейные изменения размеров при эксплуатации огнеупора минимальны. Проведен расчет температуропроводности среднеплотного периклазового огнеупора разработанного состава по сравнению с традиционными периклазовыми изделиями марки П-91 по формуле $a = \lambda / (\rho_{\text{каж}} \cdot c)$, где λ — теплопроводность материала, Вт/(м·К); $\rho_{\text{каж}}$ — кажущаяся плотность образца, г/см³; c — теплоемкость, Дж/(кг·К).

Температуропроводность новых огнеупоров ~ 0,9 (при 1,15 м²/с для серийных изделий марки П-91). Проведенные определения и расчеты подтверждают возможность для потребителя уменьшения энергозатрат на проведение процессов в тепловом агрегате за счет снижения тепловых потерь через футеровку, выполненную огнеупорами усовершенствованного состава. Дополнительным преимуществом применения разработанных огнеупоров является снижение массы огнеупора и, соответственно, 1 м³ футеровки примерно на 10 %, что позволяет уменьшить удельные затраты на 1 т выплавленной стали. Огнеупор был разработан на Саткинской производственной площадке Группы по ресурсосберегающей технологии. Периклазовым огнеупорам с новыми техническими свойствами присвоена проектная марка ГМПс-91.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: emanuylova@magnezit.com

УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРИКЛАЗОИЗВЕСТКОВЫХ МАСС ДЛЯ НАБИВКИ ПОДИНЫ И РЕМОНТА ОТКОСОВ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, Е. В. Мануйлова (✉), Е. С. Могильникова
ООО «Группа «Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

В последнее время к массам, предназначенным для набивки подины и ремонта откосов современных электродуговых печей, предъявляются все более жесткие требования. В условиях постоянно нарастающей конкуренции существует потребность в улучшении служебных характеристик этих масс. В Группе «Магнезит» проведены

мероприятия, направленные на оптимизацию физико-химических характеристик и улучшение эксплуатационных свойств периклазоизвестковой массы. Мероприятия проводились в следующих направлениях:

1. Оптимизация гранулометрического состава массы (в пределах соответствия техническим требованиям)

для повышения плотности упаковки при набивке подины и, следовательно, для улучшения эксплуатационных свойств, а также повышение транспортабельности массы по приемным бункерам у потребителя и снижение пыления в процессе набивки.

2. Оптимизация химического состава массы для повышения содержания CaO на 2–3 % (в пределах соответствия техническим требованиям). Это способствует повышению противодействия инфильтрации шлака и сводит к минимуму его коррозионное воздействие благодаря образованию двухкальциевого силиката. Кроме того, увеличение содержания CaO повышает соотношение CaO/SiO₂, что способствует интенсивному образованию трехкальциевого силиката при высоких температурах, который стабилизирует двухкальциевый силикат и предотвращает его распад при охлаждении печи. Таким образом, использование массы с повышенным содержанием CaO эффективно как при высоких температурах, так и при охлаждении печи.

3. Использование новой комплексной добавки для улучшения набивной способности массы и нивелирования возможной гидратационной активности в связи с высоким содержанием CaO.

Все мероприятия в совокупности позволяют сократить время монтажа подины, увеличить срок службы массы и свести к минимуму промежуточные ремонты, тем самым снижая затраты массы на 1 т выплавляемой стали.

Показатели	Для набивки подины	Для ремонта откосов
Массовая доля, %:		
MgO, не менее	65,0	68,0
SiO ₂ , не более	1,6	1,8
Fe ₂ O ₃	4,0–7,0	3,3–6,0
CaO, не более	23,0	–
CaO	–	14,0–23,0
$\Delta m_{\text{прк}}$ с учетом массовой доли органических добавок, %, не более	6,0	6,0
Зерновой состав, %:		
<8 мм, не менее	100	100
<0,1 мм, не более	26	22

Усовершенствованные периклазоизвестковые массы типа Мартенит имеют стабильные физико-химические и эксплуатационные характеристики. Характеристика масс для набивки подины и ремонта откосов электропечей приведена в таблице.

Периклазоизвестковая масса типа Мартенит успешно прошла испытания при набивке и эксплуатации электропечей на Магнитогорском металлургическом комбинате. Стойкость подины из массы Мартенит теперь сопоставима со стойкостью подины на основе масс конкурентов. Проведенные испытания позволили показать технологичность и экономическую эффективность использования периклазоизвестковых масс усовершенствованных составов.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ



E-mail: mturchin@magnezit.com

ПЕРИКЛАЗОВЫЙ ОГНЕУПОР С ВЫСОКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ТЕРМИЧЕСКОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО СОСТАВА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

© М. Ю. Турчин (✉), М. А. Ерошин, О. Н. Пицик, Д. А. Найман
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Модифицирование условий проведения металлургических процессов обуславливает изменение газовой среды и приводит к формированию шлаков более сложного химического состава с изменяющейся основностью. При проведении термических циклических процессов для футеровки металлургических агрегатов требуются высоко-термостойкие огнеупоры, инертные к перемене газовой среды, обладающие химической устойчивостью к высокоагрессивным компонентам расплава. Известно, что для повышения термостойкости периклазовых огнеупоров традиционно используются такие «пластификаторы», как хромшпинелид и алюмомагнезиальная шпинель. Недостатком использования добавки хромшпинелида в составе периклазовых огнеупоров, предназначенных для службы в изменяющейся газовой среде, является присутствие в них элементов, обладающих переменной валентностью (Cr, Fe). В процессе эксплуатации они меняют валентность, что сопровождается объемным ростом, приводящим к разрыхлению структуры огнеупоров. В свою очередь, ограничивающим фактором применения алюмомагнезиальной шпинели в составе огнеупоров, эксплуатирующихся в контакте с металлургическими расплавами, является ее более низкая коррозионная устойчивость по сравнению с хромшпинелидом.

В ходе разработки технологии подобран состав периклазового огнеупора, в котором в качестве пластификатора выступает высокотемпературный компонент определенной модификации. В качестве основного наполнителя применяется периклаз высокой чистоты из группы материалов Русский магнезит®. Структура огнеупора, модифицированная специальной легирующей добавкой, обеспечивает инертность к воздействию изменений газовой среды и характеризуется высокой термической и химической устойчивостью ввиду невосприимчивости к шлакам переменного состава. Характеристика разработанных огнеупоров приведена ниже:

Предел прочности при сжатии, МПа.....	87
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,16
Открытая пористость, %.....	14,0
Температура начала размягчения (ГОСТ 4070–2014), °C.....	>1700
Термостойкость (1300 °C – вода), теплосмены.....	21
Массовая доля, %:	
MgO.....	90,8
Al ₂ O ₃	0,38
SiO ₂	0,56
CaO.....	1,58
Fe ₂ O ₃	0,65

Для определения устойчивости разработанного огнеупора к воздействию переменной газовой среды проведен

повторный обжиг готовых изделий в восстановительной атмосфере. По результатам петрографических исследований образцов зафиксировано, что в микроструктуре огнеупоров наблюдаются лишь незначительные изменения, связанные с дополнительными процессами спекания: несколько укрупняются частицы периклаза в матрице,

увеличивается количество связей прямого типа. В настоящее время проводятся комплексные исследования разработанных огнеупоров к воздействию различных высокоагрессивных металлургических шлаков, в том числе ферросплавного производства, когда при ведении процесса наблюдается смена газового состава среды.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: epospelova@magnezit.com

МАССЫ ГРУППЫ «МАГНЕЗИТ» ДЛЯ РАБОЧЕГО СЛОЯ ФУТЕРОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ ТОРКРЕТИРОВАНИЕМ

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, Е. И. Пospelова (✉)
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группа «Магнезит» является лидером в России по производству торкрет-масс для рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей, постоянно осуществляет мониторинг службы торкрет-масс у металлургов. За последнее время удалось выявить на ряде предприятий периодически возникающие проблемы: неудовлетворительную адгезию с арматурной поверхностью, имеющей низкую температуру; резкий специфический запах при нанесении или сушке промежуточного ковша; сложности с удалением отработавшего торкрет-покрытия после разливки.

В настоящее время Группа «Магнезит», объединив огромный опыт в технологии изготовления торкрет-масс, научно-техническую, сырьевую базы и

применяя новые методики контроля приобретаемых сырьевых компонентов и готовой продукции, проводит большую работу, направленную на устранение причин, способствующих возникновению перечисленных проблем, и стабилизацию служебных свойств торкрет-масс. Полная замена связующих, волокнистых компонентов торкрет-масс, изменение технологии изготовления — все это позволило получить принципиально новые торкрет-массы стабильного качества. Потребителям, у которых возникали проблемы, предложено проводить совместную работу по испытанию торкрет-масс доработанного качества с привлечением специалистов инженерингового центра Группы «Магнезит».

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: epospelova@magnezit.com

МАССЫ ГРУППЫ «МАГНЕЗИТ» ДЛЯ ГОРЯЧЕГО РЕМОНТА ФУТЕРОВКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, Е. И. Пospelова (✉), Л. А. Валеева
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Стремление металлургов к увеличению продолжительности работы металлургических агрегатов обязывает огнеупорщиков создавать огнеупорную продукцию, способную увеличить стойкость футеровки металлургического агрегата. Известно, что продлить этот срок помогает неформованная огнеупорная продукция.

ООО «Группа «Магнезит» в настоящее время создает и испытывает новые составы масс для горячего ремонта футеровки вакууматоров, конвертеров, стале-

разливочных ковшей, дуговых сталеплавильных печей методом торкретирования. Массы характеризуются отличной адгезией к поверхности футеровки с температурой от 400 °С, стойкостью до 10 плавов. Они отличаются от торкрет-масс предыдущего поколения содержанием периклазовых порошков высокого качества, производство которых освоено на Саткинской площадке Группы «Магнезит». Ряд работ идет совместно с компанией INTOCAST, Германия.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: mturchin@magnezit.com

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРИКЛАЗОГЕРЦИНИТОВЫХ ОГНЕУПОРОВ НА САТКИНСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПЛОЩАДКЕ ГРУППЫ «МАГНЕЗИТ»

© М. Ю. Турчин¹ (✉), В. А. Устинов², О. Н. Пицик¹, Е. А. Киселева¹

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

² ООО «Группа «Магнезит», Москва, Россия

В настоящее время за рубежом для футеровки вращающихся печей обжига цементного клинкера активно применяют периклазошпинельные огнеупоры, изготовленные с применением герцинита FeAl_2O_4 — железистой шпинели. Периклазогерцинитовые огнеупоры хорошо набирают обмазку, характеризуются при этом высокой структурной гибкостью и способны хорошо противосто-

ять термомеханическим напряжениям при эксплуатации. Некоторые российские предприятия цементной отрасли (Серебрянский цементный завод, «Петербург-цемент») также используют периклазогерцинитовые огнеупоры, предлагаемые западными производителями. Известны герцинитсодержащие огнеупоры фирмы RHI: для переходных зон и зоны спекания — серия

ANKRAL Z на основе герцининовой шпинели, для высоконагруженных и переходных зон — серия ANKRAL Q на основе гибридной шпинели.

В качестве альтернативы импортным огнеупорам для футеровки ответственных зон цементных печей на Саткинской площадке Группы «Магнезит» осваивается технология получения герцинита и огнеупоров с его применением, изготавливаемых на основе периклазовых клинкеров собственного производства различной чистоты. Технология получения герцининовой шпинели разработана на основании проведенных физико-химических исследований различных сырьевых компонентов и серии опытных плавов. В условиях Саткинской производственной площадки получена железистая шпинель в промышленных объемах, минерально-фазовый состав которой представлен основной фазой герцинита FeAl_2O_4 и примесью натриевого алюмосиликата. Освоенное промышленное производство плавленной герцининовой шпинели обусловило предпосылки массового освоения технологии разработанных с ее применением инновационных видов продукции — периклазогерцининовых огнеупоров марки ПГЦ-86 и периклазоплеонастовых марки ППЦ-80. Огнеупоры изготавливают на основе собственных плотноспеченных клинкеров различной чистоты, они характеризуются следующими показателями свойств (см. таблицу).

По данным проведенных исследований разработанные огнеупоры отличаются плотной и термостойкой структурой, способной уверенно противостоять термомеханическим напряжениям при эксплуатации. Тест на клинкероустойчивость разработанных огнеупоров в сопоставлении с выбранным рядом периклазошпинельных изделий показал низкую степень их коррозионного

Показатели	ПГЦ-86	ППЦ-80
Предел прочности при сжатии, МПа	~64	~ 55
Открытая пористость, %	~15,5	~15,2
Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены	23	25
Температура начала размягчения (по ГОСТ 4070–2014), °С	1650	1620
Газопроницаемость, мкм ²	0,291	0,294
Коэффициент эластичности, %	0,471	0,919

износа — с наименьшей глубиной и площадью пропитки компонентами клинкера, что сопоставимо с широко зарекомендовавшими себя высококачественными марками продукции (ряда ПШПЦ-86). Тест проводили динамическим методом в лабораторной вращающейся печи при максимальной температуре при 1650 °С; в качестве реагента использовался шлам с предприятия «Петербургцемент». Промышленное производство герцинитсодержащих огнеупоров в условиях Саткинской производственной площадки осваивается с 2015 г. Выпущены первые промышленные партии периклазогерцининовых изделий марки ППЦ-80. Полноценные ресурсные испытания огнеупоров в объеме промышленной партии (63 т) проводятся с июня 2017 г. в условиях ОАО «Горно-заводскцемент». Огнеупоры установлены в футеровку зоны спекания вращающейся печи от 14 по 21 м и в настоящее время находятся в эксплуатации более 9 мес. Группа «Магнезит» готова производить новые огнеупоры на основе клинкеров и ожелезненной шпинели собственного производства, обеспечивающие высокую эластичность и химическую стойкость при эксплуатации в футеровке ответственных зон вращающихся печей для обжига цементного клинкера.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: tyarushina@magnezit.com

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЙ ОГНЕУПОР С ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ

© К. т. н. Т. В. Ярушина (✉), М. А. Ерошин, М. Ю. Турчин, А. П. Лаптев

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

Согласно статистике, около 30 % сталеразливочных ковшей выводят из эксплуатации при достаточно высокой остаточной толщине футеровки из-за вертикального растрескивания и сколов рабочего слоя. Растрескивание и скалывание футеровки происходят из-за возникновения напряжений первого рода при циклических температурных перепадах, а также термических напряжениях второго рода, обусловленных формированием новых фаз, образующихся при фильтрации шлака в футеровку. Интенсивность трещинообразования первой группы определяется в первую очередь термостойкостью огнеупоров, зависящей от многих характеристик материалов: теплопроводности, ТКЛР, модуля упругости, скорости изменения температуры, размеров изделия и др. Глубина инфильтрации шлака зависит от структурных характеристик огнеупора, а также показателей его коррозионной устойчивости.

Чем выше содержание периклаза в огнеупоре, тем выше коррозионная стойкость, но и велика вероят-

ность растрескивания футеровки из-за высокого ТКЛР. Чем выше содержание углерода, тем ниже ТКЛР, но и выше потери тепла излучением с поверхности сталеплавильных агрегатов из-за высокой теплопроводности огнеупоров, что приводит к снижению температуры расплавленной стали и деформации корпуса сталеплавильных агрегатов. Энергия расходуется нерационально, процесс рафинирования и разливки стали нарушается.

Для решения проблемы трещинообразования в сталеразливочных ковшах в Группе «Магнезит» разработан модифицированный устойчивый к коррозии периклазоуглеродистый огнеупор с низким ТКЛР в диапазоне 20–1500 °С и с пониженной теплопроводностью. Введение в шихту периклазоуглеродистого огнеупора с содержанием углерода 10 % добавки плотноспеченного периклазового клинкера собственного производства на Саткинской производственной площадке позволило снизить теплопроводность огнеупора при 950 °С на

13,4 %. Его ТКЛР при 1500 °С составил $10,79 \text{ л/К} \cdot 10^{-6}$ и практически не изменился по сравнению с базовым огнеупором без добавки клинкера ($10,52 \text{ л/К} \cdot 10^{-6}$). Увеличилась прочность при изгибе в диапазоне 600–1400 °С. Отмечено положительное влияние клинкера на физико-

технические свойства огнеупора после коксования при 1000 °С: увеличилась кажущаяся плотность и прочность при сжатии, снизилась открытая пористость. Изделия прошли апробацию в службе, наличия трещин на поверхности футеровки не зафиксировано.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

НОВЫЕ ШПИНЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОГНЕУПОРЫ ПАО «КОМБИНАТ «МАГНЕЗИТ» ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРЕЗЛИВНЫХ КОВШЕЙ

(✉)

E-mail: tyarushina@magnezit.com

© К. т. н. Т. В. Ярушина (✉), А. А. Платонов, А. О. Мигашкин, М. А. Ерошин

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

Общепринятым и надежным футеровочным материалом для сталеразливочных ковшей являются периклазоуглеродистые изделия с высокой огнеупорностью и отличной устойчивостью к коррозии основным шлаком. В последние годы в связи с ростом спроса на высококачественную сталь все более необходимым становится сведение к минимуму поглощения металлом углерода из футеровки. Чем выше содержание периклаза, тем выше коррозионная стойкость, но и выше ТКЛР. Высокий ТКЛР огнеупоров ограничивает срок службы футеровки при довольно большой ее остаточной толщине из-за вертикального растрескивания при термоциклировании, особенно в условиях недостаточно высокой интенсивности процесса разлива. Существует оптимальное соотношение периклаза : углерод для определенных условий эксплуатации сталеразливочного ковша и его формы. Эффективным приемом снижения ТКЛР является введение в состав периклазоуглеродистых изделий корунда, так как в процессе службы футеровки сталеразливочного ковша в результате реакции с периклазом он преобразуется в алюмомагнезиальную шпинель, что сопровождается необратимым расширением огнеупора.

Продуктовая линейка шпинелеобразующих углеродсодержащих огнеупоров комбината «Магнезит» включает до 15 их разновидностей и охватывает диапазон по содержанию Al_2O_3 от 12 до 80 %. В 2017 г. она дополнилась еще одной маркой — периклазоалюмоуглеродистыми изделиями ПАУ 85-7-К с по-

ниженным до 5 % содержанием Al_2O_3 . Вещественный состав огнеупоров был разработан для двух конкретных потребителей с учетом условий эксплуатации и состава шлака (отношения CaO/SiO_2 , присутствия добавки CaF_2 и др.). На обоих металлургических предприятиях сталеразливочные ковши отслужили по 100 плавов, при этом остаточная толщина футеровки составила около 54 % от первоначальной. При микроскопическом исследовании в образцах огнеупоров после службы обезуглероженной зоны не обнаружено. В рабочей зоне в результате взаимодействия с периклазовой составляющей произошли полное перерождение зерен корунда и их перекристаллизация в алюмомагнезиальную шпинель. Наблюдалось уплотнение горячей (рабочей) поверхности футеровки, закрытие швов и снижение открытой пористости структуры. На рабочей поверхности огнеупоров в результате химической реакции между шлаком и алюмомагнезиальной шпинелью образовался защитный слой из комбинации фаз с высокой и средней температурой плавления, предохраняющий огнеупорный материал от износа.

Испытания в службе на двух металлургических предприятиях показали, что периклазоалюмоуглеродистые изделия ПАУ 85-7-К более предпочтительны перед периклазоуглеродистыми для использования в стенах сталеразливочных ковшей из-за их более высокой термостойкости и, соответственно, малой склонности к растрескиванию.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПНЕВОТРАНСПОРТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ КОНТЕЙНЕРОВ

(✉)

E-mail: davidovtrans@mail.ru

© Д. т. н. С. Я. Давыдов (✉), Д. т. н. Н. Г. Валиев, К. т. н. В. М. Таугер,

К. т. н. Ю. М. Казаков, К. т. н. Е. Б. Волков

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

В конструкции известного трубопроводного пневмотранспорта имеются как капсулы, так и контейнеры цилиндрической формы. Для упрощения в изготовлении и обслуживании контейнера, его возможности вписываться в крутые повороты трассы и уменьшения энергозатрат на перемещение при снижении его весовых

параметров предлагается контейнерный пневмотранспорт с шаровыми контейнерами.

Отходы различных видов, образующиеся как в процессе производства, так и на различных стадиях их переработки, загрязняют окружающую среду и вместе с тем представляют собой ценное минеральное сырье, которое

может быть использовано, в частности, для изготовления строительных материалов. Процесс утилизации отходов связан с их перемещением различными транспортными системами, и в их числе системами контейнерного пневмотранспорта. Как известно, жидкие агрессивные отходы часто просто сливаются в открытые водоемы, поскольку их радиоактивность считается безопасной для окружающей среды. Из всех видов агрессивных отходов жидкие наиболее распространены, поскольку в растворы переводят как конструкционные материалы (нержавеющие стали, циркониевые оболочки ТВЭЛов и т. п.), так и технологические элементы (соли щелочных материалов и т. д.). Предлагаемый трубопроводный транспорт можно использовать для доставки и закладки в складские выработки агрессивных отходов с последующим их извлечением и использованием для конкретных целей. Для

подземных складских выработок спуск шарового контейнера можно осуществить без энергозатрат с использованием наклонного желоба.

Для данного случая можно найти линейное ускорение центра массы контейнера шаровидной формы, скатывающегося без скольжения по наклонному участку трассы. Качение шара приводит к переходу его потенциальной энергии в кинетическую. Выполнение корпуса контейнера сферической формы позволяет сократить расход сжатого воздуха за счет его качения на наклонных участках трассы. Спуск контейнера по вертикальному участку трассы может быть осуществлен также под действием собственного веса. Для расчета производительности контейнерного пневмотранспорта необходимо решить задачу об изменении скорости контейнера в период «падения» внутри трубопровода.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: davidovtrans@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УКРЫВНЫХ УСТРОЙСТВ В СТРОЙИНДУСТРИИ

© Д. т. н. **С. Я. Давыдов** (✉), д. э. н. **А. Н. Сёмин, Н. С. Иванова**

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

Предложено приводное подвижное в вертикальной плоскости укрывное устройство при производстве керамических изделий, пропарочных камер для интенсификации твердения бетона и при рекультивации нарушенных земель глинистых сырьевых материалов стройиндустрии. Дано описание конструктивных особенностей и работы нового приводного укрывного устройства. Даны расчетные зависимости определения прочности при разрыве, относительного удлинения при разрыве, момента на валу барабана, создаваемого приводом.

Толщина пленочного элемента должна приниматься не менее 0,2 мм. Длина смотанной в рулон пленки обычно кратна 50: 50, 100, 150 или 200 м. Прочность вычисляют по формулам (ГОСТ 14236). Для получения качественной смотки и намотки необходимо, чтобы было постоянное натяжение пленки при постоянной линейной скорости. При сматывании пленки в рулоны она по всей длине испытывает напряжения изгиба, близкие к пределу текучести.

В зависимости от назначения и исходной композиции пленку выпускают марки Т — для изготовления изделий технического назначения, строительства временных сооружений, защитных укрытий, упаковки и комбинированных пленок. Максимальная ширина пленки всех марок 6000 мм. Строительная пленка обладает повышенной прочностью, что обеспечивает ей высокую стойкость к механическому воздействию. Она выдерживает большие нагрузки, при этом не деформируется и не рвется. Такое свойство позволяет применять ее при работе с фундаментом и фасадом. Пленка, применяемая в строительстве, обладает повышенным коэффициентом герметичности, не пропускает влагу и воду,

надежно защищает от любых негативных воздействий. Швы пленки можно запаять между собой, что даст им полную герметичность.

Увеличение коэффициента трения гибких связей по шкивам приводного подвижного в вертикальной плоскости укрывного устройства достигается футерованием поверхности приводных шкивов материалами с улучшенными фрикционными свойствами. В сухой атмосфере коэффициент трения шкивов с точеной поверхностью равен 0,25, футерованных резиной 0,4. При влажной атмосфере эти значения составляют соответственно 0,15 и 0,2. Повышение тяговой способности приводных барабанов достигается установкой отклоняющих барабанов, позволяющих для однобарабанного привода получить 240°. При передаче значительных тяговых усилий используют двухбарабанную схему привода, в соответствии с которой два барабана последовательно огибаются лентой. Угол обхвата для такого привода принимают равным сумме углов обхвата обоих барабанов, его величина может достигать 440°.

Таким образом, предложено приводное подвижное в вертикальной плоскости укрывное устройство, которое можно использовать при производстве керамических изделий, пропарочных камер для интенсификации твердения бетона и при рекультивации нарушенных земель глинистых сырьевых материалов стройиндустрии. Описаны конструктивные особенности и работа нового приводного укрывного устройства. Даны расчетные зависимости для определения толщины пленочного элемента, прочности при разрыве, относительного удлинения при разрыве. Представлены физико-механические и электрические показатели полиэтиленовой пленки, используемой в стройиндустрии.

**ВИХРЕВАЯ АЭРАЦИЯ — ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СЫРЬЯ**© Д. т. н. **В. Н. Макаров**¹, д. т. н. **С. Я. Давыдов**¹ (✉), к. т. н. **Н. В. Макаров**¹, **Д. В. Сазонов**²¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия² ООО «Строймашсервис», г. Екатеринбург, Россия

Совершенствование технологии подготовки исходного многокомпонентного сырья, обеспечение соответствия его дисперсного состава, физико-механических и химических свойств требованиям нормативных документов является актуальной задачей, определяющей качество строительных материалов.

Проведенный комплексный анализ применяемых в индустрии строительных материалов технологий классификации исходного материала с использованием действующих сепараторов показал их низкую эффективность из-за недостаточного управления процессом витания частиц компонентов исходного сырья воздушным потоком. Механизм разделения и классификации исходного сырья без учета аэрационной классификации подробно описан в научной литературе. Аэрационная классификация — процесс взаимодействия частиц многокомпонентного материала с воздушным потоком, формирующим их движение и, как результат, разделение на фракции по физико-механическим свойствам. Исследование аэродинамики движения двухфазной среды в последние годы позволило повысить качество классификации за счет использования влияния «парусности» частиц компонентов на величину действующих на них аэродинамических сил, зависящих от физико-механических свойств материалов и воздушного потока. При этом в большинстве работ по данному направлению исследовано влияние на аэрационную классификацию только кинетической энергии поступательного движения воздушного потока, величины и направления аэродинамических сил. Однако на процесс аэрационного взаимодействия воздушного потока и частиц компонентов материала существенно влияет механизм перехода кинетической энергии воздушного потока в потенциальную энергию за счет управляемого вихреобразования, т. е. формирования устойчивой вихревой дорожки Кармана.

Проведенные авторами экспериментальные и теоретические исследования послужили основой для повышения эффективности классификации исходного многокомпонентного сырья на базе предложенного метода «присоединенного» потока завихренного воздуха. Искусственно создаваемая вихревая дорожка Кармана позволяет управлять процессом витания частиц многокомпонентного материала, обеспечивая тем самым требуемый дисперсный физико-механический состав компонентов и, как результат, повышая качество готовых изделий.

Запатентованное устройство для подачи циркуляционного воздушного потока в зону аэрации сепаратора, снабженное специальной вихревой камерой, формирует устойчивую вихревую систему — вихревую дорожку Кармана, на которую действуют циркуляционные силы, величина и направление которых определя-

ются в соответствии с теорией Н. Е. Жуковского. Регулирование силового взаимодействия присоединенной вихревой системы и частиц компонентов материала позволяет управлять их траекториями и, как результат, целенаправленно влиять на эффективность классификации. Установлено, что для обеспечения устойчивости вихревой дорожки Кармана, т. е. формирования системы присоединения вихрей в зоне классификации сепаратора, необходимо соблюдение равенства поступательной скорости воздушного потока и скорости движения вихрей. С учетом теории вихревой дорожки Кармана для достижения этого условия необходимо, чтобы высота слоя h_3 закрученного потока на выходе из устройства для его подачи была не более 10 % диаметра d_k его вихревой камеры, т. е. $h_3 \leq 0,1d_k$. При этом оптимальная ширина воздушного потока, направляемого в зону классификации сепаратора, в зависимости от компоновки устройства его подачи определяется количеством и расположением его выходных каналов.

Предложен критерий аэрационного горизонтального витания частиц компонентов материала, характеризующий динамическое подобие инерционности сепарации, в зависимости от их физико-механических свойств и параметров вихревой дорожки Кармана. Критерий позволяет оценить эффективность разделения частиц компонентов материала для определения оптимальных параметров воздушного потока, энергетическую интенсивность и размер присоединенных вихрей при заданных физико-механических свойствах материала для повышения конкурентоспособности технологии производства строительных материалов.

Построена математическая модель аэрационной классификации с учетом циркуляционных сил Н. Е. Жуковского, обусловленных действиями вихревой дорожки Кармана с использованием критерия аэрационного горизонтального витания, позволяющая проводить расчет геометрических параметров зоны аэрации сепаратора, положения и размеров приемных бункеров по интервалам дисперсного состава. Построен функционал, позволяющий определять оптимальное значение параметров вихревой дорожки Кармана, т. е. управляющего потока, обеспечивающих максимальный интервал характеристик инерционного горизонтального витания частиц материала. Использование полученных алгоритмов обеспечивает наибольшую эффективность разделения частиц компонентов, требуемый дисперсный состав при заданном диапазоне физико-механических параметров исходного материала.

Уравнение для циркуляционной силы Н. Е. Жуковского, характеризующее влияние критерия аэрационного горизонтального влияния частиц с учетом предложенной математической модели, получено в виде $F = \pm 1,2510^{-5} \rho_a K d_k^3 h_1^{-1} (V_{xi} + U)_U$, где K, h_1 — конфузурность

и высота входного канала устройства для подачи закрученного потока; V_{xi} — горизонтальная скорость i -й частицы компонента; U — поступательная скорость воздушного потока в зоне аэрации; ρ_a — плотность воздуха. Из анализа этого уравнения видно, что процессом аэрационной классификации можно управлять за счет целенаправленного изменения интенсивности вихревой дорожки Кармана путем регулирования конфузурности устройства для подачи воздушного потока, существенно повышая тем самым эффективность классификации в зависимости от требуемого дисперсного состава ком-

понентов исходного сырья, определяющего качество готовой продукции.

Экспериментально и теоретически доказана высокая конкурентоспособность технологии классификации многокомпонентных материалов, основанной на использовании эффекта горизонтального витания частиц под действием вихревой дорожки Кармана. Вихревая аэрация позволяет на 16 % уменьшить доверительный интервал дисперсного состава частиц компонентов исходного сырья, способствуя достижению стабильности показателей назначения и качества готовой продукции.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФОСФАТНЫЙ ЖАРСТОЙКИЙ КЛЕЙ И ЯЧЕИСТЫЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

(✉)

E-mail: uralniist@mail.ru

© К. т. н. **В. А. Абызов** (✉), **Н. Е. Посаднова**

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

В настоящее время значительная часть футеровки различных тепловых агрегатов выполняется из традиционных штучных огнеупоров. Для заполнения швов, являющихся наиболее уязвимым местом огнеупорной кладки, обычно используют мертели, твердеющие за счет спекания при высоких температурах. Замена мертеля на жаростойкие клеи на основе фосфатных связок обеспечивает повышенную стойкость футеровки, так как клеи характеризуются хорошей адгезией к штучному огнеупору, высокой термостойкостью и твердением при невысоких температурах (250–300 °С). Кроме того, фосфатные клеи обеспечивают выполнение швов минимальной толщины и высокой плотности, так как твердение сопровождается расширением.

Для приготовления огнеупорных фосфатных клеев и растворов применяют дисперсные наполнители, такие как шмот, технический глинозем, корунд, оксид титана и их смеси. Их замена на дисперсные промышленные отходы алюмосиликатного и глиноземистого состава является одним из рациональных путей снижения себестоимости данных материалов. В качестве наполнителей использовали отработанный алюмохромовый катализатор нефтехимического производства с удельной поверхностью частиц 4000–4500 см²/г и содержанием Al₂O₃ 70–76 %, а также алюмосиликатные отходы — пыль с фильтров шмотного производства с содержанием Al₂O₃ 30–32 %. Отходы шмотного производства дисперсны (удельная поверхность >2000 см²/г), не требуют помола и содержат продукты низкотемпературного обжига огнеупорной глины, обладающие высокой активностью по

отношению к ортофосфорной кислоте. Сроки хранения разработанного клея в жидком состоянии 60–90 сут без существенного изменения вязкости, тогда как обычно клеи готовятся непосредственно на месте применения и сохраняют текучесть в течение 12–48 ч.

Установлено, что предел прочности клея при сдвиге (по шмоту) после сушки 2–3,5 МПа, после нагрева до 1600 °С от 3,5 до 6 МПа в зависимости от состава. Состав цементного камня представлен преимущественно высокоогнеупорными соединениями — α -Al₂O₃, муллитом, AlPO₄ кристобалитового и тридимитового типов. Огнеупорность фосфатного клея в зависимости от содержания отходов шмотного производства 1650–1700 °С.

С использованием разработанного клея в качестве вяжущей композиции и шмотного заполнителя фракции мельче 1 мм был получен жаростойкий фосфатный газобетон со средней плотностью 400–600 кг/м³, пределом прочности при сжатии 1,0–2,5 МПа. Температура применения ячеистого бетона 1300–1400 °С. Использование заполнителя фракции мельче 3 мм позволяет получить поризованный бетон, отличающийся повышенной прочностью — до 3,5–4,0 МПа при плотности 800–900 кг/м³. На корундовом заполнителе получен ячеистый бетон с температурой применения 1500–1600 °С.

В настоящее время ведутся работы по расширению номенклатуры наполнителей, совершенствованию огнеупорных клеев и расширению областей их применения. Промышленное производство разработанных материалов осуществляется на предприятии «Уралбоксит».

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: uralniist@mail.ru**ОГНЕУПОРНЫЕ ГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ЦЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ
АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОСПЛАВОВ**© К. Т. н. В. А. Абызов (✉), Д. А. Речкалов, С. Н. Черногорлов
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

В отечественной и зарубежной практике глиноземистые и высокоглиноземистые цементы — наиболее широко используемые вяжущие в производстве жаростойких и огнеупорных бетонов. Сырьем для получения этих вяжущих являются дорогостоящие бокситы и глинозем, процесс получения цементов отличается большой энергоемкостью. В связи с этим вопросы расширения номенклатуры сырьевых материалов для производства глиноземистых цементов весьма актуальны.

Доступным и относительно недорогим сырьем являются высокоглиноземистые и глиноземистые шлаки алюминотермического процесса, богатые глиноземом. Для технологии вяжущих перспективны разновидности шлаков, отличающиеся повышенным содержанием СаО, обеспечивающим формирование алюминатов кальция. Это шлак безуглеродистого феррохрома, который помимо алюмомагнезиальной шпинели содержит значительное количество алюминатов кальция (преобладают СА и $C_{12}A_7$), а также шлак ферротитана. Минеральный состав шлака представлен бонитом CA_6 , шпинелью, перовскитом и CA_2 .

Присутствие СА и $C_{12}A_7$ в шлаке феррохрома обеспечивает вяжущему на его основе быстрое твердение в раннем возрасте, однако инертная шпинель существенно ухудшает вяжущие свойства. В настоящее время предприятие «ЮжУралинструмент» осуществляет переработку этого шлака с частичным извлечением шпинели. Отсевы обогащения, в которых концентрируются СА и $C_{12}A_7$, после помола представляют собой вяжущее с пределом прочности при сжатии 15–25 МПа. Вяжущее отличается короткими сроками схватывания (начало схватывания 3–5 мин, конец 15–25 мин). Для нормализации сроков схватывания в вяжущее вводили добавки суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов, таких как Melflux 1641F и Melflux 2641F. В результате были получены

цементы с нормальными сроками схватывания (начало не ранее 30 мин, конец 1,5–2 ч). Прочность цементного камня нормального твердения до 80 МПа в 3-сут возрасте и до 90 МПа в 7-сут.

В результате проведенных работ получено вяжущее с удельной поверхностью частиц 4200–4700 $см^2/г$, которое имеет нормальные сроки схватывания и предел прочности при сжатии (по ГОСТ 310.4) в 3-сут возрасте 30–35 МПа. К 7-сут возрасту прочность повышается до 40–45 МПа, к 28-сут рост прочности практически прекращается. Огнеупорность разработанных вяжущих в зависимости от степени извлечения шпинели составляет 1450–1540 °С.

В связи с тем что рост прочности полученных вяжущих в течение 3 сут незначителен из-за низкого содержания СА, целесообразно использовать шлаковое вяжущее как добавку к глиноземистому цементу. На основе цемента марки ГЦ 50 и разработанного вяжущего получены цементы, отличающиеся интенсивным твердением в течение 1 сут и пределом прочности при сжатии в марочном возрасте не менее 50 МПа. Введение добавки шлака ферротитана в глиноземистый цемент сопровождается снижением прочности, так как основные фазы шлака не обладают гидравлическими свойствами. Однако использование этой добавки в сочетании с суперпластификаторами Melflux 1641F и Melflux 2641F позволяет за счет водоредуцирования повысить предел прочности при сжатии в марочном возрасте до 40–50 МПа.

На основе полученных вяжущих разработаны жаростойкие бетоны на шамотных и корундовых заполнителях. Предел прочности при сжатии бетона на шамоте составляет 35 МПа, температура применения до 1300 °С. Использование корундового заполнителя позволило увеличить предел прочности при сжатии до 60 МПа при одновременном повышении температуры применения до 1400–1500 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: nikbardin@mail.ru**ПОКРЫТИЕ СИСТЕМЫ HfB_2 –SiC НА УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОМ
КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ**© Н. Г. Бардин (✉), Д. Т. н. И. А. Бубненко², Д. Т. н. Ю. И. Кошелев², А. В. Кузнецов²,
А. А. Швецов¹, Д. Т. н. Н. А. Макаров¹¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», кафедра химической технологии керамики и огнеупоров, Москва, Россия² АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИ-графит», Москва, Россия

В последнее время все более актуальной является задача повышения температуры и времени эксплуатации углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) в кислородсодержащих средах. Частично она может быть решена нанесением на УУКМ покрытия из карбида крем-

ния, однако период эксплуатации подобного материала выше 1600 °С довольно ограничен, что во многом связано с механизмом окисления SiC в кислородсодержащей атмосфере и испарением SiO_2 , особенно в присутствии восстановителя, в данном случае углерода, при этих температурах.

Анализ наиболее заметных зарубежных и отечественных публикаций, посвященных разработке жаростойких покрытий на УУКМ, показывает, что наиболее перспективными материалами в качестве покрытий на УУКМ являются дибориды гафния и циркония. Многие авторы считают, что системы ZrB_2-SiC и HfB_2-SiC вполне можно использовать выше $2000\text{ }^\circ\text{C}$ в окислительной атмосфере. По их мнению, диффузия кислорода в глубь материала затруднена за счет образования оксидной пленки SiO_2 и присутствия диборида циркония или гафния. Наиболее важными характеристиками, влияющими на работоспособность покрытия такого класса при повышенных температурах в среде атмосферного воздуха, являются толщина покрытия, отсутствие дефектов, а также фазовый состав, способствующий образованию с повышением температуры на поверхности покрытия оксидной пленки низкой каталитичности, что значительно снижает температуру на поверхности детали при эксплуатации.

Цель данной работы — исследование особенностей получения на УУКМ покрытия системы HfB_2-SiC шликерно-обжиговым методом. Методика получения покрытия состояла в нанесении на поверхность подложки из 4D-УУКМ шликерной суспензии, в которой в качестве связующего использовали водный раствор высоковязкой полианионной целлюлозы, а дисперсной фазой служили порошки углерода и диборида гафния. После сушки шликерной суспензии образцы термообрабатывали в электровакуумной печи в парах кремния при разных температурах и выдержках. Выяснено, что к числу параметров, с помощью которых в данном спосо-

бе нанесения можно регулировать вышеперечисленные характеристики покрытия, относятся: количество наносимых слоев, содержание связующего в водном растворе (в нашем случае ПАЦ-BB-0), соотношение связующего и порошковой шихты, которую составляют порошки HfB_2 и C , и соотношение компонентов в исходной шликерной композиции (HfB_2 и C). От этих параметров зависят фазовый состав, толщина покрытия, а также вязкость исходной шликерной композиции и, соответственно, равномерность распределения компонентов в объеме покрытия. На фазовый состав покрытия значительно влияет также температурно-временной режим его получения.

По результатам проведенного исследования определены оптимальная вязкость шликерной суспензии для ее нанесения на поверхность подложки ($200-300\text{ мПа}\cdot\text{с}$ при содержании дисперсной фазы в шликере не более $40\text{ мас. \%}$ и концентрации полианионной целлюлозы $0,9\text{ мас. \%}$), оптимальное соотношение компонентов дисперсной фазы ($60\text{ об. \% HfB}_2$, $40\text{ об. \% C}$), дисперсность исходного порошка углерода для полного перехода C в SiC ($< 20\text{ мкм}$), количество слоев наносимого шликера (5 слоев) и оптимальный температурно-временной режим обработки в парах кремния (максимальная температура $1850\text{ }^\circ\text{C}$, время выдержки 20 мин). Такие условия обеспечивают формирование на поверхности силицированного УУКМ покрытия системы HfB_2-SiC с включениями Si толщиной $200-250\text{ мкм}$. Покрытие имеет наиболее высокую термохимическую стойкость за счет образования на поверхности оксидной пленки, содержащей $HfSiO_4$, HfO_2 и SiO_2 .

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: nikbardin@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ SiC -ПОКРЫТИЯ НА УУКМ МЕТОДОМ ПАРОФАЗНОГО СИЛИЦИРОВАНИЯ

© Н. Г. Бардин¹ (✉), д. т. н. И. А. Бубненко², д. т. н. Ю. И. Кошелев², А. А. Швецов¹,
д. т. н. Н. А. Макаров¹

¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», кафедра химической технологии керамики и огнеупоров, Москва, Россия

² АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИ-графит», Москва, Россия

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) обладают рядом уникальных характеристик, что определяет их использование во многих областях применения. Однако УУКМ свойственна низкая стойкость к окислению при температурах выше $500\text{ }^\circ\text{C}$, обуславливающая непригодность этих композитов для эксплуатации в кислородсодержащей атмосфере при повышенных температурах. Поверхностное силицирование с целью формирования на поверхности УУКМ слоя SiC является одним из наиболее оптимальных путей решения данной проблемы.

SiC -покрытие на УУКМ в настоящей работе получали методом парофазного силицирования в электровакуумной печи. Применение этого способа на практике ограничено вследствие его малой изученности и нестабильности, тем не менее он обладает рядом преимуществ по сравнению с другими: экологичностью, а также относительно дешевой по сравнению с химическим

осаждением из газовой фазы и пропиткой органическими кремнийсодержащими соединениями, отсутствием разрывов и наплывов кремния, как при жидкофазной пропитке и силицировании в засыпке Si .

Цель работы состояла в исследовании закономерностей парофазного силицирования УУКМ для получения SiC -покрытия на УУКМ. Поверхностное силицирование подложек УУКМ проводили в интервале $1700-1950\text{ }^\circ\text{C}$ для увеличения скорости испарения кремния и интенсификации процесса взаимодействия парообразного Si с поверхностью подложки. Процесс был ограничен временем от 3 до 40 мин , достаточным для образования слоя SiC толщиной $2-106\text{ мкм}$. Применение выдержки более 1 ч не было целесообразным, так как проводили силицирование только поверхности материала. После силицирования подложек УУКМ определяли толщину образовавшегося карбидного слоя обработкой на компьютере снимков поперечных

шлифов образцов с покрытием, полученных на оптическом микроскопе.

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты. Во-первых, с повышением температуры происходит заметный рост толщины карбидного слоя, связанный, по-видимому, с увеличением интенсивности процесса взаимодействия кремния с поверхностью УУКМ и возрастанием скорости испарения Si. Во-вторых, зависимости толщины слоя SiC от выдержки при разных температурах силицирования характеризуются наличием двух участков (в отличие от ранее полученных аналогичных зависимостей). Первый из них представляет собой квадратичную параболу, а второй довольно четко описывается экспоненциальной функцией. Следует отметить, что на участках с высокой скоростью роста формирование SiC на поверхности УУКМ сопровождается образованием значительного количества дефектов в виде крупных кристаллов карбида (20–40 мкм), пор и трещин в покрытии.

Причины полученных закономерностей связаны, вероятно, с особенностями механизма образования SiC при парофазном силицировании. На первом этапе в момент

контакта поверхности УУКМ с Si, осажденным из пара, образуется слой карбида с размерами кристаллов 200–800 нм путем растворения в кремнии атомарного углерода и перехода из образовавшейся пленки расплава кремния микрогруппировок углерода, на которых и происходит зародышеобразование SiC. Образование и рост более крупных кристаллов SiC в течение первых 20 мин вызвано, предположительно, диффузией атомов углерода через слой первичного нано-SiC, что подтверждает наличие на кривых роста участка в виде параболы. На втором этапе рост монослоя SiC с разрушением карбид-кремниевого каркаса происходит из-за быстрой кристаллизации SiC как в пересыщенном расплаве Si на микрогруппировках, так и на границе раздела C/Si вследствие продолжающегося взаимодействия углерода и кремния. При этом в пересыщенном расплаве Si образуется карбид нестехиометрического состава. Одновременно с этими эффектами происходит рекристаллизация образовавшегося SiC. Значительное тепловыделение, сопутствующее протеканию вышеперечисленных процессов, и столкновение нескольких фронтов кристаллизации приводят, по-видимому, к появлению в покрытии трещин.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОГНЕУПОРНЫЙ БЕТОН ИЗ ФОРСТЕРИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА КОВДОРСКОГО ГОКА

(✉)

E-mail:

belog_oa@chemy.kolasc.net.ru

© К. Т. н. О. А. Белогурова (✉), М. А. Саварина, Т. В. Шарай

ФГБУН «Институт химии и технологии редкоземельных элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева ФИЦ КНЦ РАН», г. Апатиты Мурманской обл., Россия

Цель работы — получить безобжиговый бетон на основе форстеритового концентрата из отходов обогащенного производства Ковдорского ГОКа. Связующие компоненты: магнезиальный цемент, затворенный раствором хлорида или сульфида магния, или магнийфосфатная связка плотностью 1,491–1,556 г/см³. Размеры зерен форстеритового концентрата находятся в узком диапазоне (<0,2 мм). Большая часть примесных минералов присутствует в сростках, келифитовых каймах, в промежутках между трещинами в зернах. В форстерите из апатито-форстерито-магнетитовых пород Ковдорского массива от 3 до 8 % фаялитового компонента.

Необходимо подобрать зерновой состав шихты для максимального заполнения объема, найти соотношение заполнителя и связующего для улучшения конструктивных свойств бетона и исследовать влияние добавок к шихте на физико-технические свойства получаемых материалов. Шихта для получения бетонов состояла из сырого или обожженного форстеритового концентрата различных фракций. Показатели плотности и прочности образцов из сырого форстеритового концентрата при воздушном твердении низкие для всех видов связок. При использовании брикета более высокими показателями плотности и прочности обладает бетон на магнийфосфатной связке. При твердении в нормальных условиях его плотность ρ 2020–2227 кг/м³ и предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ до 12,0 МПа.

Для фосфатных связок схемы превращений цементующей части неоднозначны, новообразования по

большей части аморфны и лишь при нагревании склонны к кристаллизации и взаимодействию с зернами наполнителя. Микроструктура подвергается значительным изменениям при термообработке. Сложность физико-химических процессов, обуславливающих твердение и структурообразование фосфатных материалов, а также недостаток систематизированных данных о зависимости их свойств от состава и технологических параметров изготовления требуют изучения и анализа новых экспериментальных данных.

Свойства бетонных композиций из брикета на основе форстеритового концентрата и фосфатной связки исследованы после термообработки при 450–1200 °С. Получены следующие показатели свойств бетона из шихты, содержащей 20 % фракции мельче 0,063 мм. При 450 °С ρ 2064 кг/м³, $\sigma_{сж}$ 15 МПа, уменьшение объема 2,5 %; в диапазоне 600–1000 °С ρ 1970–2010 кг/м³, $\sigma_{сж}$ 6–8 МПа, уменьшение объема 0,4–0,5 %; при 1100–1200 °С наблюдаются увеличение объема на 2–6 % и уменьшение ρ до 1890–1950 кг/м³, $\sigma_{сж}$ 8–9 МПа. Результаты рентгенографического анализа образцов показали, что первоначально происходит образование $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$, при 450 °С отмечено появление линий $Mg_2P_4O_{12}$, при 500–600 °С $Mg_2P_2O_7$; ортофосфат магния идентифицирован после 700 °С.

В дальнейшем исследовании будут получены зависимости свойств образцов от плотности магнийфосфатной связки, количества тонкой фракции обожженного форстеритового концентрата в шихте и некоторых добавок.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: av_bel@bk.ru,
sc@adelinfo.ru**ТОРЦЕВОЙ АЛМАЗНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА БАЗЕ «УМНЫХ» СЕГМЕНТОВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ**© Д. х. н. **А. В. Беляков**¹ (✉), **С. И. Церман**² (✉)¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева»,
кафедра химической технологии керамики и огнеупоров, Москва, Россия² ООО «Дельта» группы компаний «Адель», Москва, Россия

Ряд операций, таких как фрезеровка, сверление, некоторые схемы шлифовки, предполагают использование для обработки детали торцевую режущую поверхность инструмента. Сравнение процессов резания при циркулярной и торцевой схемах обработки позволяет отметить их особенности. Так, при первой схеме режущие элементы периодически входят и покидают зону резания, обеспечивая при этом с помощью СОЖ интенсивный вынос продуктов резания с одновременным отводом тепла. При второй схеме такого интенсивного выноса не происходит, что может приводить к разогреванию области контакта инструмента с деталью и накоплению в ней шлама. В этих условиях применение так называемых «умных» сегментов, разработанных авторами в предыдущих исследованиях, приобретает особую актуальность, поскольку открывает возможности для адаптации инструмента к особенностям второй схемы. «Умные» сегменты построены по модульному принципу. Их структуру составляют три типа модулей: режущие модули содержат алмазные зерна, ими производится воздействие на деталь; несущие модули разделяют и удерживают режущие, а также функциональные модули, которые дозированно подают в зону резания частицы материалов, ускоряющих процесс резания. За счет повышенной «твердости» матрицы режущих модулей и их конструкции только они контактируют с обрабатываемым материалом. Несущие модули благодаря меньшей твердости и относительно быстрому износу по сравнению с режущими выведены из прямого контакта с обрабатываемым материалом. При

этом уменьшается контактная площадь, обеспечиваемая только режущими модулями, что приводит к увеличению контактного давления на них и созданию условий для самозатачивания инструмента.

Для механической обработки хрупких неметаллов торцевое воздействие чаще всего применяют на операциях шлифовки: грубая (калибровка), средняя, тонкая, лощение (для камня и бетона), а также фрезеровки. Сверление различными типами сверл также относят к торцевым операциям. Работоспособность сегментов модульной конструкции при торцевой обработке материалов сильно зависит от их конструктивных параметров и чувствительна к их изменению. В проведенных исследованиях наибольшее влияние на процесс оказывала доля контактной поверхности, определяемая режущими модулями, содержащими алмазные зерна. Именно площадь контактной поверхности определяет контактное давление в зоне резания. Далее следует соотношение износостойкости («твердости») алмазных (режущих) и безалмазных (несущих) модулей, которое должно обеспечивать образование углублений вокруг режущих модулей. Не меньшее значение имеет применение функциональных модулей, снижающих трение в зоне резания, способствующих дополнительному разрушению обрабатываемого материала, предотвращающих адгезию шлама к сегментам. Конструкция функциональных модулей также может различаться, что открывает широкие возможности для влияния на свойства алмазного инструмента при торцевом резании.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail:
dina_hussien2002@yahoo.com**КАРБИДНО-НИТРИДНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**© **Д. Х. А. Бесиса**^{1,2} (✉), **Д. Т. Н. Э. М. М. Эвайс**¹, **Э. А. М. Шалаби**³, **А. Усенко**⁴,
Я. М. З. Ахмед¹, **К. Т. Н. Д. В. Кузнецов**²¹ Центральный металлургический научно-исследовательский и проектный институт, отделение огнеупорных и керамических материалов, г. Каир, Египет² ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов Москва, Россия³ ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», кафедра металлургии цветных металлов, Москва, Россия⁴ ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», научно-образовательный центр энергоэффективности, Москва, Россия

Производство термоэлектрической энергии имеет большое преимущество, поскольку может использовать большое количество теряемого тепла. Оно рассматривается как альтернатива экономичному преобразованию солнечной энергии в электрическую. Кроме того, термоэлектрические генераторы являются экологически чистыми с высоким уровнем надежности и широким диапазоном рабочих температур. Следовательно, термоэлектрические материалы, позволяющие преобразовать тепло в электроэнергию (как необратимо, так и обратимо с высокой эффективностью), привлекают все боль-

шее внимание исследователей и рассматриваются как будущий прогнозируемый способ получения большого количества дешевой и высокоэффективной энергии.

В нашем исследовании спеканием без приложения давления созданы керамические композиты SiC/AlN в качестве термоэлектрического материала для получения энергии и использования в тепловых агрегатах. Композиты содержали AlN в количестве от 0 до 40 %. Исследовали фазовый состав, уплотнение и микроструктуру полученных композитов. Впервые проведено детальное изучение термоэлектрических свойств

композитов SiC/AlN в широком температурном интервале. Устойчивость против термических напряжений была численно промоделирована методом конечных элементов до температуры 1773 К. Результаты существенно зависят от содержания AlN, микроструктуры и температуры. Установлено, что свойства композитов SiC/AlN близки к свойствам полупроводников *p*-типа с наилучшими термоэлектрическими свойствами при высоких температурах. Композиты с 30 % AlN имеют

самое низкое электросопротивление ($\sim 1,5 \cdot 10^5$ мкОм/см), наибольший коэффициент Зеебека (370 мкВ/К) и лучшую термоэлектрическую эффективность при 1000 К. Более того, композиты SiC/AlN имеют очень высокую стойкость против термических напряжений при однородном преобразовании и распределении тепла и могут быть использованы в эффективных термоэлектрических генераторах электроэнергии и высокотемпературных устройствах.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЗЕРЕН ПЛАВЛЕНОГО ПЕРИКЛАЗА КАМЕННОУГОЛЬНЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ

(✉)

E-mail: s2305028@yandex.ru

© К. Т. Н. **С. И. Боровик** (✉), К. Т. Н. **А. И. Солдатов**

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

При производстве углеродсодержащих огнеупоров в качестве углеродной добавки используют средне- и высокотемпературные пеки, которые характеризуются высоким химическим средством к фенольному связующему, повышенным выходом коксового остатка при карбонизации и упорядоченной кристаллической структурой кокса. Присутствие углерода в огнеупорном материале значительно повышает его эксплуатационную стойкость и предотвращает проникновение шлакового расплава.

При производстве огнеупорного материала используют различные технологические приемы введения углеродных добавок в шихту для обеспечения их равномерного распределения по объему массы. Однако применяемые способы не позволяют гарантированно достичь равномерного распределения углеродного связующего в объеме огнеупорного наполнителя и обеспечить его прочное взаимодействие с поверхностью зерна периклаза и функциональных добавок. При эксплуатации безуглероженные зоны огнеупора будут изнашиваться интенсивнее под воздействием расплава шлака и металла.

В работе предложен способ подготовки огнеупорного наполнителя путем модифицирования зерен плавленного периклаза и периклазовой корки фракции 6–1 мм каменноугольными связующими. В качестве модификаторов использовали каменноугольные смолы и высокотемпературные пеки отечественных и зарубежных производителей. При изготовлении огнеупорной массы предварительно зернистый наполнитель модифицировали жидкой каменноугольной смолой, а затем твердым каменноугольным пеком. Далее в шихту вводили функциональные добавки, тонкодисперсный наполнитель и фенольное связующее.

Ранее проведенные исследования структуры зерен плавленного периклаза и периклазовой корки показали присутствие в них мелких и крупных пор и трещин размерами от 30 до 300 мкм. Поэтому для уменьшения пористости зерна зернистый наполнитель первоначально смешивали с жидкой каменноугольной смолой, обеспечивающей пропитку зерен, заполнение крупных пор и трещин. Модифицирование каменноугольной смолой приводило к образованию на поверхности зерна угле-

родного слоя, который, с одной стороны, обеспечивал высокую адгезию каменноугольного пека вследствие химического сродства материалов и снижения полярности поверхности зерна периклаза, а с другой — мог выступать растворителем по отношению к отдельным компонентам твердого каменноугольного связующего. Анализ микроструктуры показал, что кокс, образованный в результате карбонизации смолы, распределяется по всему объему пор и поверхности зерен периклаза. Практически полностью исчезали мелкие и средние поры, количество крупных пор снижалось в 3 раза.

При модифицировании зерна высокотемпературным пеком отмечается равномерное покрытие поверхности зерен и осуществляется максимальный контакт с компонентами шихты. При этом образуется прочный углеродный каркас, обеспечивающий прочное сцепление компонентов огнеупора. Модифицирование поверхности зерна высокотемпературным пеком позволяет получить огнеупорный материал, однородный по свойствам, с высоким уровнем физико-механических свойств вследствие высокой коксообразующей способности пеков. Кокс, образованный в результате высокотемпературной обработки, равномерно покрывает поверхность крупных зерен периклаза и распределяется по всему объему материала, обеспечивая прямой контакт с зернами. В рядовом образце углеродное связующее распределяется менее равномерно и зерна по границе не имеют прямого контакта с молекулами связующего.

Использование жидкого каменноугольного связующего на первом этапе модифицирования зерна необходимо для обеспечения высокой степени заполнения пор зерен наполнителя. В отличие от твердого каменноугольного пека оно характеризуется меньшей степенью конденсированности, низкой вязкостью и улучшенными адгезионными свойствами. Установлено, что более эффективно использовать каменноугольную смолу с выходом коксового остатка 25–30 %, каменноугольный пек — с выходом 60–80 %. Результаты изготовления опытных партий образцов с применением способа модифицирования зерен периклаза и периклазовой корки показали, что используемый технологический прием обеспечивает получение огнеупорных

изделий, однородных по свойствам и сопоставимых с рядовым материалом по плотности и открытой пористости.

Таким образом, предлагаемая технология нанесения углеродных материалов на поверхность крупных зерен периклаза позволит обеспечить насыщение пор

зерен периклаза коксом, увеличить контакт между зернами наполнителя и связующим. Образование коксовой пленки в порах и вокруг зерен периклаза в процессе эксплуатации должно защитить огнеупорный материал от разрушения по зоне контакта зерна периклаза и связующего при воздействии шлака и металла.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМОТЕРМИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

(✉)
E-mail: dva-vadjik1975@mail.ru

© Т. А. Вареникова¹, к. т. н. В. А. Дороганов¹ (✉), к. т. н. Д. А. Мишин¹,
к. т. н. Е. А. Дороганов¹, А. В. Шарыгин²

¹ ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

² ООО «НСплав», г. Новотроицк, Россия

Отходы металлургических производств являются вторичными сырьевыми источниками для многих отраслей промышленности, в том числе для огнеупорной. К одному из перспективных материалов относится алюмотермический шлак, который является побочным продуктом экзотермической реакции металлургического процесса алюминотермического способа производства.

Предприятие «НСплав» занимается производством металлического хрома (кускового и порошка) и дегазированных брикетов хрома, а в качестве побочного продукта реализует щебень из шлака, образующийся при выплавке металлического хрома. На базе БГТУ имени В. Г. Шухова совместно с предприятием «НСплав» были проведены предварительные поисковые научно-исследовательские работы, связанные с использованием алюмотермического шлака для производства формованных и неформованных огнеупорных материалов, а также глиноземистых цементов. Алюмотермический шлак представляет собой кусковой материал темного цвета, содержащий до 80–81 % Al_2O_3 , 2–4 % CaO , 4–5 % Na_2O , до 11 % Cr_2O_3 и не более 1 % SiO_2 . Исследования минерального состава шлака показали, что основной кристаллической фазой является щелочной β -глинозем в виде минерала дяюдаюита ($NaAl_{11}O_{17}$) с небольшой примесью α -глинозема в виде корунда. Установлено, что термообработка шлака до 1500–1550 °С не приводит к изменению его фазового состава, что свидетельствует о термостабильности шлака при высоких температурах. С использованием шлака в качестве полифракционного заполнителя совместно с огнеупорной глиной были исследованы составы высокоглиноземистых материалов, полученных статическим прессованием. После термообработки при 1500 °С образцы характеризовались открытой пористостью 18–20 %, плотностью 2700–2800 кг/м³, пределом прочности при сжатии 60–80 МПа, их усадка не

превышала 0,5 %. При этом дополнительная линейная усадка после 1600 °С составляла 0,5–1,5 %. Таким образом, полученный огнеупорный материал по своим характеристикам является практически аналогом высокоглиноземистых изделий марки МКС-72.

На основе исследуемых шлаков в лабораторных условиях были получены высокоглиноземистые цементы марок ГЦ-40 – ГЦ-50 с содержанием Al_2O_3 не менее 50 %. Затем были исследованы различные составы огнеупорных бетонов с содержанием CaO 0,5–5,0 % и Al_2O_3 76–87 %, в которых в качестве заполнителя использовали полифракционный порошок шлака в сочетании с тонкодисперсными высокоглиноземистыми добавками, а в качестве вяжущего — экспериментальный глиноземистый цемент на основе шлака и как альтернатива цементы импортного производства с аналогичным содержанием Al_2O_3 . В результате при использовании импортного цемента были получены образцы бетонов с минимальной открытой пористостью 20–21 %, максимальной плотностью 2600–2700 кг/см³; при этом их предел прочности при сжатии достигал 60 МПа. При использовании экспериментального цемента образцы огнеупорных бетонов характеризовались более низкими физико-механическими свойствами: их минимальная открытая пористость 23–24 %, максимальная плотность 2500–2600 кг/м³, предел прочности при сжатии не более 20 МПа.

Таким образом, предварительные исследования показали, что алюмотермический шлак может быть использован для производства различного рода огнеупорных материалов при соответствующей дополнительной проработке составов, что позволит улучшить их основные физико-механические показатели.

Работа выполнена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ имени В. Г. Шухова.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail:
andreyzhig2009@yandex.ru**ЦИРКОНИЕВАЯ КЕРАМИКА ИНЖЕНЕРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО БАДДЕЛЕИТА**© Д. ф.-м. н. **Ю. И. Головин**, к. ф.-м. н. **А. О. Жигачев** (✉), к. ф.-м. н. **А. В. Умрихин**,
к. ф.-м. н. **В. В. Родаев**

НИИ «Нанотехнологии и наноматериалы» ТГУ имени Г. Р. Державина, г. Тамбов, Россия

Керамика инженерного назначения с высокими твердостью, прочностью, трещиностойкостью и сопротивлением износу широко применяется в промышленности. Особое место среди этих материалов занимают трансформационно-упрочненная керамика на основе ZrO_2 .

В настоящее время такую керамику производят из химически осажденного ZrO_2 , полученного из цирконсодержащих руд. В то же время для получения конструкционной циркониевой керамики практически не используется более дешевый природный минерал диоксида циркония — бадделит, крупные залежи которого находятся на территории России. В связи с этим цель настоящей работы — получение циркониевой керамики (TZP) из природного минерала — бадделита, исследование ее механических свойств и фазовой стабильности.

Для получения конструкционной керамики из бадделита необходимо внести в его состав легирующие добавки, позволяющие эффективно управлять фазовым составом. Традиционные способы получения мелкодисперсного и наноструктурированного порошка ZrO_2 для последующего изготовления керамики слабо применимы к обработке бадделита из-за его химической инертности. В связи с этим в работе был использован альтернативный подход к получению наноразмерных частиц ZrO_2 из бадделита, заключающийся в высокоэнергетическом помоле смеси бадделит + стабилизатор (CaO) в планетарной мельнице. Измельчение бадделита сопровождалось его механическим легированием оксидом кальция, на что указывало образование до 60 % тетрагональной и кубической фазы ($t-ZrO_2$ и $c-ZrO_2$) в продуктах помола.

Зависимость ключевых механических характеристик керамики, таких как твердость и трещиностой-

кость, от концентрации легирующего оксида была исследована в диапазоне от 2 до 12,6 % CaO. Твердость монотонно возрастала от 7,5 ГПа для керамики с 2 % CaO до 13,2 ГПа для керамики с 12,6 % CaO. Зависимость трещиностойкости от доли CaO имеет экстремальный характер. Максимальные значения близки к $13,3 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$ и наблюдаются в материале с добавкой 6,5 % CaO. Существенно меньшее значение трещиностойкости ($\sim 4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$) при добавке 2 мол. % CaO обусловлено полным превращением тетрагональной фазы в моноклинную при охлаждении. Трещиностойкость $8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}$, наблюдаемая при добавке 4,4 % CaO, может быть объяснена частичным превращением $t-ZrO_2$ в $m-ZrO_2$ при понижении температуры и, как следствие, зарождением микротрещин.

Явление низкотемпературной деградации — спонтанного превращения $t-ZrO_2$ в $m-ZrO_2$ и ухудшение механических свойств накладывают ограничения на применение циркониевой керамики, поэтому в настоящей работе была изучена стабильность ее фазового состава и свойств в нормальных и гидротермальных условиях (режим ускоренной деградации). Критерием оценки степени деградации служило содержание тетрагональной фазы. Показано, что скорость деградации Ca-TZP-керамики на основе бадделита в гидротермальных условиях ниже, чем в случае коммерческих 3Y-TZP: средняя скорость уменьшения доли $t-ZrO_2$ составляет 0,25 %/ч для 6,5Ca-TZP и 4,5 %/ч для 3Y-TZP.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 16.2100.2017/ПЧ, изготовление и подготовка образцов) и РНФ (проект № 16.1138.2014/К, определение фазового состава и механических свойств).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: davidovtrans@mail.ru**МЕХАНИЗМ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ
ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ
ПОРИЗОВАННОЙ КЕРАМИКИ**© Д. т. н. **Н. В. Гревцев**, д. т. н. **С. Я. Давыдов** (✉), к. т. н. **И. А. Тяботов**, **Л. Н. Олейникова**
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

Разработка технологии получения легких поризованных материалов — поризованного керамического кирпича и поризованного блока обусловлена необходимостью повышения эффективности энергопотребления и энергосбережения как при производстве строительных материалов, так и при устройстве инженерных систем зданий. Решение этих проблем возможно при глубоком и всестороннем изучении органо-минеральных систем, включающих торф и глинистое сырье. Торф и минеральные глинистые системы по своим свойствам объединяются высокой дисперсностью, гидрофильностью,

способностью к сорбции и ионному обмену. Высокая чувствительность структуры торфа к ионообменным процессам дает возможность путем введения модифицированного торфа к глинистым системам управлять структурообразованием и обеспечивать оптимальные условия для сушки и обжига керамического образца. Применительно к созданию полидисперсных органо-минеральных систем сбалансированный подбор качественных показателей исходного торфа и дополнительных компонентов является основополагающим принципом при разработке новых технологических

процессов. Согласно основному положению физико-химической механики конечные свойства дисперсной системы зависят от начальной структуры материала и любому ее изменению соответствуют измененные конечные свойства системы.

Глины широко используются в качестве связующих добавок. Наиболее часто применяются бентонитовые глины. Запасы бентонита ограничены, в качестве его заменителя используются жирные глины и отходы углеобогащения, содержащие повышенное количество монтмориллонита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Глины, содержащие монтмориллонит, обладают высокими сорбционными свойствами, при смачивании водой сильно набухают, весьма пластичны, чувствительны к сушке и обжигу с проявлением искривления изделий и растрескивания. Для улучшения свойств бентонита-связующего вводят различные модифицирующие добавки: натриевые соли, соли алюминия, некоторые щелочи, соду и др.

В последнее время с развитием нанотехнологий механическая активация измельчением находит все более широкое применение как новый способ ускорения физико-химических процессов. В ее основе лежит изменение реакционной способности твердых веществ под действием механических сил. Вещества в тонкодисперсном состоянии характеризуются особыми свойствами: они становятся химически более активными, плавятся при более низких температурах, лучше спекаются и т. д. Известно также, что физические процессы трения или измельчения, связанные с приложением механических сил, становятся причиной химических реакций. В результате механоактивация широко используется как средство ускорения технологических процессов или как способ улучшения технологических параметров режима обработки сырья.

Основными способами механического воздействия на твердые тела при измельчении являются удар и трение. Экспериментально при механическом воздействии на твердые вещества наблюдались разнообразные физические эффекты: выделение тепла, вызывающего разогрев измельчаемого материала; увеличение свободной поверхности вещества; нарушение сплошности измельчаемого материала, сопровождаемое разрывом химических связей вещества (механолиз, механокрекинг и т. п.); образование нескомпенсированных химических связей или свободных радикалов, обладающих запасом «избыточной» энергии; медленная релаксация деформаций и остаточных напряжений в твердых телах при невысокой температуре, приводящая к тому, что обработанное вещество какое-то время обладает запасом «избыточной» энергии, и ряд других процессов.

Развитие механохимии связано с конструированием измельчающей техники и ростом потребностей промышленности в тонкодисперсных материалах. В Уральском государственном горном университете имеются научно-практический и теоретический заделы,

позволяющие управлять механизмом структурообразования полидисперсных органо-минеральных систем при получении новых композиционных материалов, в том числе выгорающих добавок для поризации керамики. Полученные поризованные материалы обладают высокими пластичными, эксплуатационными, теплофизическими свойствами, качественными характеристиками, но при этом необходимо улучшать прочностные свойства этих материалов, например использованием связующих компонентов в виде асбестовых волокон. Как известно, по прочностным свойствам асбест разделяется на нормальной или высокой прочности (прочность на растяжение $\sim 300 \text{ кг/мм}^2$), полумягкий, или пониженной прочности и ломкий, или слабой прочности (прочность на растяжение $110\text{--}220 \text{ кг/мм}^2$). Все эти виды асбеста несколько различаются между собой по своим свойствам (в том числе толщиной и длиной волокон), но в целом характеризуются высоким пределом прочности на разрыв, низкой теплопроводностью и относительно высокой химической стойкостью.

Замена асбестового волокна на стекловолокно даст возможность в несколько раз повысить механическую прочность изделий, сохранив при этом теплоустойчивость, аналогичную теплоустойчивости асбестовых волокон. Технологические свойства стекловолоконитов выше, чем асбестовых волокон. Применение стеклянного волокна в поризованных материалах приведет к созданию новых способов изготовления изделий. Эти способы должны помочь решить проблему многосерийного производства.

Еще одним изделием из стекловолокна является стеклофибра, которую добавляют в качестве скрепляющего элемента. Стеклофибру применяют для создания газобетонов, пенобетонов и ячеистых бетонов, в сухих смесях и штукатурках, стяжках и стеновых панелях для зданий и т. д. Полученная продукция выходит лучшего качества и с более высокими характеристиками.

В процессе работы производили теоретические и экспериментальные исследования механической активации измельчением материала и термоактивационного процесса структурообразования полидисперсных органо-минеральных систем. Установлены закономерности изменения свойств полидисперсных систем в результате механического диспергирования и термического воздействия при кондуктивном и конвективном подводе тепла. Разработана модель формирования заданной структуры полидисперсных органо-минеральных систем с учетом компонентов состава и степени термического воздействия. Установлены закономерности изменения свойств органо-минеральных систем, которые могут быть использованы для прикладного научного исследования и экспериментальной разработки технологии производства композиционных материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ
НА ПРОЦЕСС ИХ СУШКИ**

(✉)

E-mail:

petr.gudovskikh@Kerneos.com

© П. Гудовских¹ (✉), Кр. Вормейер², Ж.-М. Овейр², К. Цеттерстром²¹ ООО «Кернеос», Санкт-Петербург, Россия² Kerneos SA, г. Пюто, Франция

Процесс сушки плотных огнеупорных бетонов остается одной из самых серьезных проблем при применении бетонов в современных тепловых агрегатах. Связанный с сушкой риск повреждения или полного разрушения бетона рассматривается как весьма значительный, если не главный, недостаток монолитной футеровки. При этом риск так называемого «парового взрыва» существенно выше для высокоплотных бетонов, которые, как правило, имеют повышенную прочность наряду с очень низкой газопроницаемостью. Принимая во внимание не только экономические последствия, но и реальную угрозу безопасности производства, становится очевидным, что проблема сушки высокоплотных бетонов является актуальной темой для различных исследований.

В данной работе рассмотрена связь между структурой и свойствами огнеупорных бетонов и риском разрушения во время удаления воды при сушке. Исследованы различные условия гидратации и дегидратации бетона при различных методах нагрева. Исследовано влияние состава бетона и условий обработки на устойчивость материала к сушке. Показано, что с помощью инновационной добавки REFPAC®MIPORE 20 (MP20) можно достигнуть существенного увеличения газопроницаемости огнеупорного бетона уже при температурах выше 100 °С, что позволяет более эффективно удалять воду при меньших температурах и за счет этого снизить образующееся внутри пор бетона давление пара и риски разрушения в процессе сушки.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФУТЕРОВКИ
В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛКОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ**

(✉)

E-mail: vbdemidovich@mail.ru

© Д. т. н. В. Б. Демидович¹ (✉), Ю. Ю. Перевалов¹, И. Ю. Абдулхаков¹, И. И. Баранкова²¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский электротехнический университет (ЛЭТИ)»,

межотраслевая лаборатория «Современные электротехнологии» (МОЛСЭТ), Санкт-Петербург, Россия

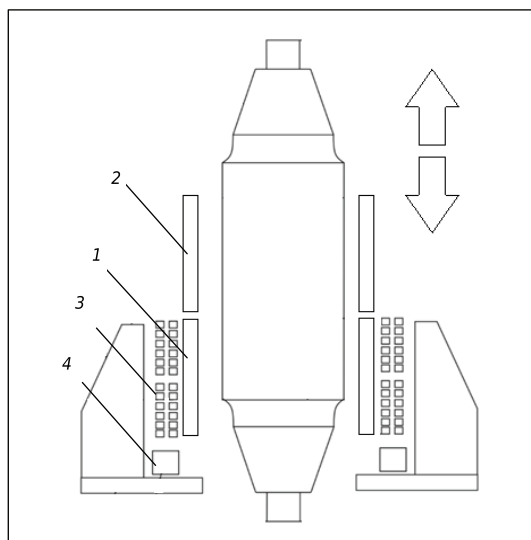
² ФГБОУ ВО «Магнитогорский технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

В конструкцию индукторов для высокотемпературного нагрева металлов перед обработкой давлением до 1000–1200 °С обычно входит жаропрочная футеровка. Роль ее заключается как в снижении тепловых потерь с поверхности нагреваемых объектов и повышении термического КПД нагревателя, так и в защите водоохлаждаемого индуктора. За счет оптимизации конструктивных параметров индукционных нагревателей можно обеспечить высокие энергетические показатели. Боль-

шую роль при этом играет выбор толщины футеровки. С одной стороны, увеличение толщины футеровки приводит к снижению тепловых потерь и повышению термического КПД индукционной установки, с другой — к увеличению непроводящего зазора между индуктором и загрузкой, что снижает электрический КПД. Поэтому существует оптимум толщины футеровки, обеспечивающий максимум полного КПД.

Индукционная поверхностная закалка применяется в промышленности для получения изделий с твердым и прочным поверхностным слоем и сравнительно мягкой и вязкой серединой. В этом заключается ее главное конкурентное преимущество. Существующие способы индукционной закалки можно разделить на две главные группы: одновременная и непрерывно-последовательная. Одновременный способ используется при закалке небольших деталей, непрерывно-последовательный — при закалке длинномерных и крупногабаритных изделий.

Непрерывно-последовательная высокочастотная закалка стальных цилиндров с небольшими диаметрами хорошо изучена, она обычно осуществляется в зависимости от глубины закалки на частотах от 1 кГц до нескольких МГц. Глубина закалки составляет для обычных углеродистых сталей от нескольких миллиметров до десятых долей миллиметра. Индуктор и спрейер часто совмещаются или находятся в непосредственной близости. Зазор между индуктором и закаливаемой деталью составляет единицы миллиметров, время закалки — секунды. Футеровка вообще не используется.



Конструкция блока индуктора-спрейера: 3 — индуктор; 4 — спрейер; остальные обозначения — в тексте

Индукционная закалка валков большого диаметра существенно отличается от закалки токами высокой частоты (ТВЧ). Исторически закалка валков и в СССР, и на Западе осуществлялась токами промышленной частоты (ТПЧ) 50/60 Гц. Глубина закалки составляет десятки миллиметров и достигает 100 мм в зависимости от прокаливаемости стали. Технологический процесс закалки валков большого диаметра длится часами и требует предварительного подогрева валков. В конструкции блока индуктора-спрейера может использоваться футеровка (см. рисунок). Футеровка 1

защищает индуктор и снижает тепловые потери с поверхности валка под индуктором, футеровка 2 снижает тепловые потери с поверхности валков. Исследовано влияние футеровки на итоговое распределение температуры, а также влияние толщины и высоты футеровки на тепловые потери и энергетические показатели. При построении системы управления важно учитывать, что дополнительная футеровка 2 сильно влияет на распределение температуры по длине валка при закалке, что, в свою очередь, обеспечивает качество готовой продукции.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПЕНОКЕРАМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КЕРАМОВОЛОКНИСТОЙ ФУТЕРОВКИ

(✉)

E-mail:

rechkalov@spetsogneupor.ru

© Е. Н. Демин¹, А. А. Речкалов² (✉)

¹ Компания DEMIN SRM GmbH, г. Герсрид, Германия

² ООО «СпецОгнеупорКомплект», г. Екатеринбург, Россия

На сегодняшний день большинство тепловых агрегатов, не работающих в прямом контакте с агрессивными средами, перешли на рабочую футеровку из керамического волокна. В основном в качестве элементов футеровки используются Z-блоки или модули из муллитокремнеземистого волокна, а также из алюмосиликатных волокон, стабилизированные оксидом циркония. В связи с принятием решения о медицинских ограничениях к муллитокремнеземистому волокну на рынке появляется биорастворимая теплоизоляция — или плиты и изделия из силиката кальция, или волокна на основе силикатов магния и кальция. Тем не менее теплоизоляция из алюмосиликатного волокна преобладает в изготовлении рабочего слоя футеровки в нагревательных и обжиговых печах различного назначения.

Температура использования керамоволокнистой теплоизоляции ограничивается не столько температурой плавления или усадки волокон, сколько температурой начала их рекристаллизации. Этот механизм широко и давно описан; известны условия повышения температуры рекристаллизации путем введения различных оксидов при изготовлении штапельного керамического волокна (например, оксидов хрома и циркония). Рекристаллизация алюмосиликатного волокна начинается при температурах выше 800 °С. При незначительной вибрации и повышении скорости газовой смеси в рабочем пространстве такая теплоизоляция начинает разрушаться, несмотря на температуру плавления волокна выше 1700 °С. Зная эту проблему, многие потребители стараются использовать защитные покрытия или мастики для уменьшения разрушения волокнистой футеровки. Во многих случаях такие покрытия выполняют свою функцию, но они не повышают температуру эксплуатации волокнистой теплоизоляции, а лишь предотвращают преждевременное механическое разрушение волокна.

Разработанное авторами покрытие в корне отличается от своих аналогов и предназначено не только

для защиты волокон от механического износа, но и для повышения температуры эксплуатации волокнистой теплоизоляции на 200–350 град. Механизм работы покрытия можно описать следующим образом. Слой покрытия, нанесенный на рабочую поверхность керамоволокнистого материала, при температурах начала рекристаллизации муллитокремнеземистого волокна, увеличивается в объеме примерно в 10–12 раз с образованием пенокерамической микропористой структуры, способной выдерживать температуру до 1550 °С. Механическая прочность такого вспененного покрытия как минимум в 3 раза превосходит прочность керамоволокнистой поверхности и в дополнение к этому создает защитный теплоизоляционный слой, который в зависимости от толщины покрытия и температуры эксплуатации снижает тепловое воздействие на алюмосиликатное волокно. Теплопроводность покрытия при 1400 °С составляет 0,35 Вт/(м·К).

Покрытие можно использовать также как ремонтный материал для волокнистой теплоизоляции, нанося его как на холодную, так и на горячую поверхность. В зависимости от степени и глубины износа покрытие может наноситься толщиной от 1 до 20 мм. При толщине 20 мм после вспенивания в интервале 700–900 °С толщина ремонтируемого слоя будет достигать 100–1500 мм. Покрытие для ремонта футеровки необходимо наносить пульверизатором или инъекционным устройством послойно, с толщиной каждого слоя не более 5 мм.

Разработанное покрытие рекомендуется применять для улучшения эксплуатационных свойств любого минерального волокна. Все работы по исследованию этого покрытия проводили на алюмосиликатных волокнах, но, изменив его химический и фазовый составы, можно повышать температуру его применения и в случае использования базальтовой теплоизоляции. Технически это не представляет трудности, но позволяет расширить возможности применения базальтовой теплоизоляции в качестве высокотемпературной.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКОВ С ДОБАВКАМИ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

(✉)

E-mail:

ms.marina.druzhinina@mail.ru

© М. Э. Дружинина (✉), Г. Г. Лучникова, Д. С. Суворов, Б. Б. Хайдаров, К. Т. Н. Д. В. Кузнецов
ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСиС», Москва, Россия

Шлаки черной металлургии являются наибольшим по объему отходом. Превращение металлургических шлаков и других отходов в вяжущие материалы малозатратными безобжиговыми способами является в настоящее время актуальной задачей. Применение доменных шлаков в качестве сырья для производства шлакопортландцемента, шлакощелочных бетонов, заполнителя цементных и асфальтовых бетонов, для получения вяжущих для дорожного и гражданского строительства достаточно перспективно.

В данном исследовании в качестве основы вяжущего материала используется гранулированный доменный шлак (ГДШ) с добавлением портландцемента марки М500 (10–50 мас. %). Необходимой ступенью является магнитно-индукционный помол смеси в аппарате вихре-

вого слоя для ее механической активации и гомогенизации. Исследована зависимость прочности получаемого вяжущего от количества добавляемого портландцемента. Наилучшими показателями обладают образцы цементного камня с 40 и 50 мас. % портландцемента. Испытания показали предел прочности при сжатии до 100 МПа (28 сут) и до 120 МПа (180 сут). Прочность образцов всех полученных составов превышает прочность образцов из чистого портландцемента марки М500.

Таким образом, использование магнитно-индукционного помола и гранулированного шлака с добавкой цементного клинкера позволяет получать вяжущие, сопоставимые с рыночными аналогами, и превышающие по своим характеристикам материалы из молотого ГДШ или обычного портландцемента.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА ШАМОТНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ**

(✉)

E-mail: rimvydas.stonys@vgtu.lt

© П. Зданиявичус¹, Д. Т. Н. В. Антонович¹, Д. Т. Н. Р. Борис¹, Д. Т. Н. Р. Стонис¹ (✉),
Д. Т. Н. Р. Шукис¹, Д. Т. Н. Е. Витек²¹ Институт строительных материалов, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса,
г. Вильнюс, Литва² Институт керамики и строительных материалов, отдел огнеупорных материалов в Гливице, Польша

В данной работе исследовали традиционный жаростойкий бетон с шамотными заполнителями разных марок (с содержанием Al_2O_3 25, 35 и 45 %). Установлено, что добавка 2,5 % SiO_2 способствует увеличению щелочной стойкости бетона от 2 до 20 циклов вне зависимости от марки шамотного заполнителя. Исследования показали, что образовавшийся при высоких температурах в результате воздействия щелочи на материал поверхностный

защитный слой эффективен в диапазоне 1000–1100 °С (обычные рабочие температуры в котлах при сжигании биотоплива). Однако при 1200 °С вязкость стекловидного защитного слоя значительно снижается, а пористость традиционного шамотного бетона увеличивается на 4–7 %. Вследствие этого стеклофаза поверхностного защитного слоя проникает в структуру бетона, а стойкость материала к щелочным соединениям значительно снижается.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**КИНЕТИКА СПЕКАНИЯ КЕРАМОВОЛОКНИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ МУЛЛИТОКОРУНДОВОГО СОСТАВА**

(✉)

E-mail: zroman777@mail.ru

© К. Т. Н. Р. В. Зубащенко (✉)
ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол, Россия

Применение эффективных высокотемпературных теплоизоляционных изделий позволяет существенно снизить потери тепла в окружающую среду и расход топлива.

За последние годы ПКФ «НК» освоила производство целого ряда алюмосиликатных и корундовых теплоизоляционных изделий. Освоен выпуск высокоглиноземистых изделий, армированных алюмосиликатным волокном, с повышенной термостойкостью ($Al_2O_3 \geq 63$ %, $\sigma_{сж} \geq 7,0$ МПа, $\rho_{каж} \leq 1,35$ г/см³, $T_{max} = 1500$ °С). Это обожженные огнеупоры, состоящие из пористого заполнителя, алюмосиликатного волокна и неорганической связки. Очевидно, что их свойства во всем диапазоне кажущейся плотности зависят от степени спекания.

При разработке технологии производства керамоволокнистых изделий определяли кинетические параметры процесса спекания полученного композиционного материала различного состава. Процесс спекания описывали уравнением $da/dt = k_0 \cdot \exp(-E/RT) \cdot (1 - \alpha)^n$, где α — параметр, характеризующий степень спекания материала (Y/Y_{max}); Y — текущая линейная усадка образца; Y_{max} — максимально возможная усадка образца; T — температура; τ — время; E — энергия активации процесса; R — универсальная газовая постоянная; n — показатель степени; k_0 — предэкспоненциальный множитель. Использование этого уравнения позволило определить влияние соотношения компонентов шихты на энергию активации и температуру спекания изделий.

СТРУКТУРНЫЙ ФАКТОР ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОЛОКНИСТО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МУЛЛИТОКОРУНДОВОГО СОСТАВА С КЕРАМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЕЙ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: zroman7777@mail.ru

© К. т. н. **Р. В. Зубашенко** (✉), **В. И. Кузин**
ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол, Россия

В последнее время благодаря низкой теплопроводности, малой плотности, относительно высокой стойкости к тепловым ударам волокнистые материалы находят широкое применение в печестроении. Важнейшим свойством этих материалов, определяющим эффективность их использования, является теплопроводность. Исследовали теплопроводность изделий, представляющих собой обожженный пористый материал, полученный из легковесного заполнителя и волокон системы $Al_2O_3-SiO_2$, упрочненных неорганической связкой. Непрерывная фаза представлена упрочненным неорганической связкой волокном, вторая фаза располагается в ней в виде отдельных включений и представляет собой пористый заполнитель корундового состава.

Пористая структура такого материала довольно развитая и может изменяться в достаточно широких пределах. Исследовали ее влияние на теплопроводность изделий кажущейся плотностью от 1,3 до 1,7 г/см³. Очевидно, увеличение кажущейся плотности сопровождается некоторым ростом контактной поверхности и уменьшением размера пор, что значительно отражается на теплопроводности. Получение вышеуказанного диапазона кажущейся плотности добивались изменением технологических параметров (давление формования, состав, температура обжига). Установленные функциональные зависимости позволили определить влияние структуры на теплопроводность материала при различных средних температурах.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ, АРМИРОВАННЫХ МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТЫМ ВОЛОКНОМ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: zroman7777@mail.ru

© К. т. н. **Р. В. Зубашенко**¹ (✉), **М. А. Павлюшин**²

¹ ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол, Россия

² ЗАО «Теплохиммонтаж», г. Старый Оскол, Россия

Важная роль в решении проблемы энергосбережения и экономии тепловой энергии принадлежит высокоэффективной теплоизоляции, в том числе высокотемпературной. Для тепловых агрегатов периодического действия значимым показателем является термостойкость. Известно, что введение в зернистые керамические изделия волокон позволяет существенно увеличить термостойкость образующихся композиционных материалов.

Оптимизировали состав изделий, представляющих собой обожженный пористый материал, полученный из легковесного заполнителя и муллитокремнеземистых волокон, упрочненных неорганической связкой. Их структуру можно свести на макроуровне к двухкомпонентной (матрица – заполнитель). Такую двухкомпонентную структуру можно разделить на две группы в зависимости от степени раздвижки зерен заполнителя. В первом случае зерна заполнителя не образуют контакты между собой, они «плавают» в связующей массе. Свойства ма-

териала при такой макроструктуре обусловлены преимущественно свойствами связующей матричной части (волокна, упрочненные неорганической связкой). По мере насыщения структуры зернами заполнителя образуется каркас, склеенный тонкой прослойкой матричной части. Такая структура благоприятна с точки зрения усадочных процессов при воздействии высоких температур. Очевидно, что свойства изделий с этой структурой во многом зависят от свойств пористого заполнителя. Оптимизацию состава проводили с помощью симплекс-решетчатого метода планирования эксперимента (планы Шеффе). При изменении соотношения легковесного заполнителя, алюмосиликатного волокна и неорганической связки изменяли соотношение в системе матрица – заполнитель. В результате такого варьирования, а также изменения температуры обжига изделий были определены области составов, удовлетворяющих различным эксплуатационным требованиям.

ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ ИЗ ОПАЛ-КРИСТОБАЛИТОВЫХ ПОРОД

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: sillicium@bk.ru

© К. т. н. **К. С. Иванов** (✉)
ФГБУН «Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН», г. Тюмень, Россия

Пеностеклокерамика является ячеистым силикатным материалом с закрытопористой структурой, что обеспечивает ей высокую прочность при низкой плотности на-

ряду с повышенными теплоизолирующей способностью и термостойкостью. Материал может выпускаться в гранулированном или плитном виде для теплоизоляции

промышленных аппаратов, трубопроводов и т. п. с рабочей до 500 °С, в строительстве — для теплоизоляции ограждающих конструкций, в качестве заполнителя при получении легких бетонов. Основной компонент материала — опал-кристобалитовые породы в виде диатомита, трепела и опоки распространены широко и имеют выходы на поверхность. Однако второй компонент шихты — NaOH является дорогостоящим, что сдерживает промышленную реализацию технологии пеностекло-керамики. Снижение содержания NaOH с сохранением функциональных свойств материала является актуальной проблемой.

Диатомит высушивали и измельчали в порошок для смешивания с водным раствором NaOH. Для получения шихты был принят способ экструзии, состоящий в воздействии шнека, продавливающего пластичную шихту через заданные отверстия. К технологическому преимуществу этого способа относится улучшение качества гомогенизации шихты за счет возможности многократной экструзии и изменения диаметра отверстий. Во-вторых, получение шихты и ее грануляция совмещаются в одной непрерывной операции. Состав шихты соответствовал массовому соотношению между диатомитом и сухим NaOH, равному 8, что дает молярное соотношение между аморфной фазой SiO_2 и Na_2O , равное 4,7, более высокое соотношение экономически неоправданно. Шихту высушивали при 80 °С и измельчали в дробилке до фракции 1–2,5 мм для обжига при 850 °С в формах из жаростойкой стали в муфельной печи, предварительно разогретой до температуры обжига, с выдержкой 20 мин. Из материала выпиливали кубы с ребром 30 мм для определения средней плотности и прочности при сжатии.

Поскольку расход NaOH напрямую зависит от кратности вспенивания шихты при обжиге, критерием оценки снижения расхода NaOH служила средняя плотность образцов. Ее изменение исследовали в зависимости от интенсивности механического воздействия на шихту при экструзии, а также от влияния предварительной гидротермальной обработки шихты в среде насыщенного водяного пара при 90 °С в течение 1 ч. Последний прием используется при синтезе жидких стекол из ОКП и приводит к интенсификации растворения аморфных фаз SiO_2 в щелочах. Поризация шихты начинается от температуры 500 °С в результате дегидратации силикатов натрия и перехода в пиропластическое состояние. Отмечается присутствие нерастворенных панцирей диатомей, которые «вплавлены» в общую силикатную массу, на сколе которой видны зарождающиеся поры размерами около 1 мкм. Игольчатые кристаллы свидетельствуют о наличии непрореагировавшего NaOH, который превращается в водные формы карбоната натрия. При 600 °С отчетливо видны отдельные поры размерами до 3 мкм. Поризация прекращается при 850 °С.

Основной результат — снижение расхода NaOH за счет пропорционального увеличения объема материала после обжига, которое достигается повышением степени гомогенизации шихты в экструдере. При одно- и двукратной экструзии средняя плотность составляет 0,68 и 0,52 г/см³ соответственно. Гидротермальная обработка шихты дает эффект снижения до 0,38 г/см³ за счет протекания более полного силикаатообразования, что подтверждается меньшим количеством непрореагировавших панцирей диатомей и игл карбоната натрия. Предел прочности при сжатии составляет 4,3–6,0 МПа.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: dak@agh.edu.pl

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАЛЕНИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ Al_2O_3 ИЗ СТАЛИ В РЕЗУЛЬТАТЕ СТОЛКНОВЕНИЯ И АГЛОМЕРАЦИИ В КЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРАХ

© Д. т. н. **Д. Калиш**¹ (✉), **К. Куглин**¹, **В. О. Синельников**^{1,2}, к. т. н. **М. Грабовы**³

¹ «AGH» Научно-технический университет, кафедра формовочных материалов, технологий формы и литья цветных металлов, г. Краков, Польша

² Магнетитовый завод «ROPZYCE» S.A., Исследовательский центр развития керамических материалов, г. Ропчице, Польша

³ Институт технической керамики «CEREL», г. Богухвала, Польша

Метод фильтрации является одним из наиболее успешных при удалении включений Al_2O_3 из жидкой стали. Об эффективности этого процесса свидетельствуют физико-химические параметры жидкого металла, неметаллических включений, а также характеристики используемых фильтров. Улавливание частиц во время фильтрации включает процессы агломерации, столкновения, адгезии и химических реакций на поверхности фильтра, причем главную роль при этом играет механизм, основанный на теории столкновения частиц и материала фильтра. Выделения Al_2O_3 сталкиваются с поверхностью фильтра, а по мере образования наростов частицы сталкиваются также с адсорбированными ранее включениями. Наиболее интенсивное перемешивание происходит в самом месте контакта частицы с материалом фильтра. Причинами этого являются внезапное изменение направления течения, а также разрушение

струи жидкого металла, находящегося в непосредственном контакте с материалом. Эффективность фильтрации определяется поведением не только отдельных частиц, но и целой популяции, причем моделирование показало, что лишь небольшая часть этих частиц прилипает непосредственно к материалу фильтра, а подавляющее большинство прилипает к предыдущим частицам. При этом следует также учесть, что некоторые из включений, которые вошли в контакт со стенками фильтра, не создают прочного соединения с ними и уносятся вместе с металлом.

Авторы настоящей работы решили проблемы агломерации и столкновений включений Al_2O_3 с поверхностью керамического фильтра, применив метод PSG, который в большинстве случаев используется для анализа явлений агломерации включений в процессе рафинирования стали в ковше.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКОЦЕМЕНТНЫХ
МАГНЕЗИАЛЬНЫХ БЕТОНОВ**(✉)
E-mail: kir77766617@yandex.ru© Д. т. н. **И. Д. Кашеев**, к. т. н. **К. Г. Земляной** (✉), **А. Р. Хафизова**
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

С учетом последних достижений, полученных в области производства неформованных огнеупоров, задача по разработке высокомагнезиальных саморастекающихся бетонов становится все более актуальной. В различных исследованиях указывается на то, что при производстве магнезиальных мало- и низкоцементных бетонов с добавкой связки из микрокремнезема или гидратируемого глинозема вместо кальцийалюминатного цемента количество MgO в бетоне обычно ограничивается максимум 10 мас. %, причем, как правило, в виде крупного заполнителя (>1 мм). Основным препятствием для широкого применения периклазовых монолитных огнеупоров является возможность сильно выраженной гидратации, происходящей вследствие образования из MgO брусита $Mg(OH)_2$ при контакте с водой.

Настоящая работа посвящена изучению принципиальной возможности разработки магнезиальных бетонов на основе гидравлических вяжущих для футеровки металлургических агрегатов. В первую очередь изучали гидратацию периклаза в условиях получения низкоце-

ментного огнеупорного бетона. В качестве исходных материалов использовали: плавный периклаз марки DTMF 92 производства Группы «Магнезит», высокоглиноземистый цемент марки CA-270 и диспергирующий глинозем марки M-ADS, M-ADW компании Almatiss. Исследования показали, что в чисто периклазовом бетоне содержание гидратной фазы $Mg(OH)_2$ во всем температурном интервале исследований не превышает 0,7 мас. % и не может существенно влиять на стойкость бетона. Керамические свойства образцов до термообработки и высушенных при 110 °C находятся на уровне свойств алюмосиликатных бетонов. Выше 600 °C происходит разрушение цементных кристаллогидратов, сопровождающееся повышением открытой пористости и снижением прочности, что указывает на отсутствие спекания в системе. На это накладывается процесс шпинелеобразования, идущий с увеличением объема кристаллической решетки. Таким образом, полученные данные могут послужить основой для дальнейшей разработки магнезиальных бетонов с улучшенными физическими свойствами.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОПТИМИЗАЦИЯ ШЛАКОВОГО РЕЖИМА И СТАБИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ
ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ФУТЕРОВКИ**(✉)
E-mail: chemic@yandex.ru© К. т. н. **В. В. Козлов** (✉)
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, Санкт-Петербург, Россия

Шлаковая коррозия — одна из основных причин вывода из эксплуатации футеровки агрегатов внепечной обработки стали. Существует серьезная проблема образования двухкальциевого силиката, который кристаллизуется вместе с другими фазами при охлаждении шлакового расплава, проникшего в щели футеровки, и вызывает сколы и растрескивание огнеупоров: ниже 820 °C происходит полиморфное превращение двухкальциевого силиката, сопровождающееся увеличением объема на 12 %. Неритмичная работа металлургического агрегата, значительное охлаждение между плавками приводят к существенному снижению ресурса футеровки. Существуют различные методы стабилизации рафинировочных шлаков, один из них — модификация химического состава шлака для смещения его в область, в которой не происходит кристаллизация двухкальциевого силиката.

Агрессивность шлакового расплава по отношению к футеровке определяется его химическим составом и температурой. Агрессивность шлака максимальна, если его химический состав находится в области первичной кристаллизации одного из легкоплавких соединений. Для минимизации агрессивности шлака по отношению к периклазоуглеродистому огнеупору его химический

состав модифицируют в область первичной кристаллизации MgO. Однако при повышении концентрации MgO выше предела растворимости в шлаке при заданной температуре формируется гетерогенный шлаковый расплав, обладающий высокой вязкостью и недостаточной рафинирующей способностью.

Высокотемпературное фазообразование в многокомпонентных оксидных шлаковых системах (и системах шлак – огнеупор) с достаточной точностью описывается с помощью 6-компонентной химической системы $CaO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-FeO-Fe_2O_3$, которая представляет значительный интерес с точки зрения изучения свойств многих формованных и неформованных огнеупорных материалов и металлургических шлаков.

На кафедре ХТТИиСМ СПбГТИ(ТУ) разработана методика моделирования фазового состава шлаков в данной системе и определения областей первичной кристаллизации, разработано программное обеспечение, которое позволяет оценивать агрессивность шлаковых расплавов и реализовывать коррекцию шлакового режима плавки. Программное решение предназначено для оптимизации шлакового режима процесса плавки, замедления шлаковой коррозии, повышения ресурса футеровки металлургических агрегатов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**СТАБИЛИЗАЦИЯ ШЛАКОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ
ОТ СИЛИКАТНОГО РАСПАДА**

(✉)

E-mail: ikushnerev@magnezit.com

© К. Т. н. **И. В. Кушнерев**¹ (✉), К. Т. н. **М. Б. Оржеж**², **Б. Б. Либанов**², **С. А. Коротеев**³,
А. А. Платонов³, К. Т. н. **В. В. Плюхин**¹¹ ООО «Группа «Мagneзит», Москва, Россия² ООО «Группа «Мagneзит», г. Новокузнецк, Россия³ ООО «Группа «Мagneзит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Производство стали связано с образованием различных отходов, значительную часть которых составляют шлаки внепечной обработки стали в сталеразливочных ковшах. Рециклинг таких шлаков затруднен в связи с силикатным распадом. В процессе охлаждения шлака от температур сталеплавильного процесса до полного остывания двухкальциевый силикат претерпевает ряд полиморфных превращений. Одно из них, протекающее около 490 °С, ведет к объемному расширению фазы, в результате чего возникают микротрещины, развитие которых приводит к полному распаду шлаков до состояния порошка.

Существующие способы предотвращения силикатного распада в общем случае подразделяются на физические и химические. Физические представляют собой процессы ускоренного охлаждения шлака для стабилизации двухкальциевого силиката в одной из высокотемпературных модификаций. Химическая стабилизация подразумевает изменение состава шлака специальными добавками, обеспечивающими стабилизацию кристаллической решетки двухкальциевого силиката или предотвращающими его формирование. Использование физических методов стабилизации шлаков в отличие от химических требует использования дополнительного оборудования и капитальных затрат. В этой связи перспективно создание комплекс-

ных стабилизирующих добавок, позволяющих получить помимо стабилизации шлаков дополнительный экономический эффект.

Один из вариантов кристаллохимической стабилизации заключается в добавлении в шлаки борсодержащих соединений. Стабилизация в этом случае связана с замещением силикатных ионных групп на боратные, в результате чего затрудняется диффузия атомов и ионов, участвующих в полиморфном превращении. Разработанный в Группе «Мagneзит» высокомагнезистый борсодержащий флюс позволяет эффективно стабилизировать шлаки внепечной обработки стали. Одновременно с этим производится насыщение шлака оксидом магния и обеспечивается формирование защитного шлакового слоя на футеровке сталеразливочного ковша, чем снижается ее износ.

Физико-химические исследования показывают наличие в стабилизированных шлаках высокотемпературных форм двухкальциевого силиката. Термодинамическое моделирование равновесного охлаждения шлаков, выполненное в FactSage™, позволяет говорить о возможности прогнозирования фазового состава шлаков. Анализ полученных данных позволил определить необходимый для стабилизации расход борсодержащей добавки в зависимости от состава шлака.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКООГНЕУПОРНОЙ
ОСОБОПЛОТНОЙ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ**

(✉)

E-mail: ukrmio@kharkov.ukrtel.net

© К. Т. н. **К. И. Кущенко** (✉), К. Т. н. **Ю. А. Крахмаль**, К. Т. н. **Ю. Е. Мишнев**ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного»,
г. Харьков, Украина

Изделия из высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики нашли широкое применение в различных отраслях. В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» разработана и внедрена технология высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики марки КОП, изготавливаемой методами шликерного литья в гипсовые формы, экструзии и вертикального выдавливания из термопластичных масс.

Для совершенствования технологии корундовой керамики, изготавливаемой методом шликерного литья в гипсовые формы сливным и наливным способами, исследовано влияние диспергирующей и упрочняющей добавок на реологические свойства шликера из сверхтонкодисперсного глинозема, а также на свойства образцов из корундовой керамики. Установлено, что введение оптимального количества диспергирующей добавки в шликер для изготовления толстоценных изделий сливным способом улучшает его реологические

характеристики. Показано, что введение в шликер для изготовления тонкостенных изделий наливным способом оптимального количества упрочняющей добавки обеспечивает повышение кажущейся плотности и предела прочности при сжатии сырца, а также улучшение свойств обожженных образцов корундовой керамики. Доработана технология высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовые формы сливным и наливным способами, позволяющая получить изделия с высокими показателями: массовая доля Al_2O_3 не менее 99,5 %, Fe_2O_3 не более 0,05 %, SiO_2 не более 0,1 %, MgO не более 0,1 %, открытая пористость 0.

Для доработки технологии высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики методом экструзии исследовали зависимости пластической прочности глиноземистых масс на временной технологической связке от их влажности и длительности хранения.

Установлены оптимальная влажность масс для формования изделий из корундовой керамики, а также длительность их хранения, обеспечивающие получение качественных изделий.

Для совершенствования технологии высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики методом вертикального выдавливания из термопластичных масс установлены оптимальные соотношения твердой фазы и временной технологической связки, позво-

ляющие получать изделия с высокими показателями свойств. Высокоогнеупорные особоплотные корундовые изделия марки КОП соответствуют требованиям ТУ У 23.2-00190503-431:2017 и в зависимости от метода формования изготавливаются в виде тиглей, чехлов, труб, кювет, лодочек, стаканов, изоляторов, стержней, пластин, ступок и пестиков, а также в виде капиллярных трубок с одним и двумя отверстиями и других изделий для службы при температурах до 1850 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МИКРОСТРУКТУРА И РАЗРУШЕНИЕ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СПЛАВА Cu–0,8 % Mn С ДОБАВКАМИ Al И В₄C

(✉)
E-mail: alotfy@isis.ru

© А. Лотфи (✉), А. В. Поздняков, В. С. Золоторевский, Э. А. М. Шалаби

ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», кафедра металловедения цветных металлов, Москва, Россия

В матрицу сплава Cu–0,8 % Mn с добавкой 5 % Al механическим перемешиванием вводили 5 % керамических частиц В₄С. Полученную смесь переплавляли и получали методом литья под давлением. Изменения, происходящие в микроструктуре композитов, изучали с применением просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), а также рентгенодифракционного анализа. Изучали влияние добавки 0,8 % Mn на коэффициент теплового расширения матрицы Al–Cu с 5 % В₄С. Образцы после литья под давлением исследовали на предел прочности при сжатии при комнатной температуре, 200 и 250 °С. При сжатии образцов при пониженных температурах повышение предела текучести было более значительным: от 248 до 360 МПа при комнатной температуре и от 190 до

242 МПа при 200 °С. Влияние добавки 0,8 % Mn на скорость деформации было сильнее выражено при высокой температуре. Испытания на ползучесть до разрушения выполняли в течение 1 ч при 260 °С при разных значениях последующего постоянного давления. Поверхность разлома после разрушения образцов исследовали методом СЭМ. По сравнению с поршневым сплавом А355 композиты 5%Al–Cu–0,8%Mn–5%B₄C продемонстрировали большую сопротивляемость разрушению при ползучести, что позволяет использовать их для замены поршневого сплава А355 в автомобильной промышленности. Установлено, что значения, рассчитанные методом конечных элементов, хорошо согласуются с усредненными экспериментальными данными.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗОЛО-ШЛАКОВЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИИ

(✉)
E-mail: g.lychnik@gmail.com

© Г. Г. Лучникова (✉), М. Э. Дружинина, Д. С. Суворов, Б. Б. Хайдаров, К. Т. Н. Д. В. Кузнецов

ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов, Москва, Россия

Количество отходов (шлаки, шламы, окалина и др.), получаемых в процессе производства металлургической промышленности и хранящихся в отвалах, достигает 98 %. Это ухудшает экологическую обстановку, повышает расходы на утилизацию и т. д. Доменный шлак в последнее время используют в качестве компонентов или исходного сырья для получения вяжущих смесей из-за его цены, массы и прочности, т. е. он востребован для строительной индустрии. Однако необходимо решить еще одну не менее важную и актуальную проблему — создание энергоэффективного метода переработки шлака. Энергоэффективность метода магнитно-индукционного помола по сравнению с помолом в шаровой мельнице значительно выше и позволяет снизить энергозатраты при производстве минеральных вяжущих материалов до 2 раз.

Принцип работы аппаратов вихревого электромагнитного перемешивания основан на возникновении вихревого слоя электромагнитных частиц при действии на

них движущегося электромагнитного поля. В качестве активаторов обычно используют металлические цилиндрические тела. Метод магнитно-индукционного помола позволяет получать при меньших затратах энергии тонкомолотый гранулированный шлак. Для получения бетонов высокой прочности и хорошего качества необходимо присутствие в составе шлаковых материалов, растворимых силикатами натрия, поскольку они являются наиболее активными затворителями для таких материалов.

В работе проведено исследование вяжущих материалов, полученных при обработке магнитно-индукционным методом доменного гранулированного шлака с добавкой золы-уноса, которая образуется на электростанциях в процессе сжигания пылевидного угля. Были получены образцы искусственного камня с пределом прочности при сжатии 73 МПа (с содержанием 20 % золы-уноса и 5 % NaOH на основе череповец-

кого шлака) и 68 МПа (с содержанием 20 % золы-уноса на основе липецкого шлака); при этом кажущаяся плотность материала не превышала 1,95 и 1,98 г/см³ соответственно. Это позволит использовать шлак для из-

готовления бордюрного камня, тротуарной плитки или для укрепления грунтов, поскольку с помощью технологии создания бесцементных вяжущих можно производить микроцементы.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail:

ukmiiio@kharkov.ukrtel.net

НАБИВНАЯ МУЛЛИТОКОРУНДОВАЯ МАССА ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ С ДОБАВКОЙ КОРУНДОДИОКСИДЦИРКОНИЙСИЛИКАТНОГО МАТЕРИАЛА

© К. т. н. **В. В. Мартыненко** (✉), д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **Л. А. Бабкина**, к. т. н. **И. В. Хончик**, **Л. Н. Никулина**
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» проведены исследования зависимости свойств набивной муллитокорундовой массы и образцов из нее от количества добавки корундодиоксидцирконийсиликатного материала, содержащего не менее 89 % Al_2O_3 и 4–7 % ZrO_2 . Установлено, что применение оптимального количества корундодиоксидцирконийсиликатного материала в составе набивной муллитокорундовой массы обеспечивает повышение термостойкости изготовленных из нее образцов (в ~2,7 раза) при сохранении на достаточно высоком уровне прочностных свойств и шлакоустойчивости.

Показатели физико-химических свойств набивной муллитокорундовой массы разработанного состава и образцов, изготовленных из нее: массовая доля Al_2O_3 не менее 87,0 %, SiO_2 5,0–7,0 %, ZrO_2 1,0–3,0 %, Fe_2O_3 не более 1,0 %, P_2O_5 2,5–3,5 %; зерновой состав <3 мм; предел прочности при сжатии после обжига при 1580 °C не менее 80,0 МПа.

Разработанная набивная масса рекомендуется для монолитной футеровки тепловых агрегатов с температурой службы до 1700 °C, в частности, индукционных канальных и тигельных печей, особенно работающих в условиях резкого перепада температур.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail:

ukmiiio@kharkov.ukrtel.net

НИЗКОЦЕМЕНТНАЯ БЕТОННАЯ СМЕСЬ ОСНОВНОГО СОСТАВА

© К. т. н. **В. В. Мартыненко** (✉), д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **Л. А. Бабкина**, к. т. н. **И. В. Хончик**, **Л. Н. Никулина**
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» проведены исследования зависимости свойств низкоцементной бетонной смеси основного состава от продолжительности механической активации тонкомолотой составляющей бетонной смеси, вида гидравлически твердеющего вяжущего и диспергирующей добавки. По результатам исследований разработана технология изготовления низкоцементных периклазовых бетонных смесей, содержащих:

- магнезиальный заполнитель, гидравлически твердеющее вяжущее и диспергирующие добавки для изготовления как бетонов, так и обожженных особо-сложных изделий из них;

- магнезиальный заполнитель, гидравлически твердеющее вяжущее и фосфатную химическую связ-

ку для изготовления безобжиговых бетонных изделий, высушенных и/или термообработанных при 350 °C.

Низкоцементные периклазовые бетонные смеси характеризуются следующими показателями: массовая доля MgO не менее 85 %, CaO 1,5–2,5 %, Fe_2O_3 не более 2,0 %; зерновой состав <6 мм; предел прочности при сжатии образцов из бетона после обжига при 1580 °C (8 ч) 65–72 МПа; температура деформации под нагрузкой 1450–1470 °C; термостойкость 3–5 теплосмен (950 °C – вода); огнеупорность выше 1780 °C.

Разработанные бетонные смеси рекомендуются для монолитной футеровки высокотемпературных агрегатов черной и цветной металлургии, для производства ферросплавов и в цементной промышленности.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail:

ukmiiio@kharkov.ukrtel.net

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ОКСИДОМ ИТТРИЯ, ДЛЯ УСТАНОВОК ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ

© К. т. н. **В. В. Мартыненко** (✉), д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **И. Г. Шулик**, к. т. н. **Т. Г. Гальченко**, **Е. Б. Процак**
ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» разработана технология изготовления и производятся огнеупорные

изделия из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия. Существенными преимуществами

этих огнеупоров являются их высокая огнеупорность ($>2500^\circ\text{C}$), стабильность свойств в области температур эксплуатации (до $2350\text{--}2450^\circ\text{C}$), повышенная устойчивость к сублимации (вследствие близости скоростей испарения Y_2O_3 и ZrO_2 существенного изменения состава материала вплоть до 2500°C не происходит), низкая теплопроводность, мало изменяющаяся с ростом температуры. Эти характеристики обеспечивают эффективную эксплуатацию этих огнеупоров в промышленных установках выращивания монокристаллов, в том числе лейкосапфиров.

Институт производит изделия из плавленного ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 , различных конфигураций и типоразмеров: в виде крышки, цилиндра, сектора, а также сектора, кольца и диска с замковым соединением, тигля, сегмента и усеченного сегмента, плиты. Эти изделия характеризуются высокими показателями свойств, которые регламентируются требованиями ТУ У 23.2-00190503-405:2015: массовая доля ZrO_2 87–91 %, Y_2O_3 8–11 %, Fe_2O_3 не более 0,3 %; открытая пористость не более 25 %; предел прочности при сжатии не менее 30 МПа; термостойкость (1300°C – вода) не менее 3 теплосмен.

Для дальнейшего совершенствования технологии исследовано влияние влажности массы, ее прессуемости и давления прессования на основные показатели свойств сырца и обожженных огнеупорных изделий из плавленного ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 . Установлены оптимальные влажность массы и давление прессования, обеспечивающие получение огнеупоров с меньшей на 2–3 % (абс.) открытой пористостью и большим на 11,4 % (отн.) пределом прочности при сжатии. Выполненные исследования позволили усовершенствовать технологию изготовления высокоогнеупорных изделий из ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 , что обеспечит повышение стойкости изделий в службе и, следовательно, более длительную эксплуатацию высокотемпературных установок.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

РАЗРАБОТКА МАСС ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ФУТЕРОВКИ МГД-ПЕРЕМЕШИВАТЕЛЯ

(✉)

E-mail: kir77766617@yandex.ru

© К. т. н. **И. А. Павлова**, к. т. н. **К. Г. Земляной** (✉), **Л. Б. Валиева**

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

В металлургии широко используется такой класс магнитогидродинамических устройств, как магнитогидродинамические перемешиватели (МГД-перемешиватели). Индукционное воздействие на расплавленный металл обладает рядом преимуществ: отсутствием прямого контакта с расплавом, простотой управления и малой инертностью. Вместе с тем постоянный рост требований к количеству, стоимости и качеству получаемой продукции вызывает необходимость модернизировать имеющиеся установки. Одним из направлений усовершенствования является компенсация большого технологического зазора между индуктором и расплавом. Ранее была рассмотрена возможность установки вставок из высокотемпературного магнитодиэлектрического композита в футеровку агрегата для повышения воздействия электромагнитного поля на расплав. Исследования показали, что применение таких вставок может повысить эффективность работы перемешивателя почти в 2 раза.

В настоящей работе рассматривается разработка специальной футеровочной массы, из которой могут быть изготовлены вставки, являющиеся продолжением магнитопровода. Были разработаны огнеупорные массы двух видов:

1. Изготовленные методом полусухого прессования.
2. Огнеупорные бетоны.

В массах, полученных методом полусухого прессования, основную часть составляет карбонильное железо, содержание которого колеблется от 47 до 67 %. Для придания пластичности в шихту была добавлена дружковская глина (~30 %), в качестве отощителя был взят шамот (~20 %). Для полусухого прессования в смесь порошков вводили 5 % воды. После формования образцы обжигали.

Учитывая специфичность области применения масс, осознали необходимость определить их электрические и магнитные свойства. Электропроводность исследовали методом импедансной спектроскопии, а относительную магнитную проницаемость — на кольцах методом амперметра-вольтметра. Результаты исследований: электропроводность первой массы $8 \cdot 10^{-4}$, второй $3 \cdot 10^{-3}$ См/м. Относительная магнитопроницаемость первой массы 3,3, второй 9,6.

Вставки были протестированы в лабораторном МГД-перемешивателе. В ходе работы было отмечено, что при введении вставок уменьшается в 2 раза время выравнивания температуры в расплаве. Таким образом, были разработаны массы для вставок в футеровку МГД-перемешивателя, усиливающие воздействие электромагнитного поля на расплав, что сыграет немаловажную роль в производительности и энергосбережении агрегатов для перемешивания расплавов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: katstivens@yandex.ru

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СОВМЕСТНО ОБЖИГАЕМОЙ КЕРАМИКИ (LTCC)
В ОБЛАСТИ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**© А. Ю. Павловец¹ (✉), д. т. н. И. Д. Кашеев¹, к. т. н. И. А. Павлова¹,
к. т. н. К. Г. Земляной¹, В. А. Климарев²¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», кафедра химической технологии керамики
и огнеупоров, г. Екатеринбург, Россия² Отдел перспективных разработок и программ парка науки и искусства «Сириус»,
фонд «Талант и успех», г. Сочи, Россия

В настоящее время прослеживается потребность в миниатюризации электронных устройств и увеличении рабочих частот оборудования. Это связано с обширным внедрением в различные устройства модулей связи и позиционирования: GPS, ГЛОНАС, Bluetooth, Wi-Fi и др., а также с увеличением мощностей вычислительной техники. Для поддержания высоких частот требуются новые соответствующие материалы с определенными физико-техническими характеристиками. Традиционная керамика, применяемая для изготовления печатных плат, обладает диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 10 \div 12$, но из-за высокой температуры спекания может совместно обжигаться только с тугоплавкими проводниковыми составами на основе молибдена и вольфрама. Высокая температура спекания ($T_{\text{сп}} \geq 1500$ °C) традиционной керамики и проводниковых составов значительно увеличивает время и затраты на производство электронных устройств.

Одним из технико-экономических направлений в производстве электронной базы различных электронных устройств коммерческого и военного назначения является разработка новых составов и технологий производства изделий, получаемых синтезом керамических материалов при низких температурах путем совместного обжига. Данные технологии относятся к ряду пунктов критических технологий РФ. Применение низкотемпературной совместно обжигаемой керамики «Low Temperature Co-Fired Ceramics» (LTCC-керамики) позволяет получать многофункциональные изделия сложной конфигурации и конструкции с высокой теплопроводностью. LTCC-керамику обжигают при (900 ± 50) °C, что позволяет уйти от применения тугоплавких проводниковых составов и перейти к легкоплавким проводниковым составам на основе серебра ($T_{\text{пл}} = 961$ °C), золота ($T_{\text{пл}} = 1064$ °C) и др. LTCC-керамика за счет введения в ее состав добавок специальных стекол, спекающих добавок и органического связующего после синтеза обладает высокой прочностью и необходимыми свойствами

для поддержания высоких частот и получения нужной топологии.

Создание и развитие современной технологии изготовления печатных плат на основе LTCC-керамики для РФ является перспективной и актуальной задачей. Важно создать отечественные составы и технологии, поскольку используются преимущественно зарубежные разработки. Применение импортной LTCC-керамики имеет ряд неудобств. Потребителю LTCC-керамика поставляется в «сыром» виде и совместно с проводниковыми составами обжигается непосредственно на заводе-потребителе. Такая керамика имеет ограниченный срок годности (не более 1 года). В рамках гранта «У.М.Н.И.К.» проведены исследования импортной LTCC-керамики марок FerroL8 и DuPont951. Разработана шихта на основе стеклокерамической системы $\text{BaO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Исследования LTCC-керамики FerroL8 и DuPont951 показали, что она содержит Al_2O_3 , B_2O_3 , SiO_2 и BaO в составе боросиликатного стекла. Размеры зерен в стекле 1–5 мкм. Был проведен также ряд сложных исследований на определение органического связующего. Метод фазового отделения полимерной связки от керамического порошка показал, что полимер является полифталатом или его сополимером. Последующие исследования показали, что в качестве органического связующего в LTCC-керамике можно использовать поливинилбутераль (PVB).

Для изготовления стекла использовали шихту состава $40\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}17\text{B}_2\text{O}_3\text{-}36\text{SiO}_2\text{-}6\text{BaO}$. Стекло исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии; была определена температура стеклования ($T_{\text{ст}} = 1135$ °C). После исследования импортных составов LTCC-керамики сформулировано техническое задание для получения отечественной LTCC-керамики с целью импортозамещения. Получение LTCC-керамики по предлагаемой технологии позволит уменьшить энергозатраты производства печатных плат с использованием тугоплавких материалов и сократить затраты на приобретение зарубежных материалов и технологий.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: pva-vostio@bk.ru

ЩЕЛОЧЕУСТОЙЧИВОСТЬ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ

© Д. Г.-М. Н. В. А. Перепелицын (✉), М. Н. Дунаева

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

В ряде отраслей промышленности футеровка высокотемпературных агрегатов подвергается воздействию щелочных соединений: паров Na_2O , K_2O , карбонатов, сульфатов, сульфидов, силикатов, а также различных органо-минеральных щелочесодержащих соединений,

например адипатов натрия. Крупным потребителем огнеупоров является цементная промышленность, которая использует около 10 % валового объема производимых огнеупорных изделий и материалов различного состава: алюмосиликатных, магнезиальношпинелид-

Температура плавления и объемные изменения продуктов реакции муллита и корунда с K_2O и Na_2O (по А. С. Бережному)

Реакции с корундом	Температура плавления, °C	Изменение объема, %	Реакции с муллитом	Температура плавления, °C	Изменение объема, %
$K_2O \cdot 11Al_2O_3$	1877	+ 14,6	$KAlSiO_4$	1797	+ 9,1
$Na_2O \cdot 11Al_2O_3$	2000	+ 19,0	$KAlSi_2O_6$	1686	+ 15,5
KAl_5O_8	1635	+ 3,5	$KAlSi_3O_8$	1150	+ 7,5
$NaAl_5O_8$	1555	10,7	$NaAlSiO_4$	1526	+ 20,0
			$NaAlSi_3O_8$	1118	+ 13,9
			K_2SiO_3	976	+ 10,7
			$Na_2Si_2O_5$	874	+ 3,3

ных, периклазошпинельных и др. В сырьевой смеси для производства портландцементного клинкера всегда содержатся щелочесодержащие примесные минералы различных химических классов: алюмо- и гидроалюмосиликаты, сульфаты, хлориды, карбонаты и др. Кроме того, некоторые виды топлива также являются источником щелочных испарений.

Известно отрицательное воздействие щелочей на износостойчивость многих огнеупоров. Однако физико-химический механизм щелочного разрушения футеровки вращающихся цементных печей изучен недостаточно. В данном сообщении приведены результаты экспериментальных исследований, проводимых в Инженерном центре ОАО «Динур», высокотемпературной устойчивости к K_2CO_3 , Na_2CO_3 , портландцементному клинкеру и другим реагентам нескольких видов огнеупорных бетонов. Испытания образцов огнеупорных бетонов на устойчивость к поташу K_2CO_3 и другим реагентам выполнено традиционным тигельным способом при 1400 °C в течение более 72 ч. Комплексным изучением тиглей после испытаний установлено, что щелочные оксиды оказывают на ряд огнеупоров двойное разрушающее воздействие: химическое и физическое. Химическое воздействие K_2CO_3 заключается в протекании

химических реакций с образованием в высокоглиноземистом тигле калиевых алюмосиликатов различного состава с температурами плавления от 1150 до 1797 °C (см. таблицу). Еще более интенсивное снижение температуры продуктов реакции корундомуллита (80 % мас. Al_2O_3) наблюдается при взаимодействии с Na_2CO_3 — от 1118 до 1526 °C.

Кроме алюмосиликатных соединений при реакциях муллита с содой и поташом образуются более легкоплавкие щелочные силикаты бинарного состава с температурами плавления 874–976 °C. Из таблицы видно, что все реакции корунда и муллита с щелочными оксидами сопровождаются большим приростом объема — от 3,3 до 20 %. При образовании тугоплавких продуктов синтеза это приводит к значительным внутренним напряжениям и вызывает растрескивание тиглей. Следовательно, оплавление образцов сочетается со структурным растрескиванием.

На основании лабораторных испытаний и литературных данных установлен ряд относительной щелочестойкости огнеупоров: $CaO > MgO > MgAl_2O_4 > ZrO_2 > Si_3N_4 > SiC > CaO \cdot 6Al_2O_3 > Al_2O_3 > 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 > SiO_2$. Для футеровки переходных зон вращающихся печей разработаны поликомпонентные бетонные смеси DinSiC 50LC, DinAZS 50LC, DinBS 61LC.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ



E-mail: pva-vostio@bk.ru

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОГНЕУПОРОВ**

© Д. г.-м. н. **В. А. Перепелицын** (✉), к. т. н. **А. В. Яговцев**

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

Анализ многочисленных публикаций зарубежных и отечественных авторов показал, что в последние годы теоретическим вопросам дальнейшего совершенствования огнеупоров не уделяется достаточного внимания. Ранее и в настоящее время создание новых огнеупоров базируется на двух группах теоретических положений: теплофизические и термодинамические свойства тугоплавких соединений. В группе главных теплофизических свойств в первую очередь учитываются температура плавления и огнеупорность материала. Однако если первое свойство является физической константой, то огнеупорность вещества может колебаться в определенных пределах в зависимости от ряда технологических параметров: дисперсности сырья, режимов термообработки, состава газовой атмосферы и других факторов.

Сравнительный анализ службы футеровки в различных тепловых агрегатах показал, что часто более

тугоплавкие минералы с высокой термодинамической прочностью (по величине энергии Гиббса ΔG_f°) по износостойкости заметно уступают менее огнеупорным материалам. Это несоответствие обусловлено тем, что в теории стойкости традиционно игнорировались кристаллохимические параметры тугоплавких минералов. В данном сообщении изложены новые теоретические положения износостойкости огнеупоров на основании неразрывной функциональной связи трех факторов: температурного, термодинамического и кристаллохимического. Для прогнозной оценки относительной износостойкости огнеупоров в экстремальных условиях службы нами предложен обобщенный единый физико-химический критерий, учитывающий термодинамическую прочность вещества, его кристаллохимические характеристики и температуру плавления. Этот новый комплексный критерий, названный термином

термоэнергоплотность T_d , кДж·град/см³, имеет вполне определенную физико-химическую сущность и представляет собой произведение энергетической плотности вещества (E — энергоплотность) на температуру его плавления $T_{пл}$: $T_d = E \cdot T_{пл} = (\Delta G_T^0/V) \cdot T_{пл} = (\Delta G_T^0/\rho/M) \cdot T_{пл}$, где ρ — истинная плотность, г/см³; M — молярная (для соединений) или атомная (для элементов) масса, соответственно г/моль и г/атом; V — молярный или атомный объем, соответственно см³/моль и см³/атом. Следовательно, износостойчивость огнеупора прямо пропорциональна энергии Гиббса (или атомизации), температуре плавления и обратно зависит от молярного (или атомного) объема.

Для расчета термоэнергоплотности химических элементов и бескислородных соединений с ковалентной и металлической связью в кристаллической решетке вместо энергии Гиббса используем энергию атомизации. Расчеты по приведенной выше формуле позволили установить, что среди всех известных природных минералов и искусственных неорганических соединений наибольшей энерго- и термоэнергоплотностью и температурой стабильности в твердом состоянии обладают алмаз и графит ($T_d \approx 400 \cdot 10^3$ кДж·град/см³) — минералы со 100 %-ной ковалентной связью.

Расчетные значения E_d наиболее доступных сырьевых тугоплавких минералов снижаются в ряду: алмаз, графит С, муассанит SiC, цирконат кальция CaZrO₃, бадделеит ZrO₂, периклаз MgO, корунд Al₂O₃, шпинель MgAl₂O₄, бонит CaO·6Al₂O₃, ларнит β-Ca₂SiO₄, декарбонизованный доломит CaO·MgO, известь CaO, муллит 3Al₂O₃·2SiO₂, форстерит 2MgO·SiO₂, магнезиохромит MgO·Cr₂O₃, циркон ZrO₂·SiO₂, эсколаит Cr₂O₃, кварц SiO₂, лешательерит SiO₂. В первую группу наиболее износостойчивых тугоплавких минералов входят алмаз, графит (первые места по величине термоэнергоплотности), карбид кремния, цирконат кальция, бадделеит, периклаз и корунд, которые являются минеральной основой современных наиболее износостойчивых огнеупоров. Вторая группа менее энергоплотных, но также отно-

сительно износостойчивых минералов представлена шпинелью, бонитом, ларнитом, «доломитом» и известью. Еще в недалеком прошлом смолодоломитовые огнеупоры сохраняли доминирующее положение в футеровке сталеплавильных агрегатов. В настоящее время в ряде стран (Китай, Германия и др.) наблюдается своего рода ренессанс доломитовых (периклазоизвестковых) огнеупоров, но модифицированного композиционного состава. При этом доломитовая и известковая футеровка ($T_{пл}$ соответственно 2370 и 2625 °C) обладает наиболее высокой рафинирующей способностью по отношению к большинству металлов. Расширяется также производство сравнительно новых бонитовых (гексаалюминат кальция) огнеупоров, имеющих ряд лучших служебных свойств, в частности в футеровке сталеразливочных ковшей.

Относительная износостойчивость минералов (материалов) второй группы значительно уступает стойкости огнеупоров первой. Например, показатель шлакоустойчивости муллита примерно в 3–10 раз ниже, чем у корунда одинаковой чистоты и пористости. Аналогичная резкая количественная разница отмечается и у одного из наиболее расплавоустойчивых материалов — диоксида циркония в сравнении с корундом. Скорость растворения последнего в сталерафинировочном шлаке примерно в 3 раза выше, чем у ZrO₂. Менее термоэнергоплотные материалы входят в состав третьей группы (динас и шамот).

На основании расчетных значений термоэнергоплотности можно теоретически рассчитать относительную износостойчивость любого тугоплавкого соединения (минерала), если известны его главные термодинамические и кристаллохимические характеристики ($T_{пл}$, ΔG_T^0 , V). Формула термоэнергоплотности фактически является наиболее достоверной математической моделью относительной стойкости огнеупоров в экстремальных условиях эксплуатации (агрессивные корродирующие во всех агрегатных состояниях, критические температуры, механические и другие воздействия).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: ina.pundiene@vgtu.lt

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ЦЕНОСФЕР НА СВОЙСТВА ЖАРОСТОЙКОГО ЛЕГКОВЕСНОГО БЕТОНА

© Д. т. н. И. Пундиене (✉), д. т. н. И. Пранцкевичене, д. т. н. М. Клигис, д. т. н. Г. Гирскас
Институт строительных материалов Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса,
г. Вильнюс, Литва

Модификация свойств жаростойких бетонов подходящими по химическому составу заполнителями на основе отходов наравне с экологическими позволяет решать различные задачи технологии бетонов, в частности регулирования реологических свойств бетонной смеси, снижения расхода цемента, улучшения физико-механических характеристик бетонов. Одним из малоиспользуемых заполнителей в производстве жаростойких бетонов являются алюмосиликатные микросферы — ценосферы, образующиеся наряду с золой в процессе сжигания угля, нефти, древесины, бытовых отходов. Ценосферы образуются в результате грануляции рас-

плава минеральной части углей и раздува раздробленных мелких капель внутренними газами, поэтому имеют низкую насыпную плотность (0,3–0,5 г/см³). Ценосферы обладают уникальными особенностями: низкой теплопроводностью — 0,1–0,2 Вт/(м·К), высоким механическим пределом прочности при сжатии — 20–35 МПа, термической стабильностью (спекание обычно происходит в интервале 1000–1450 °C), устойчивостью к воздействию кислот, агрессивных веществ. Большой интерес представляет использование ценосфер в производстве жаростойких бетонов для улучшения эксплуатационных свойств.

В работе исследовали влияние ценосфер на процесс гидратации глиноземистого цемента и параметры экзотермической реакции. Установлено, что ценосферы, обладая кислотным pH, способствуют торможению гидратации цемента. По сравнению с контрольным количество ценосфер 5, 10, 15 и 20 % продлевает время экзотермического эффекта на 19,8, 35,8, 63,8 и 81 % соответственно. Пропорционально увеличению количества ценосфер в составе плотность образцов снижается до 41,2 % после обжига при 1200 °C и составляет 1115 кг/м³. По сравнению с контрольным количество ценосфер 10, 15 и 20 % в составе бетона снижает предел прочности при сжатии образцов

на 13,6, 66,8 и 79 % после твердения и на 0,83, 24,2 и 60 % после обжига при 1200 °C. Добавка ценосфер в количестве 5 % повышает предел прочности при сжатии образцов после твердения на 3,6 % и после обжига при 1200 °C на 40,8 %. Полученные пористые структуры хорошо релаксируют напряжения, возникающие при обжиге, что отражается на усадочных процессах. Максимальное количество ценосфер 20 % снижает усадку до 95 % по сравнению с контрольными образцами после обжига при 1200 °C. По параметрам соотношения прочности образцов к их плотности количество ценосфер 5–10 % в составе является оптимальным.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

ЗАЩИТА УГЛЕГРАФИТОВОЙ ФУТЕРОВКИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ НАТРИЯ ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ ЛИТИЕМ

© А. В. Сaitов, д. т. н. В. Ю. Бажин (✉)

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия

Одной из главных причин ухудшения работы катодного устройства алюминиевого электролизера и снижения срока его эксплуатации от проектных значений является разрушение углеродной части футеровки вследствие внедрения натрия в кристаллическую решетку углеграфитового материала (УГМ). Проникновение щелочных металлов приводит к разрастанию внутренних напряжений, набуханию, разрыхлению и образованию разрывов с микротрещинами, что создает условия для последующей адсорбции электролита. Практические данные эксплуатации современных алюминиевых электролизеров показывают, что существующие технические решения, направленные на увеличение срока их службы, не находят широкого промышленного применения ввиду сложности их внедрения и экономической нецелесообразности. Выполненные ранее исследования влияния литиевых добавок на стойкость угольной подины к проникновению натрия не привели к разработке конкретных технических решений для их целеполагающего воздействия, что и создает новое направление научной деятельности, послужившее основой для выполненных исследований.

Для разработки технологии проводили опыты в электрохимической ячейке с обратной полярностью. Результаты модифицирования парами лития УГМ показывают, что при одинаковых условиях проведения эксперимента содержание натрия в углеграфитовом образце, прошедшем предварительную обработку парами лития и выдержанном в электролите при различных температурах, на 40–50 % меньше, чем в углеграфитовом образце без защитного интеркаляционного слоя. Это указывает на положительный эффект взаимодействия атомов лития со слоями и решеткой графитированной части, который сопровождается структурными изменениями поверхности образцов в течение заданного интервала времени.

Установлено, что проникновение натрия в углеграфитовый материал носит диффузионный характер, подчиняющийся второму закону Фика. Полученные в результате расчетов коэффициенты диффузии натрия по второму закону Фика для различных условий экспе-

римента показывают, что при повышении температуры и времени их значения увеличиваются. По сравнению со стандартным образцом коэффициент диффузии натрия при взаимодействии расплава с обработанным углеграфитовым образцом снижается почти в 2–3 раза. Термодинамические расчеты доказывают, что поток частиц в химическом поле определяется не градиентом их концентрации, а изменением их химического потенциала. В исследуемой системе атомы углерода образуют плотноупакованную и высокоупорядоченную кристаллическую решетку, поэтому это структурное состояние не способствует активной диффузии натрия. Несмотря на это, атомы натрия внедряются в междоузлия кристаллической решетки, образуя сильную разупорядоченную систему, что является фактором образования высокой диффузионной подвижности. Таким образом, в результате локальных сдвигов создаются условия для высоких диффузионных потоков, которые проникают через жесткий каркас подрешетки базисного вещества УГМ — графита.

Для объяснения механизма взаимодействия натрия с поверхностью углеграфитового образца при заданных температурных и временных интервалах в расплаве определены значения энергии активации процесса диффузии натрия в стандартный углеграфитовый образец ($E_a = 108$ кДж/моль), а также процесса диффузии натрия в обработанный литием углеграфитовый образец ($E_a = 166$ кДж/моль). Рассчитанные значения энергии активации процессов диффузии натрия доказывают, что диффузия натрия в углеграфитовые материалы помимо массопереноса имеет характер химической диффузии. Энергия активации процесса диффузии натрия в обработанный углеграфитовый образец в 1,5 раза больше, чем энергия активации диффузии натрия в стандартный образец, что предполагает наличие интеркалированных соединений типа LiC_x после обработки и необходимость преодоления этих связей во время диффузии.

Проведенные тестовые испытания УГМ создают предпосылки для разработки технологии защиты поверхности подины от проникновения натрия в процессе электролиза криолит-глиноземных расплавов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: dina-brazhnik@ukr.net

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ
ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ
В ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРАХ**© Д. Т. Н. Г. Д. Семченко, д. т. н. Г. Н. Шабанова, к. т. н. Д. А. Бражник (✉), Е. Е. Старолат,
И. Н. Рожко, Л. В. РуденкоНациональный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
кафедра технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей, г. Харьков, Украина

Развитие и внедрение новой техники, потребляющей высокотехнологичные материалы в условиях современной быстро развивающейся черной металлургии, определяют разработку и применение новых, прогрессивных материаловедческих решений по конструированию огнеупорных материалов для высокотемпературных металлургических агрегатов. Повышение эффективности использования периклазоуглеродистых огнеупоров достигается чаще всего подбором фракционного и фазового составов, в том числе образованием наночастиц или усовершенствованием процесса смешения компонентов шихты.

Авторы исследовали возможность уплотнения углеродной связки путем самоармирования наночастицами антиоксиданта, который синтезируется из компонентов модифицированной фенолформальдегидной смолы, что способствует упрочнению и увеличению износостойкости периклазоуглеродистых огнеупоров в условиях эксплуатации. Исследовали возможность модифицирования фенолформальдегидной смолы при изготовлении шихтовой смеси с органо-неорганическими комплексами — этилсиликатом, его гидролизатом, смесью гидролизата и хлорида никеля или оксалата никеля. В

качестве антиоксиданта в смеси вводили традиционно применяемый алюминий. По результатам рентгенофазового анализа установлено присутствие углерода во всех материалах, но при этом наименьшее его количество наблюдается в материалах, модифицированных оксалатом никеля.

Авторы отмечают, что модифицирование фенолформальдегидной смолы элементоорганическим соединением совместно с введением в шихтовую смесь антиоксиданта алюминия является наиболее эффективным для защиты углерода при необходимости большей степени его коксования. В случае необходимости образования в составе периклазоуглеродистых материалов β -SiC, синтезирующегося из фенолформальдегидной смолы и этилсиликата и являющегося также антиоксидантом, наиболее эффективно использовать в качестве модификатора фенолформальдегидной смолы гидролизанный этилсиликат. Отмечается, что введение и смешение хлорида никеля с гидролизатом этилсиликата способствует образованию большего количества β -SiC и одновременно снижает содержание свободного углерода, что связано, по мнению авторов, с потерями, идущими на образование β -SiC.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail:
victoriano090691@gmail.com**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
ШЛАКА И ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА**© В. О. Синельников^{1,2} (✉), д. т. н. Д. Калиш¹¹ «AGH» Научно-технический университет, кафедра формовочных материалов, технологий формы
и литья цветных металлов, г. Краков, Польша² Магnezитовый завод «ROP CZYCE» S. A., Исследовательский центр развития керамических материалов,
г. Ропцице, Польша

Проблемы конвертерного производства известны давно. Среди них одной из главных является повышение стойкости футеровки и увеличение энергоэффективности конвертерного процесса с одновременным уменьшением эксплуатационных затрат. Одной из технологий, позволяющих экономить на перефутеровке конвертера и вместе с тем избавляться от проблем, связанных с переработкой отходов, является раздувка остаточного шлака для нанесения защитного гарнисажа на футеровку конвертера. Освоение этой наукоемкой технологии растянулось на годы, но и сейчас нельзя говорить о сверхуспешности применения этой технологии. Особенно это касается стран бывшего СНГ, где максимальная стойкость футеровки без ее замены никогда не превышала 8,5 тыс. плавов (для сравнения: в Польше этот показатель никогда не превышал 4,5 тыс. плавов). Однако следует отметить, что на металлургических предприятиях США, Китая, Японии стойкость без перефутеровки конвертера достигает 60 тыс. плавов.

Настоящая работа выполнена в 2 этапа. Авторами работы были получены фрагмент футеровки кислородного конвертера, взятого на одном из металлургических комбинатов Украины, а также фракции шлака в твердом состоянии до его модификации перед раздувкой. Перед проведением исследования фракция шлака была подвергнута детальному дроблению в шаровой мельнице до пылеобразного состояния, затем был однократно проведен спектральный анализ (XRF-анализ) на рентгенофлуоресцентном анализаторе Twin-X. Его результаты дали возможность получить реальный химический состав немодифицированного шлака перед его раздувкой в кислородном конвертере. Второй этап работы — исследование фрагмента футеровки кислородного конвертера (после ~ 4 тыс. плавов), на котором проводили операции по раздувке шлака. Результаты исследований на сканировом микроскопе Philips XL30, оснащенном рентгеновским микроанализатором Oxford Instruments,

позволили определить химический состав футеровки 350-т конвертера, проанализировать полученные экспериментальные данные, а также сравнить результаты

физического исследования и математического моделирования химических составов шлака и футеровки, которые были проведены авторами ранее.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: sersok_07@mail.ru

СОЗДАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ЯЧЕИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПЕНОМАССУ ЭЛЕКТРОГИДРОТЕПЛОСИЛОВЫМ ПОЛЕМ

© Д. т. н. **В. Н. Соков** (✉)

ФГБОУ ВО НИУ «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Пеноспособ технологически обусловлен повышенным количеством воды затворения, необходимой для получения однородной массы. Традиционное теоретическое воззрение на сушку пеномасс как на процесс удаления воды затворения только испарением привело к весьма продолжительному циклу сушки.

Предложен иной подход к решению этой проблемы, основанный на гипотезе интенсивного удаления избыточной влаги не испарением, а принудительным отжатием при теплосиловом воздействии на пеномассу, заключенные в жестком перфорированном объеме. В этом случае определяющей становится не начальная влага, а оставшаяся после ее удаления. Метод позволяет совместить в одной операции ряд процессов: уплотнение минеральных частиц смеси, удаление излишней влаги, выштамповывание любого профиля изделия, обеспечение четких граней, не требующих шлифовки и обрезки. Выдвинута концепция о потенциальной энергии пеносистемы, заложенной природой, которая позволяет ей самоуплотняться в замкнутых перфорированных объемах и удалять механически связанную влагу при комплексном воздействии на нее гидротеплосилового поля.

Суть способа заключается в следующем. Пеномасса заливается на полный объем в замкнутую перфорированную форму и подвергается электропрогреву пластинчатыми электродами, расположенными на противоположных гранях. Это наиболее мобильный и регулируемый способ обогрева массы, при котором происходит ее быстрый и равномерный прогрев по всему объему. Пеномасса является трехфазной системой. Плотность этих фаз различается не менее чем на два математических порядка. Если эту систему нагревать, то она проявит активность, расширяясь и увеличиваясь в объеме. Объемное расширение газообразной фазы (составляющей до 80 % объема пеномассы) в 300–400 раз больше твердой и в 50–60 раз жидкой. Теплота, сообщаемая пеносистеме электрическим током, превращает воздушные ячейки из пассивных в активные компоненты, вызывая внутреннее избыточное давление в замкнутом объеме. Вязкость воды снижается почти на 80 %, а сила поверхностного натяжения на 19 %. Такое изме-

нение свойств воды способствует влаготдаче. Жидкость начинает искать выход и уходит через перфорацию формы. Фильтрат покидает форму, на такой же объем уплотняются минеральные компоненты, растет их концентрация в мембранах. Самые тонкодисперсные фракции в фильтрате выносятся на грани сырца, образуя плотный и прочный слой («зона подкрепления»), повышающий прочность изделия после сушки и обжига.

Для проведения экспериментов использовали пенообразователи различного генезиса, переменного состава и концентрации. Подобран пенообразователь наиболее устойчивой к коалесценции пены в процессе теплосилового обработки. В значительной мере свойства пенолегковесного материала зависят от интенсивности и продолжительности теплосилового обработки. Процесс самоуплотнения происходит в две стадии: начальную, когда под воздействием расширения газовой фазы в массе исчезают пустоты, и завершающую, когда происходят уплотнение массы и выжимание физически связанной влаги. Оптимальное электрическое напряжение электрообработки пеномассы составляет 80 В. При этом внутри массы должна поддерживаться температура 55–57 °С. В случае излишней передачи тепла может наступить перегрев массы с переходом воды в пар и ее оседание. После окончания электропрогрева сырец еще находится в обжатом состоянии. Для релаксации напряжений предусматривается выдерживание его в форме. Короткое теплосиловое воздействие на пеномассу позволяет ей быстро набирать структурную прочность, необходимую для немедленной распалубки. Затем равномерно прогретый сырец на поддоне отправляется на короткую сушку. Весь цикл формирования от заливки массы до выхода сырца из щелевого сушила длится 3–4 ч, тогда как по существующим технологиям он занимает несколько суток. Предлагаемый способ с соответствующими коррективами может быть применен для любого вида огнеупорного сырья.

По результатам сравнения микро- и макропористости можно сделать вывод, что основной объем пор пенолегковесного материала находится в интервале от 0,6 до 1,1 мм.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: sokolov235@yandex.ru

ВЫБОР ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ ОСТЕКЛЫВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

© Д. т. н. **В. А. Соколов**¹ (✉), д. т. н. **М. Д. Гаспарян**¹, к. т. н. **М. Б. Ремизов**², к. т. н. **П. В. Козлов**²

¹ ООО «ЦИТ «СПЕЦКЕРОКОМ», г. Подольск, Россия

² ФГУП ПО «Маяк», г. Озерск, Россия

Остекловывание в ваннах электрических печах является единственным общепризнанным промышленным

методом утилизации жидких высокоактивных отходов (BAO). Применение высокопроизводительных печей

типа ЭП-500 при остекловывании ВАО, а также разработка малогабаритных удаляемых печей типа ЭП-20/50 связаны с выбором эффективных огнеупорных материалов. Учитывая высокие требования надежной и длительной эксплуатации электроплавильных устройств, главным требованием к огнеупорам, контактирующим с расплавленной стекломассой, является их максимальная коррозионная стойкость. Коррозионная стойкость огнеупорных материалов зависит от состава расплавленной стекломассы и температуры варки, а также от электрического сопротивления огнеупоров.

На отечественных и зарубежных ваннах электрических печей для иммобилизации отходов высокого уровня активности в основном используются боросиликатные и алюмофосфатные стекла. Хотя температура варки алюмофосфатных стекол (900–1000 °С) ниже температуры варки боросиликатных стекол (1150–1250 °С), они обладают более высоким коррозионным воздействием на огнеупорные материалы. Мировая практика эксплуатации электрических печей остекловывания ВАО с использованием этих стекол показывает, что самым оптимальным является применение плавнелитых бадделеитокорундовых и хромсодержащих огнеупоров. Из-за отсутствия отечественного промышленного производства плавнелитых хромсодержащих огнеупоров в России используют только плавнелитые бадделеитокорундовые огнеупоры типа Бк-33. Однако значительные преимущества в коррозионной стойкости хромсодержащих огнеупоров по сравнению с бадделеи-

токорундовыми делают их наиболее перспективными при проектировании и строительстве новых электрических печей остекловывания ВАО.

Анализ состояния огнеупоров после промышленной эксплуатации печи ЭП-500 выявил ряд конструктивных элементов кладки (перегородка, порог), подверженных наиболее интенсивному износу. Эти элементы должны быть выполнены из огнеупоров с максимальной коррозионной стойкостью.

В последние годы в Российской Федерации для варки агрессивных минеральных расплавов при высоких температурах разработан ряд плавнелитых (хромалюмоцирконовых, хромкорундовых и шпинелидных) огнеупоров с содержанием Cr_2O_3 от 20 до 85 %. Комплексными исследованиями в расплавах боросиликатных и алюмофосфатных стекол при 1000–1250 °С определены составы хромсодержащих огнеупоров с коррозионной стойкостью, значительно превышающей стойкость плавнелитых бадделеитокорундовых.

Важнейшей характеристикой огнеупорных материалов футеровки электрических печей, влияющей на их электрокоррозию, является электрическое сопротивление. Поэтому для рациональной раскладки различных типов огнеупоров в электрических печах остекловывания ВАО проведен анализ электрофизических параметров огнеупорных материалов и расплавленных стекол при температурах варки. Даны рекомендации по использованию плавнелитых хромсодержащих огнеупоров в различных узлах стекловаренной печи.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: amstolin@ism.ac.ru

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ПЛИТ И СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДАМИ СВС

© Д. ф.-м. н. **А. М. Столин** (✉), к. т. н. **П. М. Бажин**

ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН»,
г. Черноголовка Московской обл., Россия

Обнаружение и изучение в 60-х годах XX века феномена твердофазного горения и создание новой технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) позволили принципиально по-новому подойти к проблемам технологии получения изделий из порошков тугоплавких соединений. Появилась возможность разработки новых методов, сочетающих процессы горения с использованием тепла этой реакции и высокотемпературного сдвигового деформирования продуктов горения. Эти методы, обеспечивающие синтез материала и получение изделий в одной установке, обещают перспективу: они экономичны, создают возможность получения изделий нужного профиля и размера с минимальными затратами материала, просты в технологическом плане. Использование этих методов позволяет за десятки секунд (вместо часов, как в порошковой металлургии) проводить синтез материала из порошков исходных компонентов и формовать изделие в одну технологическую стадию.

Новые возможности при получении изделий из порошков тугоплавких неорганических соединений открываются при использовании совместного действия

высокотемпературного сдвигового деформирования и давления в процессе СВС. Эта идея была использована в методе свободного СВС-сжатия. Сущность этого метода заключается в уплотнении и формовании синтезированного материала под действием постоянного невысокого давления (10–50 МПа) без использования специальных пресс-форм. Это является важным преимуществом метода свободного СВС-сжатия при получении крупногабаритных огнеупорных плит и пластин.

В настоящей работе приведены результаты исследования процесса свободного СВС-сжатия для получения крупногабаритных компактных плит размерами более 100 мм из порошков тугоплавких неорганических соединений из материала на основе диборида титана. С этой целью использовали гидравлический пресс усилием 120 кН, что в 166 раз меньше усилия прессы, используемого ранее для СВС-прессования крупногабаритных изделий (20 МН). Проведены материаловедческие исследования полученных пластин, изучены их физико-механические свойства, а также показано, что полученный материал обладает термостабильностью при температуре до 1100 °С.

К преимуществам метода свободного СВС-сжатия можно отнести использование наиболее благоприятной схемы напряженного состояния и сдвигового пластического деформирования материала, способствующих «залечиванию» макротрещин в деформированном материале. Во время этого процесса материал подвергается сдвиговому деформированию, возможность которого базируется на способности горячей массы синтезированного продукта к макроскопическому течению. Для СВС-материалов такая деформация может осуществляться

лишь в характерном температурном диапазоне от температуры горения до температуры живучести, выше которой материал обладает еще способностью к пластическому деформированию, а ниже затвердевает и теряет свои пластические свойства. Полученные результаты позволяют по-новому подойти к решению проблем получения слоистых композиционных материалов и огнеупорных плит различной геометрии в условиях сочетания процессов СВС и сдвигового высокотемпературного деформирования.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ПРОДЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: SPBGTI-Suvorov@yandex.ru

© Д. т. н. **С. А. Суворов**, к. т. н. **В. В. Козлов** (✉), к. т. н. **Н. В. Арбузова**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт

(технический университет)», кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, Санкт-Петербург, Россия

Появление новых видов огнеупоров, расширение их ассортимента, повышение ресурсной надежности эксплуатации высокотемпературных агрегатов, конструкций, устройств достигаются при комплексном регулятивном управлении параметрами, влияющими на физико-технические свойства материалов и конструкционные характеристики технических объектов, выполненных с применением огнеупорных материалов и изделий, которые обеспечивают противостояние факторам физических, химических, термомеханических, тепловых нагрузений, характеризующихся величиной и интенсивностью воздействия. Ресурсные возможности огнеупорного материала не могут быть установлены определением характеристик, которые предназначены для оценки качества материалов с использованием простых свойств (например, прочности, пористости и др.), а также сложных — шлакоустойчивости, термостойкости, поскольку их измерение проводят в условиях и при параметрах, существенно отличающихся от условий эксплуатации. Ресурсные возможности материала определяются сопротивлением разрушению функционально обусловленных связей в периоды его нагружения, что сопровождается деградацией структурных связей и даже разрушением материала изделия при превышении нагрузок выше критических, а в длительном периоде и при меньших нагрузках из-за деградации и старения материала.

Применение комплексного подхода к модели торможения износа футеровки кислородного конвертера ПАО «Северсталь» позволило выявить потенциально скрытые источники ускоренного разрушения футеровки конвертера за счет возникновения, накопления и локализации термомеханических напряжений, провоцирующих непрерывное фрагментирование огнеупорного материала, развитие трещин, скалывание и шелушение. Показано, что торможение развития таких процессов зависит от возможности регуляции воздействий вихревых шлакометаллических потоков на футеровку в периоды продувки и додувки, подачи нормированного количества флюсов для снижения

химической активности воздействующего на огнеупор шлака при концентрации MgO до 12–14 % в наводимом шлаке.

Реализация подхода к формированию огнеупорного материала с лабильной структурой, подстраивающей состояние структуры под условия внешнего нагружения, осуществлена разработкой муллитокорундового материала с коэффициентом термического расширения, приближающимся к нулю в интервале температур до 1100 °С. Материал сохраняет постоянный модуль упругости при пористости 4–8 %, выдерживает более 26 стандартных теплосмен без изменений характеристик прочности, модуля упругости, пористости, его температура эксплуатации до 1200 °С.

Проведено экспериментальное исследование параметров регулятивного подхода торможения газификации карбонированных шпинельнокорундовых огнеупоров с содержанием углерода 5,0, 7,0, 8,5, 9,0, 10,0 и 12,5 мас. %, которое позволило провести сопоставление и индикацию изменения свойств огнеупоров от происходящей газификации углерода в контролируемых условиях, в восстановительной, окислительной и нейтральной средах в широком диапазоне температур (300–1730 °С) и экспозициях от 4–6 ч (в лабораторных условиях) до 100 ч в промышленной туннельной печи (1530 °С).

Разработан огнеупор, химический и фазовый составы которого участвуют в образовании на горячей стороне рабочего слоя футеровки ковша стекловидной пленки, контролирующей выгорание углерода до 60–65 % от введенного количества; наблюдается образование зоны толщиной 2–4 мм, плотно примыкающей к защитному слою.

Разработан карбонированный шпинельнокорундовый малоуглеродистый (5,8 % C) огнеупор для рабочего слоя футеровки ковшей для приемки и переработки базовых конвертерных плавок металла в марочную сталь. Малоуглеродистые шпинельнокорундовые огнеупоры с 5–7 % углерода, открытой пористостью до 6 %, пределом прочности при сжатии не менее 60 МПа, при изгибе

15,2 МПа (при 1300 °С), теплопроводностью 5,8 Вт/(м·К), с преобладанием пор (85 %) размерами менее 5 мкм, с температурой начала деформации выше 1730 °С, с самоорганизующимся стекловидным слоем (толщиной 1–3 мм), формирующимся в условиях эксплуатации и сохраняющим от выгорания до 75 % углерода от введенного

количества, при износе 0,4–0,5 мм/плавку применяются в зоне футеровки стены ванны 400-т ковша при выработке за 110 плавов 20–30 % толщины рабочего слоя. Огнеупоры потенциально перспективны для гарантируемой эксплуатации футеровки ковша в испытанных зонах до 150 плавов (возможно, более).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И РЕГУЛЯТИВНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ КАРБЕНИРОВАННЫХ ШПИНЕЛЬНОКОРУНДОВЫХ ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: SPBGIT-Suvorov@yandex.ru

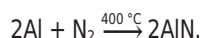
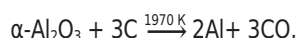
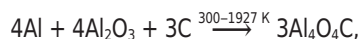
© Д. т. н. **С. А. Суворов** (✉), к. т. н. **В. В. Козлов**, к. т. н. **Н. В. Арбузова**

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт

(технический университет)», кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, Санкт-Петербург, Россия

При исследованиях огнеупорных оксидных материалов с содержанием углерода до 40 мас. % установлено влияние свойств исходных оксидных компонентов и графитов, их вещественного и гранулометрического составов, параметров технологии (вещественного, зернового составов, уплотнения и т. д.) на физико-технические свойства сырца изделий. Достигнутые высокие показатели свойств в основном отвечают требованиям потребителя. Вместе с тем развитие инновационных технологий, марок сталей по составу и свойствам, свободных от неметаллических загрязнений, повышает требования к свойствам и качеству огнеупоров.

Рассматриваются результаты проведенных экспериментальных и термодинамических исследований химических и фазовых преобразований в разрезах системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--MgO--C--B--Al--O}_2\text{--N}_2$ с различным окислительным, восстановительным и нейтральным потенциалом. Установлены образование и сосуществование фаз в твердом состоянии и состоянии пара. Реакции взаимодействия корунда и углерода сопровождаются образованием газов в продуктах обжига в интервале 20–2250 °С, что создает противодействие поступлению в объем карбонированного материала воздушной среды. Образующиеся в твердом состоянии фазы участвуют в синтезе карбидных, оксикарбидных или борокарбидных фаз:



Применительно к выявлению действия антиокислительных добавок в продуктах обжига в диапазоне 300–1600 °С в восстановительной среде и 1300–1500 °С в окислительной среде исследовано изменение газового состава композиции корунда и углерода (графита) с добавками B_4C , Al_4C_3 , B_2O_3 , В, Al. До 300 °С изменений фазового состава не происходит. При 1000 °С в восстановительной среде при введении порошка $\text{Al}_{\text{мет}}$ образуется Al_4C_3 , а при введении $\text{Al}_{\text{мет}}$ и аморфного бора

— B_4C и Al_4C_3 . В окислительной среде при 1530 °С полностью выгорает углерод, а карбидные фазы, содержащие Al и В, окисляются до Al_2O_3 и AlBO_2 . Количество образующегося Al_4C_3 в карбонированном огнеупоре при взаимодействии $\text{Al}_{\text{мет}}$ с углеродом (при содержании в составе 3–5 мас. % Al), по рентгенографической оценке, составляет 4–9 мас. %.

Для повышения шлакоустойчивости, предотвращения фильтрации шлака в объем огнеупора в его состав вводят магнезиальноглиноземистую шпинель в количестве 5–10 %. Итоговый состав шпинельнокорундового карбонированного огнеупора (ориентировочно), мас. %: Al_2O_3 84–94, MgAl_2O_4 5–14, углерод до 1. До 1300 °С в огнеупоре присутствует 4–6 % Al_4C_3 . Выше 1530 °С Al_4C_3 в окислительной среде трансформируется в Al_2O_3 , а при введении в состав периклаза — в MgAl_2O_4 .

Выгорание углеродистой составляющей матричной связки и графита сопровождается нарастанием пористости и снижением прочности. При 1200–1350 °С в условиях ограниченного объема воздуха в порах создаются благоприятные условия для газотранспортных реакций образования неизометрической игольчатой формы карбидных и оксикарбидных фаз Al_4C_3 и $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, повышающих высокотемпературную прочность при изгибе. Выше 1400 °С происходит переход игольчатых форм кристаллических фаз в изометрическую форму. Экспериментально определено, что наиболее эффективной добавкой, сдерживающей выгорание углеродной фазы огнеупора, превосходящей результат с B_4C , является комплексная добавка $\text{Al}_{\text{мет}}$ и аморфного бора, который выше 1300 °С в восстановительных условиях образует B_4C высокой дисперсности.

Термостойкость карбоксилированных корундовых огнеупоров скачкообразно возрастает в 2 раза и более при введении не более 5 % углерода. Использование в технологии карбоксилированных корундовых и шпинельнокорундовых огнеупоров сырца (прессовки) с низкой кажущейся плотностью, повышенной (>12 %) открытой пористостью, дискретного зернового состава приводит к повышению газопроницаемости и фильтрации шлаков, повышенному выгоранию углерода в

огнеупоре. Карбонированные шпинельнокорундовые огнеупорные изделия характеризуются высокой термостойкостью (25–45 стандартных теплосмен), что достигнуто регулятивным нормированием количества и соотношения шпинельной и углеродистой фаз в огнеупорном материале.

В опытной промышленной партии изделий карбонированного шпинельнокорундового состава (при паспортизации достигнутых свойств) установлены

следующие значения показателей: пористость 4–6 %, предел прочности при сжатии 70–80 МПа, содержание углерода 5,5 %, термостойкость до 25 теплосмен, температура начала деформации выше 1730 °С. Свойства фаз Al_2O_3 , MgAl_2O_4 , MgO , C , Al_4C_3 , B_4C позволяют создавать их сочетания и организацию в структуре для улучшения физико-технических свойств огнеупоров, соответствующих возрастающим требованиям к условиям службы в тепловых агрегатах.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

ФОР-ОПЫТ ПО СТАБИЛИЗАЦИИ АНАТАЗА TiO_2 Cl -ИОНОМ, ПОЛУЧЕННЫМ ИЗ TiCl_4

© С. Н. Фёдоров¹, Д. Т. Н. В. Ю. Бажин² (✉), В. В. Васильев¹, Р. В. Куртенок¹

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра металлургии, Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра автоматизации технологических процессов и производств, Санкт-Петербург, Россия

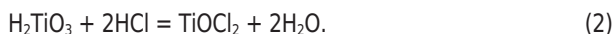
Диоксид титана широко используется как материал для газовых сенсоров, диэлектрической керамики, в качестве белого пигмента в красителях. Заслуживает внимания использование TiO_2 в качестве функциональной керамики со свойствами фотокаталитических материалов. Поскольку в природе TiO_2 кристаллизуется в форме анатаза, рутила и брукита, которые являются широкозонными полупроводниками, представляет интерес использование различных форм TiO_2 в токопроводящей керамике или огнеупорах. Благодаря сочетанию электрических и оптических свойств наибольший интерес представляет именно анатазная форма диоксида титана, структура которого постепенно переходит в рутильную модификацию, теряя свои фотокаталитические свойства. Свежеосажденный гидратированный TiO_2 обладает большой адсорбционной способностью как к катионам, так и к анионам. При этом содержание примесей в TiO_2 зависит от pH среды при осаждении, а также от природы самого концентратора и исходного соединения титана. Поэтому существует принципиальная возможность модификации TiO_2 или допирования различными анионами с целью регулирования его перехода в другие модификации. Учитывая известные работы Т. А. Седневой, Э. П. Локшина, А. Т. Беляевского, В. Т. Калининкова, А. N. Banerjee, Н. Wang, J. P. Lewis, которые использовали различные модифицирующие агенты, провели исследовательские работы по введению новых типов прекурсоров и отдельных реагентов в различных сочетаниях и условиях.

Фор-опыт заключался в реализации гидролиза тетрахлорида титана в дистиллированной воде:



с последующим интенсивным нагревом допированного Cl -ионом TiO_2 для сохранения стабильности анатаза при росте температуры.

Таким образом, образованная метатиновая кислота по реакции (1) будет реагировать с соляной кислотой с получением комплекса TiOCl_2 :



После сушки образцов при 80 °С проведен их обжиг в муфельной печи для определения воздействия термического влияния на анатаз–рутил-трансформацию (АРТ). Анализ полученных образцов был проведен на рентгеновском дифрактометре XRD-7000s, излучение Cu K_α . Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод о том, что предложенная методика допирования может быть реализована в полном объеме, поскольку АРТ замедляется в допированном Cl -ионом TiO_2 до 600 °С. Доказана перспективность использования этого модифицирующего агента, учитывая полученные результаты по реакции гидролиза (1) при образовании комплекса TiOCl_2 по реакции (2), без использования дополнительных прекурсоров в реакционной смеси. Доказано, что при 800 °С исходный TiO_2 и допированный Cl -ионом имеют рутил-модификацию, что указывает на неполный объем допирования по предложенному методу.

АДДИТИВНАЯ ПЕЧАТЬ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАОЛИНИТОВЫХ ГЛИН



E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru

© Д. Т. Н. М. С. Чепчуров¹, Д. Т. Н. Е. И. Евтушенко¹, Н. М. Горбунова², К. Т. Н. В. А. Дороганов¹ (✉),
О. В. Дороганова¹, В. А. Локтионов¹¹ ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия² ФГАОУ ВО «Белгородский национальный исследовательский университет», г. Белгород, Россия

Аддитивные технологии (технологии послойного синтеза) сегодня одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства. Они позволяют на порядок ускорить опытно-конструкторские работы, направленные на решение задачи подготовки производства, а в ряде случаев уже активно применяются и для производства готовой продукции. По оценкам экспертов, цифровое производство сменит в ближайшие 10 лет некоторые виды массового производства, особенно с высокой конечной стоимостью продукта. Уникальные возможности аддитивного производства обеспечивают повышение коэффициента использования материалов, высокую точность размеров изготавливаемых изделий без их механической обработки, позволяют снизить себестоимость конечного изделия, обеспечивают возможность создания изделий со сложной формой или даже невозможной в обычном производстве конфигурацией и т. д.

В настоящее время существует ряд способов аддитивной печати с помощью 3D-принтеров, среди которых самым распространенным является метод, основанный на экструзии формовочной системы. В качестве исходных материалов для печати используют органические (полимерные) и неорганические вещества, которые позволяют получать изделия различного назначения. В связи с высокой стоимостью полимерных материалов их широкое распространение ограничено, особенно при производстве изделий большого размера. В этой связи при крупномасштабном производстве более перспективными являются материалы на основе смесей, в которых основными компонентами являются неорганические вещества природного (глина, каолины, щебень, песок и т. д.) и искусственного (различного рода гидравлические вяжущие, шамот и т. д.) происхождения. При рациональном подборе исходных сырьевых компонен-

тов (огнеупорные наполнители, каолиновые глины или глиноземистые цементы) аддитивная технология может найти широкое применение в огнеупорном производстве. Так как при формировании огнеупорных масс в аддитивном производстве предполагается использовать экструзионный метод, то успешная работа во многом зависит не только от типа применяемого оборудования, но и от правильного подбора и реологических свойств сырьевой смеси. В этой связи цель данной работы — исследование реотехнологических характеристик формовочных систем на основе чистых огнеупорных глин с последующим моделированием режимов подачи и укладки применительно к аддитивным технологиям.

В качестве исходного сырья были использованы огнеупорные глины Нижне-Увельского, Латненского и Дружковского месторождений преимущественно каолинового состава. Для определения реотехнологических характеристик пластичных масс на основе исследуемых глин применяли пластометр конструкции Д. М. Толстого и конический пластометр Ребиндера. Установлено, что наиболее приемлемыми для аддитивной печати являются глины, характеризующиеся пластической вязкостью в диапазоне от 260 до 3000 МПа·с при влажности 22–38 %. Определены минимальные и максимальные значения массовой скорости подачи формовочной смеси в зависимости от ее плотности и давления подачи. Установлена закономерность подачи материала соплом рабочего органа в зону формирования изделия, учитывающая модель траектории перемещения рабочего органа и деформацию формовочной системы и позволяющая определить скорость перемещения рабочего органа в зависимости от скорости подачи материала.

Работа выполнена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ имени В. Г. Шухова.

ТЕРМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЭВТЕКТИЧЕСКАЯ
ТЕМПЕРАТУРА КОМПОЗИТОВ А359/SiC, ПРИМЕНЯЕМЫХ
В АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

E-mail: essam@mis.ru

© Э. А. М. Шалаби (✉), А. Ю. Чурюмов

ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», кафедра металлургии цветных металлов, Москва, Россия

Термический анализ широко применяется в литейной промышленности для контроля качества расплава перед разливкой. В данной работе для композитов А359/SiC выполнили термический анализ для оценки характеристик эвтектики. Исследовали влияние разных скоростей охлаждения на эвтектику, для фиксирования разных скоростей образцы отливали в различных металлических формах. В центр образцов помещали

термопары, с помощью которых регистрировали первые охлаждения. Анализ характеристик эвтектики показал признаки недостаточного охлаждения и вторичного нагревания. Результаты показали, что скорость охлаждения сильно влияет на наблюдаемые свойства эвтектики. Для определения температуры плавления эвтектики использовали дифференциальный термический анализ.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: mirmey@ya.ru**РОЛЬ НИТРИДА ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПОВЫШЕНИИ
СТОЙКОСТИ ЛЕТОЧНЫХ МАСС**© И. М. Шатохин¹, Э. М. Манашева², д. т. н. М. Х. Зиатдинов¹, к. т. н. И. Р. Манашев¹ (✉)¹ ООО «НТПФ «Эталон», г. Магнитогорск, Россия² ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

В настоящее время нитрид ферросилиция (FeSi_3N_4) регламентируется в составах леточных масс всех ведущих производителей. Причем его концентрация строго зависит от вместимости домны — для крупногабаритной печи предлагается леточная масса с высоким содержанием FeSi_3N_4 . В то же время механизм влияния нитрида ферросилиция на свойства леточной массы до конца не изучен. Длительное время считалось, что влияние нитрида кремния аналогично влиянию карбида кремния: так как их огнеупорные свойства близки, они дополняли друг друга. Однако проведенные исследования показали, что, не исключая роли нитрида кремния, основной механизм его влияния на свойства леточной массы несколько иной. Для изучения и научного обоснования этого механизма в условиях НТПФ «Эталон» были изготовлены образцы леточных масс на основе базовой системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC--C}$, в которую дополнительно вводили от 0 до 15 % FeSi_3N_4 в виде упрочняющей добавки марки NITRO-FESIL® TL.

Экспериментальную часть работы проводили в доменном цехе Магнитогорского металлургического комбината. Для максимального приближения к реальным условиям опыты проводили в условиях действующего производства по следующей методике: на литейном дворе готовили песчаные лунки, в которые помещали сформованные образцы. Во время выпуска образцы

каждого состава заливали чугуном (сбоку и сверху); аналогично другую партию образцов каждого состава заливали выпущенным шлаком. После остывания образцы распиливали вдоль на установке гидроабразивной резки и передавали в лабораторию для микро- и рентгенофазового анализа, исследования микроструктуры. Полученные данные помимо научной новизны позволили бы практически рекомендовать оптимальное содержание нитрида ферросилиция в составе леточных масс для обеспечения высокой коррозионной и эрозионной стойкости и стойкости против окисления, а также оптимальной спекаемости.

Установлено, что при взаимодействии нитрида ферросилиция с жидким чугуном и шлаком происходит разложение Si_3N_4 . Образовавшийся кремний взаимодействует с углеродом с образованием SiC. При наличии расплава формирование карбида происходит путем растворения углерода в кремнии. В этом случае формируются удлиненные кристаллы SiC, которые образуют в термообработанной леточной массе связанную структуру. Таким образом, основная роль нитрида кремния в леточной массе заключается в ее упрочнении путем формирования сети из вторичного карбида кремния иглообразной формы. Кристаллы SiC образуются преимущественно «in situ» во время истечения чугуна и шлака по леточному каналу.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: rusairu@ufanet.ru**ВСПЕКАНИЕ И СТРУКТУРА МАЛОУСАДОЧНОЙ КОМПОЗИЦИОННОЙ
КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ZrO_2** © Д. т. н. У. Ш. Шаяхметов (✉), к. х. н. А. У. Шаяхметов, к. ф.-м. н. А. Р. Хамидуллин,
З. М. Куланбаева, Г. Г. Ахметшина

Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Разработаны составы и технологии для изготовления керамических композиционных малоусадочных материалов и изделий на их основе. Для этого использован метод гидравлического прессования пластичных масс, состоящих из зернистых наполнителей, полученных путем измельчения плавящихся диоксида циркония, корунда и магнезита. В качестве модифицирующих добавок в состав введены моноклинный и стабилизированный оксидом иттрия ZrO_2 , а также пластификатор для химического связывания при низких температурах. Особенность технологии заключалась в приготовлении шихты с введением в состав керамической массы наноструктурированного цирконистого плавящего порошка марки ПЦП-63 и ZrO_2 в определенных соотношениях с учетом количества вводимого жидкого составляющего.

С применением оптического микроскопа-дилатометра определены температурные интервалы

спекания и усадка композиционных материалов при нагреве до 1600 °С. Установлено, что усадка образцов при максимальной температуре в течение 12 ч не превышает 0,2 %. Методом оптического анализа показана макроструктура композиций, она мало меняется при нагреве. Композиции представляют собой сочетание крупных зерен с мелкими в присутствии тонкой наноструктурированной связки, обеспечивающей высокотемпературную прочность и малоусадочность. Методами электронной микроскопии, рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов изучены макро- и микроструктура, а также фазовый состав композиций при нагреве до 1600 °С. Она практически не меняется в этом интервале температур и состоит из исходного материала и новообразований — высокотемпературной связки с низким ТКЛР в интервале до 1800 °С.

Установлена зависимость предела прочности при сжатии материала от температуры. Он растет с повышением температуры и выше 1400 °С составляет 80 МПа и более. Пористость образца снижается с ростом температуры обработки и составляет после 750 °С 16 %, после 1400 °С 15,3 %, кажущаяся плотность образца при этом 3,1–3,5 г/см³. Предел прочности при сжатии композиций при комнатной температуре колеблется в пределах 70–150 МПа, пористость 12–16 %, температура начала деформации под стандартной нагрузкой при 1570–1650 °С не более 0,2 %, термостойкость (800 °С – вода) более 20 теплосмен, огнеупорность выше 2000 °С. С учетом того, что материалы на основе ZrO₂ используются для изготовления изделий, работающих в контакте с жидкими металлами, из них изготовлены вставки стаканов-дозаторов для непрерывной разливки стали, которые успешно прошли испытания в производственных условиях.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАРБИДА ГАФНИЯ С УЧАСТИЕМ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ

(✉)

E-mail: festurvp@mail.ru

© В. Ю. Ягофаров, А. А. Назаренко, А. Э. Филатенков, к. т. н. В. П. Рева (✉)
ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», кафедра материаловедения
и технологии материалов, г. Владивосток, Россия

Карбид гафния является самым тугоплавким материалом из известных, температура плавления которого составляет 3890 °С. Это предопределяет основные направления его применения для изготовления регулирующих стержней ядерных реакторов, а также для производства огнеупорных, абразивных и жаропрочных материалов. Карбид гафния получали путем механохимического синтеза в системе Hf–C. Использовали порошок гафния марки ГФМ-1 дисперсностью ≤50 мкм и чистотой 98,7 %. В качестве углеродсодержащего сырья применяли сажу П-802, графит зольностью 1–10 %, активированный уголь различных производителей, а также аморфный углерод из возобновляемых источников (кукуруза, мох) после пиролитической обработки. Активацию исходных компонентов и механохимический синтез карбида гафния осуществляли в герметичном контейнере энергонапряженной вибромельницы, работающей при частоте колебаний контейнера 750 мин⁻¹ и амплитуде 90 мм. В качестве помольных тел использовали стальные шары марки ШХ-15 диаметром 15 мм. Фазовый состав порошковых

продуктов определяли на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker) в Cu K_α-излучении по стандартной методике. Распределение частиц по размерам и гранулометрический состав устанавливали с помощью лазерного анализатора частиц Analysette 22 NanoTec/MikroTec/XT (Fritsch).

Установлено, что механохимический синтез HfC начинается с первых секунд виброобработки исходных компонентов и заканчивается в зависимости от вида углеродного сырья через 15–25 мин механоактивации. Наибольшей дисперсностью обладают порошки, полученные после 25 мин механоактивации смеси Hf + C; при этом 95 % частиц порошка имеют размер менее 10 мкм. Дальнейшее увеличение длительности виброобработки приводит к абразивному износу помольных тел и загрязнению синтезированного карбида гафния продуктами износа. Показана перспективность использования углеродных компонентов, полученных пиролитической обработкой возобновляемого растительного сырья, и графита с низкой зольностью для механохимического синтеза карбида гафния с приемлемым химическим составом для производства огнеупорных и абразивных материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ ГМУНТ НА СВОЙСТВА ОГНЕУПОРОВ СОСТАВА MgO–C С УЛЬТРАНИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА: ОГНЕУПОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

(✉)

E-mail: tyarushina@magnezit.com

© К. Т. н. Т. В. Ярушина¹ (✉), А. А. Платонов¹, к. т. н. Л. М. Аксельрод², Б. Б. Хайдаров²,
Д. С. Суворов², к. т. н. Д. В. Кузнецов²

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

² ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

В связи с расширением производства особочистых низкоуглеродистых сталей специального назначения все более необходимым становится сведение к минимуму поглощение металлом углерода из футеровки. Сравнение свойств огнеупоров, содержащих 10, 5 и 2 % углерода, демонстрирует взаимосвязь показателей: при понижении содержания углерода увеличиваются кажущаяся плотность, предел прочности при сжатии, относительное удлинение и ТКЛР в диапазоне 20–1500 °С, высокотемпературная прочность при изгибе и динамический модуль упругости, а также

расчетный размер эффективных пор. Сумма показателей свидетельствует, что при снижении содержания в изделиях углерода для повышения стойкости к коррозии необходимо снизить размер пор, а для повышения термостойкости решить вопрос снижения динамического модуля упругости. Известным эффективным технологическим приемом для снижения модуля упругости является создание модифицированной нанодисперсными частицами углерода матрицы в сочетании с их равномерным распределением по объему огнеупорного изделия.

Исследовано влияние гидрофильных многостенных углеродных нанотрубок (ГМУНТ) на свойства огнеупоров состава MgO–C с содержанием углерода 2 %. Для гомогенного распределения ГМУНТ в объеме матрицы использовали аппарат типа ВЭГ (вихревое электромагнитное перемешивание). Смешение в приборе типа ВЭГ производится за счет движения с большой скоростью металлических цилиндров в реакторе с материалом во вращающемся магнитном поле. С применением данного типа прибора в состав матрицы были введены предварительно функционализированные для придания гидрофильных свойств многостенные углеродные нанотрубки со средним диаметром 12 нм.

На модельных образцах, изготовленных в форме изделий нормальных размеров (230×115×65 мм) на прессе HPF-IV-2000, показано, что введение в их состав ГМУНТ в количестве 0,05 мас. % значительно повлияло

на важнейшие физико-технические свойства изделий как после термообработки, так и после коксования при 1000 °С. При сохранении показателя кажущейся плотности на уровне изделий с 2 % графита расчетный размер эффективных пор (r_{cp}) после коксования снизился на 11,3 %, предел прочности при сжатии увеличился на 16,5 %, динамический модуль упругости снизился на 8,6 %; повысилась высокотемпературная прочность при изгибе в диапазоне 600–1400 °С. Снизилась теплопроводность в интервале 400–950 °С в сравнении с изделиями с 2, 5 и 10 % графита без ГМУНТ, причем с тенденцией снижения теплопроводности с ростом температуры для модифицированного огнеупора. Введение ГМУНТ в состав шихты огнеупора периклазо-углеродистого состава с низким содержанием углерода позволяет одновременно повысить его устойчивость к тепловому удару и коррозионную стойкость.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ККЦ № 2 ЕВРАЗ ЗСМК

(✉)
E-mail:
Tatyana.Ermokhina@evraz.com

© А. В. Амелин, А. В. Календа, Т. Ю. Ермохина (✉)
АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия

Описан опыт эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей в условиях ККЦ № 2 ЕВРАЗ ЗСМК. Показана существующая технология разлива стали с применением шибера затвора типа «книжка», а также шоткретированием верхнего строения ковша. Приведены

основные причины вывода сталеразливочных ковшей из эксплуатации. Указаны перспективные направления работ по повышению стойкости элементов дна сталеразливочных ковшей и, как следствие, общей стойкости футеровки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УВЕЛИЧЕНИЮ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ В ЕВРАЗ ЗСМК С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕРИАЛОВ КОМПАНИИ РА-НА-GE

(✉)
E-mail:
Tatyana.Ermokhina@evraz.com

© А. В. Амелин¹, А. В. Календа¹, Т. Ю. Ермохина¹ (✉), Э. Вебстер², А. А. Гончаров³

¹ АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия

² Компания Ра-На-Ge, Германия

³ ООО «Энерготехсинтез», г. Красногорск, Россия

В настоящее время комплекс мер по увеличению стойкости футеровки тепловых агрегатов, снижению удельных затрат, оптимизации схем кладки, внедрению новых материалов и технологий — важнейшие задачи металлургических предприятий РФ. С другой стороны, важным шагом является адаптация новых материалов и технологий на отдельно взятом металлургическом предприятии к существующим условиям, без кардинальной перестройки. Проводящаяся в ЕВРАЗ ЗСМК совместно с компанией Ра-На-Ge, Германия, программа внедрения новых материалов позволит без существенных затрат достичь поставленных целей.

В настоящее время в ЕВРАЗ ЗСМК лимитирующими факторами, ограничивающими стойкость сталеразливочных ковшей, являются износ продувочных узлов,

шлакового пояса, «бойных» плит, пространства вокруг продувочных и гнездовых блоков, сталевогопускного канала гнездовых блоков. Компанией Ра-На-Ge для увеличения стойкости сталеразливочных ковшей от 92 до 120 плавов предлагаются следующие материалы:

– износ продувочных узлов и гнездовых блоков: применение нового материала BlueSpinel. Предлагаются как обожженные, так и необожженные изделия. Для горячего ремонта продувочных узлов и гнездовых блоков предлагается использовать ZSVP901/50. Несомненным преимуществом ZSVP901/50 является то, что материал не требует предварительной подготовки, глубокого охлаждения сталеразливочного ковша, применяется в межплавочный период, подходит для ремонта сталевогопускного канала гнездовых блоков. Во

время ремонта продувочных узлов, в межплавочный период, ZSVP901/50 забрасывается на горячий продувочный узел в мешках. Во время горячего ремонта гнездовых блоков сталеразливочный ковш не охлаждается, ремонт производится в межплавочный период. В горячий сталеразливочный ковш опускается кессон. Работник вставляет шаблон в виде трубы в канал изношенного гнездового блока. В зазор засыпается ZSVP901/50. Материал оплавляется и застывает, образуя прочный каркас. Такая технология ремонта давно и успешно применяется на ЕВРАЗ ЗСМК;

– износ «бойных» плит: увеличение высоты от 350 до 400 мм позволит достичь стойкости сталеразливочных ковшей 120 плавов без замены на промежуточных ремонтах;

– износ пространства вокруг продувочных, гнездовых блоков и перемычки между «бойными» плитами: в настоящее время применяется набивная масса, которая не способна обеспечить надежность кладки дна. Возникает скалывание продувочных узлов и гнездовых блоков вследствие опережающего износа набивной массы, увеличивается риск проникновения металла в дно сталеразливочного ковша. Компания Ра-На-Ге вместо набивной массы предлагает использовать бетон ZSSpifix, его главным преимуществом является то, что нет необходимости в отопляемом помещении в зимний период в климатических условиях Новокузнецка. Заливка может производиться даже без тепловых устройств, помещенных рядом с местом заливки. Еще важнейшее преимущество бетона ZSSpifix — не требуется специального графика сушки. Бетон сушится по режиму сушки футеровки сталеразливочного ковша.

Помимо предлагаемых компаний Ра-На-Ге материалов, перспективным в условиях ЕВРАЗ ЗСМК является применение следующих технологий:

– горячее торкретирование шлакового пояса сталеразливочного ковша материалом FORMAKZ5 компании Weerulin, Германия. Технология была успешно опробована в 2015 и 2016 гг.;

– применение муллитокорундовых термообработанных вибролитых изделий марки RI-C150LP для рабочего слоя футеровки стен и дна сталеразливочного ковша компанией Corwintec Europe, Ltd, Китай. Металлургические комбинаты КНР, применяющие данные изделия в рабочем слое футеровки стен, достигают стойкости 1000 плавов с учетом технологии подливок и горячего ремонта. Изделия поставляются в виде клинового, прямого кирпича формата мини-кэй. Поверхность изделий ровная и гладкая, что позволяет осуществлять кладку без использования мертеля. Еще одним важнейшим преимуществом является то, что не требуется увеличенных графиков сушки, так как изделия уже термообработаны. Сушка сталеразливочного ковша — не более 16 ч.

Предполагается, что весь указанный выше комплекс мероприятий на первом этапе позволит увеличить стойкость продувочных узлов и гнездовых блоков от 30 до 40 плавов, а в целом при проведении двух промежуточных ремонтов достичь общей стойкости сталеразливочного ковша 120 плавов. В будущем при успешной апробации технологии применения муллитокорундовых термообработанных вибролитых изделий появится возможность достичь еще более высокой стойкостью.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ПОДИНЫ КОЛЬЦЕВЫХ ПЕЧЕЙ ТПЦ ОТ ДВУХ ЛЕТ ДО ТРЕХ

(✉)

E-mail: BrekhachevYS@tagmet.ru

© Ю. С. Брехачев (✉)

ПАО «ТАГМЕТ», г. Таганрог, Россия

В 2008 г. участок № 2 трубопрокатного цеха (ТПЦ) был полностью реконструирован и модернизирован согласно последним требованиям в области производства высококачественных бесшовных труб. На участке горячего проката демонтировали устаревшее прокатное оборудование и установили новый непрерывный прокатный стан PQF производительностью 600000 т труб в год. Для обеспечения потребностей нового прокатного стана фирмой SMS-MEER были построены две новые кольцевые печи общей производительностью 140 т/ч. Рабочее пространство кольцевой печи разделено на пять технологических отопляемых зон. В каждую печь помещается 170 непрерывнолитых заготовок диаметром 210 и 300 мм, масса каждой от 0,36 до 2,01 т. Вращающаяся подина, стены и свод рабочей камеры печи футерованы огнеупорными бетонами на основе оксидов алюминия фирмы LincoВахо, которой были предоставлены гарантии на стойкость поставляемых огнеупорных материалов не менее двух лет. Однако уже через год непре-

рывной эксплуатации кольцевых печей наблюдалась частичная выработка подины нагреваемыми непрерывнолитыми заготовками. В зонах укладки заготовок на подине печи образовались углубления 50–60 мм, которые препятствовали нормальному нагреву и способствовали искривлению заготовок перед прокатом. В соответствии с технологией проведения ремонта футеровки подины, представленной фирмой LincoВахо, при износе подины, достигшем 50–60 мм, необходимо производить ее холодный ремонт. Холодный ремонт подразумевает полную остановку печи, охлаждение рабочего пространства печи, снятие изношенного слоя и заливку нового огнеупорного слоя. Кроме того, помимо длительного ремонта в течение 14 сут необходимо было еще 7 сут на сушку огнеупорного слоя подины.

Если проведение холодного ремонта подины кольцевых печей стана PQF после 2-летнего периода эксплуатации по каким-либо причинам невозможно, а также принимая во внимание имеющийся опыт про-

ведения горячих ремонтов подины слитконагревательных печей участка № 1 ТПЦ и старых кольцевых печей участка № 2 ТПЦ, можно произвести наварку подины магниезальными материалами (например, заправочным материалом MP-MF Rep, используемым в марте-

новском цехе). Проведение горячего ремонта подины позволит продлить срок службы подины кольцевых печей до трех лет, улучшить теплотехнические параметры нагрева непрерывнолитых заготовок, снизить износ прокатного оборудования.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)
E-mail: toch56@mail.ru

ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПОДСИСТЕМЫ ЗАЩИТНАЯ ТРУБА – ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ МНЛЗ

© Д. т. н. **К. Н. Вдовин**¹, **Василий В. Точилкин**¹ (✉), **В. И. Умнов**², к. т. н. **С. И. Шахов**³

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

² ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия

³ АО АХК «ВНИИМЕТМАШ имени академика А. И. Целикова», Москва, Россия

Рассмотрены огнеупорные изделия системы сталеразливочный ковш (СРК) – промежуточный ковш (ПК) МНЛЗ. Разработаны конструкции элементов устройства для защиты струи металла при разливке стали из СРК в ПК. Рассмотрены конструкции устройства с применением вставок из пластичных огнеупоров, предотвращающие проникновение воздуха в струю металла при разливке и обеспечивающие рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы. Представлено модернизированное устройство для защиты струи металла. Его отличительная особенность — нижняя торцевая поверхность прокладки выполняется в виде двух кольцевых поверхностей и расположенной в средней части кольцевой выемки. Выемка выполнена в виде треугольника в поперечном сечении, перпендикулярном нижней торцевой поверхности, вершина которого ориентирована в сторону верхней торцевой поверхности прокладки. Это обеспечивает боковое прилегание

поверхностей прокладки к боковым поверхностям огнеупорной трубы и стакана, в результате чего исключается подсос воздуха в струю металла при разливке. При этом исключается насыщение разливаемого металла газами, в частности азотом, что повышает качество непрерывнолитой заготовки, стабилизирует процесс разливки и, соответственно, улучшает качество разливаемого металла. Отмечены особенности пневматической системы подачи аргона в устройство. Разработаны аналитические зависимости для определения параметров подачи аргона для эффективной работы системы СРК – ПК, оснащенной защитной трубой для различных СРК, устанавливаемых на МНЛЗ. Совместная подача аргона как встык устройства для защиты струи металла, так и в элементы ПК (пороги, перегородки) позволяет решить задачу комплексной подачи аргона в элементы ПК, обеспечить стабильность процесса разливки и повысить качество металла, разливаемого на МНЛЗ.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)
E-mail: toch56@mail.ru

РАЗЛИВКА МЕТАЛЛА И РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ РАЗЛИВОЧНОГО ОТВЕРСТИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ

© Д. т. н. **К. Н. Вдовин**¹, д. т. н. **Виктор В. Точилкин**¹ (✉), **В. И. Умнов**², к. т. н. **С. И. Шахов**³

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

² ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия

³ АО АХК «ВНИИМЕТМАШ имени академика А. И. Целикова», Москва, Россия

Проанализирован процесс разливки металла подсистемы промежуточный ковш (ПК) – кристаллизатор сортовых МНЛЗ. Рассмотрены конструкции оборудования разливочных отверстий ПК. Проведено математическое моделирование работы конструкций оборудования подсистемы ПК – кристаллизатор в процессе разливки стали. Математическая модель описывает движение жидкого металла, при ее составлении использованы уравнения Навье – Стокса, неразрывности потока. В качестве параметров течения использованы поля и векторы скоростей в окрестности плоскости симметрии оси погружаемого стакана в кристаллизаторе сортовой МНЛЗ. Представлено распределение скоростей в кристаллизаторе. Полученные в результате численного моделирования поля скоростей и линии тока показали, что

движение металла в подсистеме ПК – кристаллизатор при использовании рационально установленных погружаемых стаканов и оборудования электромагнитного перемешивания обеспечивает оптимальное движение потоков металла из стакана в кристаллизатор и в самом кристаллизаторе. Использование современных огнеупорных изделий, рационально установленных в подсистеме ПК – кристаллизатор, показало, что благодаря хорошей организации потоков металла повышается качество разливаемого металла. В условиях возрастающей конкуренции производства сортового проката и сортовой заготовки приоритетным направлением будет оставаться модернизация устройств сортовых МНЛЗ, позволяющих улучшить качество непрерывнолитой заготовки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**КОНСТРУКЦИЯ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ РАЗЛИВОЧНОЙ КАМЕРЫ
ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША МНЛЗ**(✉)
E-mail: toch56@mail.ru© Д. т. н. **К. Н. Вдовин**, **С. Н. Ушаков**, **Е. А. Мельничук**, **Василий В. Точилкин** (✉)
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия

Приведены новые компоновки элементов разливочных камер промежуточного ковша (ПК) симметричных и несимметричных (одно-, двух- и многоручьевых) МНЛЗ. Проведено моделирование работы конструкций огнеупорных изделий для ПК в процессе движения металла. Математическая модель описывает движение жидкого металла в разливочной камере ПК. При ее составлении использованы уравнения Навье – Стокса, неразрывности потока. Представлены особенности влияния модернизированных компоновок системы распределения потоков стали и конструкций ее элементов на параметры потока металла в одно- и многоручьевых ПК МНЛЗ, на удаление неметаллических включений (НВ). Развитие огнеупорных изделий для разливочных камер ковшей с целью рационального формирования потоков металла

создает условия для повышения качества разливаемого металла. Созданы новые компоновки разливочной камеры одно- и многоручьевых МНЛЗ на базе порога с пространственно-ориентированными отверстиями. Применение элементов разработанной системы распределения потоков стали обеспечивает гашение интенсивных скоростных поверхностных потоков в разливочной камере ПК, а также рациональное движение потоков стали со скоростями ниже максимально допустимых (0,16 м/с). Это позволит стабилизировать разливку и повысить качество разливаемого металла за счет уменьшения количества НВ, попадающих из ПК в кристаллизатор. Конструкции огнеупорных изделий с пространственно-ориентированными отверстиями прошли промышленные испытания на МНЛЗ.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**МОНОЛИТНАЯ ФУТЕРОВКА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ.
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**(✉)
E-mail: axelrodlev@yandex.ru© **И. Галенко**, **В. Гартен**, к. т. н. **Л. Аксельрод** (✉)
VGH Viktoria Garten Hüttenindustriebedarf, AG, г. Дюссельдорф, Германия

Интенсивный рост цен на периклазосодержащие материалы спровоцировал возврат интереса металлургов к технологии «бесконечной» футеровки сталеразливочных ковшей, к футеровке дна и стен до шлакового пояса с использованием корундошпинельных и корундопериклазовых бетонов. Фирма VGH AG на протяжении последних 15 лет расширила свою компетенцию в производстве высококачественных низкоцементных и ультранизкоцементных бетонов, как тиксотропных, так и саморастекающихся, а также в технологии их применения, включая опыт использования оборудования для выполнения футеровки, ее сушки и разогрева. Этому в немалой степени способствовали организация исследовательской лаборатории на сертифицированном производстве бетонов в Германии и рост квалификации специалистов фирмы. Корундошпинельные и корундопериклазовые су-

хие смеси с использованием наиболее современных сырьевых материалов позволяют изготавливать бетонную футеровку с минимальной скоростью износа в период ее эксплуатации; решен вопрос сушки футеровки.

На более чем десяти предприятиях России и Западной Европы успешно используются бетоны VGH AG в футеровке дна, а также дна и стен сталеразливочных ковшей в электросталеплавильном и конвертерном производстве. Стойкость бетонной футеровки не уступает стойкости изделий оксидоуглеродистого состава, обладая известными преимуществами, такими как экологическая безопасность и снижение удельных затрат на 1 т выплавляемой стали на 25–35 %. Последнее достигается за счет использования в технологии ремонта футеровки так называемых «подливов» бетона на изношенные участки футеровки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ПАРТНЕРСТВО КОМПАНИЙ ZIRCOA Inc. И DYSON TECHNICAL CERAMIC
В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ**(✉)
E-mail: yugolovin@yandex.ru© Д. ф.-м. н. **Ю. И. Головин**¹ (✉), к. ф.-м. н. **А. В. Шуклинов**¹, к. ф.-м. н. **Б. Я. Фарбер**², **Т. Лейтзел**²,
Р. Александр², **Дж. Махоски**², **Р. Тейлор**³, **Т. А. Дьячек**¹¹ ООО «Циркоа-РУС», г. Тамбов, Россия² Компания Zircoa Inc., г. Солон, Огайо, США³ Компания Dyson Technical Ceramics, г. Шеффилд, Великобритания

Активное внедрение технологии непрерывной разливки стали и ужесточение требований к качеству сортовой заготовки привели к росту потребности в высоко-

качественных огнеупорных изделиях, совмещающих устойчивость к термическим ударам со способностью противостоять химической эрозии и механическому

разрушению. Керамика на основе диоксида циркония полностью отвечает этим требованиям, обладает высокой эксплуатационной стойкостью и позволяет снижать издержки и повышать эффективность производства.

В докладе кратко описаны основные свойства циркониевой керамики и механизмов, обеспечивающих ее высокие рабочие характеристики и уникальных для этого материала. Компании Zircoa Inc. и Dyson Technical Ceramics, являющиеся признанными специалистами в производстве циркониевых огнеупоров, объединили свои усилия. Рассматриваются основные виды продукции фирм с основным упором на наработки компаний в области производства изделий для непрерывной разливки стали, анализируется обширный опыт их применения металлургическими компаниями в различных странах мира. Описываются некоторые уникальные особенности технологического процесса, применяе-

мые компаниями и позволяющие производить продукт, отличающийся от товаров, представленных на рынке. Проводится сравнительный анализ основных составов керамики и типов дизайна стаканов-дозаторов, подвергаются рассмотрению факторы, влияющие на срок их службы. Кроме того, освещены планы компаний Zircoa Inc. и Dyson Technical Ceramics по налаживанию в среднесрочной перспективе производства этой продукции в России.

Эксплуатационные характеристики продукции компаний Zircoa Inc. и Dyson Technical Ceramics будут проиллюстрированы на примерах из практики, раскрывающих историю развития этого типа изделий, этапы их оптимизации, вызовы, с которыми пришлось столкнуться разработчикам, и подходы, найденные для решения технологических проблем и позволившие пройти путь от менее чем 10 ч службы в 1970-х годах до нынешних 100 ч непрерывной эксплуатации.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: kondrukevich@list.ru

КОМПЛЕКСНАЯ ФУТЕРОВКА ГЛАВНОГО ЖЕЛОБА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

© А. В. Гурский¹, М. М. Мазов², К. Т. Н. А. А. Кондрукевич³ (✉), С. Н. Каракай², К. Т. Н. Н. С. Съёмщиков³

¹ Компания Corwintec Europe Ltd, г. Дублин, Ирландия

² ЧАО «ЕВРАЗ ДМЗ», г. Днепр, Украина

³ ООО «ВПО Сталь», Москва, Россия

Развитие технологии монолитной футеровки в настоящее время находится на достаточно высоком уровне развития; на большинстве участках тепловых агрегатов используются набивные массы, огнеупорные бетоны и т. д. Не исключением является и доменное производство и, в частности, футеровка элементов литейного двора. Наиболее ответственным из данных узлов является главный желоб. Компанией Corwintec Europe Ltd с обеспечением инжиниринга ВПО Сталь реализован долгосрочный проект (более 4 лет эксплуатации, с декабря 2013 г.) комплексной футеровки главного желоба доменной печи ЕВРАЗ ДМЗ, которая включала двухслойную теплоизоляцию, блочный арматурный слой с обеспечением требований по удельному расходу бетона на рабочий слой. Особенность доменной печи ЕВРАЗ ДМЗ — работа на одной летке. Таким образом, значимым фактором является продолжительность ремонта рабочего слоя футеровки без проведения ремонтов арматурного слоя. Это достигается при реализации комплекса технических решений, которые включают:

- сохранение на ремонте тепловой инерции оставшимся рабочим слоем и блочным арматурным слоем за счет использования многослойной теплоизоляции. Это позволяет производить заливку бетона рабочего слоя на поверхности с температурой

300–400 °С, сокращая таким образом время выдержки бетона в шаблоне и сушки;

- использование термостойкого бетона для блоков арматурного слоя, который позволит избежать на протяжении нескольких лет ремонта арматурного слоя;

- реализация дифференцированной футеровки главного желоба (т. е. отдельный бетон для зоны чугуна, отдельный для зоны шлака), что позволяет обеспечить равностойкость всех зон желоба. При этом бетоны должны обладать хорошим спродством.

Реализация комплекса мер позволила:

- сократить общее время простоев на проведение промежуточных ремонтов главного желоба за год на 30,3 %, достигнув 118 ч/год, а также освоить технологию проведения промежуточного ремонта за 32 ч вместо плановых 48 ч;

- поддерживать температуру на поверхности металлического кожуха главного желоба на уровне 270–320 °С, сохраняя его эксплуатационный срок;

- эксплуатировать главный желоб без замены арматурного слоя более 4 лет (1,8 млн пропущенного чугуна);

- достичь среднего удельного расхода бетона для главного желоба на однолеточных печах на уровне 0,31 кг/т пропущенного чугуна за весь период кампании, что зачастую сравнимо с удельным расходом на крупных печах с двумя и более летками.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**КОМПЛЕКСНАЯ ПОСТАВКА КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ ОГНЕУПОРОВ
ВОЛЖСКОГО АБРАЗИВНОГО ЗАВОДА**(✉)
E-mail: danilova_OY@vabz.ru© О. Б. Иванова, Н. В. Ушаков, О. Ю. Данилова (✉), Д. В. Данилов
ОАО «Волжский абразивный завод», г. Волжский Волгоградской обл., Россия

Основная деятельность Волжского абразивного завода развернута на рынках абразивного инструмента, шлифовальных материалов и огнеупорных изделий. Технологической основой производства является плавка и переработка карбида кремния черного и зеленого собственного изготовления, используемого в абразивной, огнеупорной отраслях металлургии. Традиционными являются карбидкремниевые изделия на оксидной связке марок КМК, КА и КАС, которые в первую очередь применяются для керамической промышленности.

В 2009 г. было запущено производство карбидкремниевых изделий на нитридной связке марки ВАЗБОНИТ КН-1 по СТО 00220931-004-2009 и марки КН

по ГОСТ 10153; выпускаются также изделия по требованию потребителя. Основные области применения: цветная металлургия, машиностроение, теплоэнергетика. Предприятие готово предложить в дополнение к карбидкремниевым формованным изделиям комплект неформованных огнеупоров, которые могут применяться для монтажа неформованных огнеупоров или служить для изготовления бетонных изделий.

В дополнение к формованным изделиям предприятие предлагает сложнофасонные карбидкремниевые изделия на нитридной связке по ГОСТ 10153, изготовленные методом вибролитья по бетонной технологии. Форма и размеры изделий — по требованию потребителя.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРОВ АО «БКО» В АО «ОЭМК»**(✉)
E-mail: vmusevich@aobko.ru© А. Ю. Коржавин, А. В. Витовский, к. т. н. В. А. Мусевич (✉), М. В. Хайченко
ООО «Торговый дом «БКО», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Боровичский комбинат огнеупоров (БКО) и Оскольский электрометаллургический комбинат (ОЭМК) имеют многолетние (с 1984 г.) тесные партнерские отношения в области производства, реализации и эксплуатации большого спектра высококачественных огнеупорных материалов: шамотных, ковшевых, доменных, муллитокремнеземистых, муллитовых, муллитокорундовых, корундовых, оксидоуглеродистых огнеупоров, изделий из тиксотропных бетонов, элементов металлопроводки, неформованной продукции: мертелей, масс, бетонов, торкрет-масс широкого назначения. При этом доля суммарной ежегодной реализации огнеупоров непрерывно увеличивается. Огнеупоры широко применяются в тепловых агрегатах ОЭМК, успешно эксплуатируются, отвечая высоким заявленным требованиям заказчика и гарантированным показателям стойкости.

Накопленный опыт, постоянный и всесторонний диалог специалистов обоих предприятий для повышения эффективности взаимодействия позволяют увидеть пути оптимизации и улучшения поставок огнеупорной продукции, работают над повышением стойкости тепловых агрегатов, улучшением эксплуатационных характеристик всех огнеупорных материалов, реализуемых на ОЭМК. Представители ОЭМК регулярно проводят аудиты производственных мощностей БКО для непрерывного мониторинга качества и бесперебойного обеспечения необходимыми огнеупорами. Совместная стратегическая цель — расширить ассортимент, номенклатуру и объемы поставок серийной, перспективной и высокотехнологичной продукции, в том числе в рамках политики импортозамещения.

Основные реализуемые проекты и решения в области поставок огнеупорных материалов, которые применяются в тепловых агрегатах ОЭМК и обеспечивают эффективность их технико-экономических показателей работы:

- специальные огнеупорные изделия для рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей для разлива 1 и 2 группы стали;
- модернизированные огнеупорные изделия для арматурной футеровки 160-т сталеразливочных ковшей;
- крупный проект (2017 г.) реализации огнеупорных материалов для печи металлизации окатышей (шахтная печь № 2). Комплексная поставка включала полный перечень огнеупоров (>400 т) для футеровки печи: высокоглиноземистые изделия для различных зон, теплоизоляционные изделия, мертели и бетоны, бетонные блоки фурменного пояса, торкрет-массы для кладки купола установки, специально разработанные техническими специалистами БКО. В настоящее время агрегат вышел на заданный режим производительности и успешно эксплуатируется;
- совместная работа, направленная на расширение спектра поставок огнеупоров для промежуточных ковшей, элементов металлопроводки, периклазоуглеродистых изделий для рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей с различными показателями гарантированной стойкости.

Совместная планомерная деятельность технических специалистов БКО (ТД БКО) и ОЭМК, направленная на оптимизацию огнеупоров и повышение стойкости узлов тепловых агрегатов, приносит свои положитель-

ные плоды. Внедрены и успешно эксплуатируются новые высокоэффективные конструкционные огнеупоры, проводится политика по непрерывному улучшению качества огнеупоров. Осуществляется постоянный мониторинг службы поставляемой продукции, основанный

на прямом диалоге с организацией «обратной связи». Реализация этого комплекса мер обеспечивает слаженную совместную деятельность, направленную в целом на снижение удельных затрат и улучшение качества металлургических процессов на ОЭМК.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ФУТЕРОВКИ ДСП ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГБЖ В ЗАВАЛКЕ

(✉)
E-mail: koral-00@mail.ru

© А. А. Коростелёв^{1,2} (✉), К. Т. Н. Н. С. Съёмщиков¹, Д. Т. Н. А. Е. Сёмин²,
К. Т. Н. Г. И. Котельников²

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

² ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

В настоящее время на металлургическом рынке наблюдается возрастающий спрос на металлизированное сырьё, в частности на горячебрикетированное железо (ГБЖ), что обусловлено дефицитом металлического лома и снижением качества амортизационного лома. Использование ГБЖ при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) привлекательно в большинстве случаев тем, что качество получаемого полупродукта выше, чем при использовании 100 % металлического лома. Это обусловлено низким содержанием вредных примесей в ГБЖ, в связи с чем появляется возможность выплавки высококачественных и специальных сталей, спрос на которые растёт.

Использование добавки ГБЖ в металлошихту отражается на технико-экономических показателях плавки. Основные преимущества использования такого сырья хорошо известны, но не в полной мере в литературе освещаются отрицательные моменты от его влияния и отсутствуют стандартные приемы работы с таким сырьём. Отмечены также противоречивые мнения и отсутствует достаточное количество убедительных исследований, показывающих влияние ГБЖ на технологические показатели электроплавки — расход энергоносителей, шлакообразующих добавок, стойкость футеровки ДСП и др.

В условиях таких металлургических предприятий, как ВТЗ и ТАГМЕТ, при выплавке полупродукта в ДСП-150, работающей на твердой завалке и использующей порционную загрузку шихты, был проведен анализ влияния добавки ГБЖ в металлошихту на энерготехнологические показатели плавки и стойкость футеровки ДСП. Монтаж футеровки печи осуществляли с использованием огнеупорных материалов компании Corwintec, торговая марка RI. Применяемая схема футеровки ДСП была разработана с учетом анализа топографии износа футеровки предыдущих кампаний печи. В зонах повышенного износа футеровки использовали периклазоуглеродистый кирпич из сырья повышенного качества. В текущей ситуации отмечено, что несмотря на ухудшение некоторых энерготехнологических показателей плавки, использование ГБЖ становится экономически привлекательным в первую очередь за счет его относительно низкой стоимости по отношению к передельному чугуно и сортов металлического лома, чистых по вредным примесям.

В представленной работе:

- влияние добавки ГБЖ на содержание вредных примесей в получаемом полупродукте. При повышении доли ГБЖ происходит снижение цветных примесей, таких как Cu, Sn, Ni, Cr, Sb, Co, что связано с чистотой ГБЖ по данным элементам, а также отмечено снижение фосфора, серы и азота в полупродукте. Низкое содержание фосфора в ГБЖ и повышенное содержание образующегося FeO в шлаке позволяют вести процесс дефосфорации с пониженной основностью шлака в печи. Присутствие значительного содержания SiO₂ в ГБЖ приводит к повышенному количеству образующегося кислого шлака в ДСП, что отрицательно отражается на расходе энергоносителей и стойкости рабочего слоя футеровки печи. Присутствие оксидов железа в ГБЖ требует дополнительных энергетических затрат для их восстановления. Отмечено, что содержание углерода в стали на выпуске из печи при использовании ГБЖ ниже, чем при работе на 100 %-ном ломе при одинаковом времени плавки, что открывает возможности для снижения расхода кислорода и сокращения длительности плавки;

- рассмотрены различные способы порционной загрузки ГБЖ совместно с металлическим ломом и показан оптимальный вариант загрузки металлошихты. Послойный способ отдачи ГБЖ совместно с ломом позволяет избежать образования крупных тугоплавких кластеров в ванне печи, состоящих преимущественно из ГБЖ, и предотвратить образование настывов на футеровке ДСП и локальных перегревов;

- определена максимально допустимая доля ГБЖ в порционной завалке ДСП-150, при которой ведение плавки становится технически и экономически нецелесообразно. Показано, что увеличение доли ГБЖ в шихте более 20 % может привести к аварийной ситуации, связанной с повреждением рабочего слоя футеровки печи и ее преждевременным выходом из эксплуатации. Показан состав настыва, образующейся при порционной загрузке большого количества ГБЖ (51 т) в ДСП-150 и извлеченной из печи после окончания кампании футеровки;

- предложены рекомендации по увеличению стойкости футеровки применительно к ДСП-150 за счет корректировки расхода шлакообразующих и огнеупорных материалов с учетом поддержания заданного состава

шлака. Показан экономический эффект от внедрения предложенных рекомендаций;

– показана возможность создания на футеровке ДСП шлакометаллического гарнисажного слоя, содержащего расплавленные компоненты ГБЖ, что позволит защитить футеровку печи, повысить ее стойкость и снизить расход огнеупорных материалов для ее обслуживания. Создание такого гарнисажного слоя может достигаться определенным режимом ведения

плавки, способом загрузки ГБЖ в печь и другими мероприятиями, что требует более глубокого изучения.

Исследования влияния добавки перспективного материала — ГБЖ на энерготехнологические показатели плавки и стойкость футеровки на примере ДСП-150, работающей на твердой порционной завалке, показали возможность дальнейшего совершенствования режима ведения плавки для повышения эффективности производства стали.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)
E-mail: info@skamol.ru

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛОТНОЙ ВЕРМИКУЛИТОВОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ «СКАМОЛ» В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ

© **А. А. Косолапов¹**(✉), **М. В. Максимов¹**, **К. Лундгард²**, **П. Кимо²**

¹ ООО «СКАМОЛ РУС», Санкт-Петербург, Россия

² Компания Skamol A/S, пос. Нюкёбинг Морс, Дания

Компания SKAMOL с более чем 100-летней историей является на сегодняшний день одним из мировых лидеров по производству теплоизоляционных изделий на основе диатомита, вермикулита и силиката кальция. Продукция компании включает более 15 типоразмеров пенодиатомитового кирпича (возможно изготовление крупных блоков размерами 500×250×65 и 250×250×65 мм), теплоизоляционные плиты различного формата толщиной от 12,7 до 100 мм и специальные мертели.

Компанией разработаны теплоизоляционные изделия марок M-EXTRA и SUPRA, обладающие сочетанием комплекса уникальных свойств — низкой теплопроводностью — 0,15–0,26 Вт/(м·К) в зависимости от температуры и высоким пределом прочности при сжатии — 18 и 7,5 МПа соответственно. Изделия применяют для футеровки вращающихся печей для обжига цемента, извести, глинозема, каолина и т. д. в качестве теплоизоляционного слоя, позволяя снизить тепловое воздействие на корпус печи, сократить потери тепла через футеровку, увеличить

срок службы печей. Экономический эффект от применения этих изделий в футеровке печи диаметром 3,6 м порядка 1 млн руб. в год (по расходу топлива).

Вермикулитовые теплоизоляционные плиты серий VIP-12HS и VIP-12HT выпускаются в зависимости от способа крепления, конфигурации футеруемого агрегата и используются на предприятиях черной металлургии — в промежуточных и в сталеразливочных ковшах, для футеровки конвертеров, в миксерах. Плиты имеют достаточную механическую прочность, обладают хорошей сопротивляемостью перепадам температур, эксплуатируются при температуре до 1250 °С. Затраты на футеровку этими плитами (для сталеразливочного ковша) сопоставимы с эксплуатацией ковша за 1–2 налива металла.

Силикаткальциевые теплоизоляционные плиты SUPER-ISOL и SUPER-1100E с температурой применения до 1100 °С благодаря низкой теплопроводности — 0,08–0,14 Вт/(м·К) и малой плотности применяют на цементных заводах, в цветной металлургии, для футеровки нагревательных печей, котлов и т. д.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)
E-mail: lubjanoy@yandex.ru

ПОВЕДЕНИЕ КИСЛОЙ ФУТЕРОВКИ ПЕЧИ В ДУГОВЫХ И ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ ПРИ ПЛАВКЕ С ТЕРМОВРЕМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

© **К. т. н. Д. А. Лубяной¹**(✉), **Р. О. Мамедов²**, **В. А. Люшуков¹**

¹ ООО «Завод Гидромаш», г. Новокузнецк, Россия

² ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», кафедра материаловедения, литейного и сварочного производства, г. Новокузнецк, Россия

В последние годы широко развивается термовременная обработка расплава, которая широко распространена при выплавке стали в индукционных печах при плавке чугуна. Термовременная обработка совмещается при этом с обработкой металла кислыми и основными шлаками. С помощью этой шлаковой обработки кислыми шлаками достигается эффективная деазотация металла при атмосферном давлении. Применение основных шлаков позволило эффективно производить десульфурацию чугуна до уровня, обеспечивающего

при соответствующей внепечной обработке лигатурами получение отливок с шаровидным и вермикулярным графитом. Особенность защиты футеровки от воздействия основных шлаков заключается в экранировании стенок тигля с кислой футеровкой потоками жидкого металла. Стойкость футеровки при работе на кислых шлаках в печи ИЧТ-10М превышает 300 плавов. Стойкость футеровки печи при использовании основных шлаков достаточна при изготовлении литейным цехом в основном отливок из серого чугуна и эпизодическом

изготовлении отливок из высокопрочного чугуна. На малых дуговых кислых печах с садкой 1,5 т термовременная обработка эффективно показала себя при плавке металла методом переплава. Набивная кварцевая футеровка эффективно предохраняет основной слой шамотной футеровки от взаимодействия со шлаками. Взаимодействие углерода с кремнеземом приводит к образованию газообразных продуктов, способствуя дегазации металла. Взаимодействие углерода с кремнеземом вследствие образования газообразного продукта реакции является необратимым процессом и определяется температурой ванны в дуговой печи. Поэтому проведение термовременной обработ-

ки расплава при 1650–1700 °С (для обычного литья) и 1680–1710 °С (для гидроплотных отливок) инициирует образование оксида углерода, дегазацию металла и перемешивание ванны. Фактически термовременной обработкой в конце плавки решаются часть задач окислительного периода при технологии плавки на свежей шихте. Технология плавки с термовременной обработкой в кислых печах без окислительного периода позволила существенно сократить расход кремний- и марганецсодержащих ферросплавов, снизить расход чугуна. Стойкость футеровки в кислых печах оставалась на приемлемом для экономических показателей литейного цеха уровне (не менее 6 мес).

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)
E-mail: ryaboiy@gmail.com

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

© Г. Г. Немсадзе¹, Р. А. Джоджуа¹, Д. Т. Н. А. Н. Смирнов², К. Н. Шарандин³, Д. В. Рябий³ (✉)

¹ ПАО «ЗНВКИФ» «General Investment Resources», г. Киев, Украина

² Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН, г. Киев, Украина

³ GIR-ENGINEERING Ltd, г. Днепр, Украина

Непрерывная трансформация металлургического комплекса в последние 3–5 лет, связанная с дифференциацией выплавляемого сортамента и модернизацией технологических агрегатов, характеризуется ужесточением требований, предъявляемых к качеству металлопродукции. Огромную роль в повышении качества непрерывнолитого сортамента играют технологические системы, способствующие снижению загрязнения стали неметаллическими включениями, за счет обеспечения должного рафинирования в промежуточном ковше. Ввиду того что процесс непрерывной разливки стали является заключительным этапом сталеплавильного передела, который непосредственно влияет на качество металлопродукции, то и рафинирование металла в промежуточном ковше необходимо рассматривать как важный и эффективный этап борьбы с неметаллическими включениями.

Развитие технологии продувки стали инертным газом в промежуточном ковше сфокусировалось на достижении двух целей: транспортировка неметаллических включений к шлаку и обеспечение перемешивания жидкой ванны, способствующего увеличению площади поверхности раздела фаз газ – жидкость – включения. Для эффективного рафинирования металла в объеме промежуточного ковша используется целый ряд конструктивных особенностей и внутренних устройств: элементы типа «турбостоп», фильтрационные перегородки и пороги. Эти приспособления формируют движение конвективных потоков стали в промежуточном ковше и обеспечивают всплытие в шлак неметаллических включений. Однако удаление неметаллических включений в промежуточном ковше возможно только при условии обеспечения продувки металла инертным газом в пузырьковом режиме при сравнительно низких расходах вдуваемого аргона.

Для организации продувки металла инертным газом в пузырьковом режиме применяются продувочные

блоки, установленные непосредственно в днище промежуточного ковша и позволяющие обеспечить объем вдуваемого газа от 4 до 16 л/мин.

В настоящей работе представлена высокоэффективная универсальная фильтрующая система (УФС), разработанная компанией GIR. Система внедрена на одном из металлургических предприятий, оборудованном слябовой МНЛЗ, и включает три позиции:

- «турбостоп», оригинальная конструкция которого предусматривает направление и распределение потоков жидкого металла вдоль границы раздела фаз шлак – металл, что, в свою очередь, обеспечивает интенсивную ассимиляцию неметаллических включений шлаком за счет увеличения удельной площади контакта;

- защитная перегородка, основной функцией которой является торможение потоков металла, движущихся по дну промежуточного ковша. Перегородка позволяет увеличить срок пребывания металла в промежуточном ковше;

- продувочный блок, через который в расплав подается инертный газ.

В качестве основных продувочных элементов использованы корундовые трубки, в которых выполнены «калиброванные» каналы определенного диаметра. Оригинальная конструкция продувочного блока предполагает, что продувочные трубки устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга, а между ними находятся щелевые каналы. Такая вариация дутьевых компонентов позволяет с помощью калиброванных отверстий сформировать «завесу» мелких пузырьков аргона, обеспечивая большую удельную поверхность раздела фаз, которая обладает флотационными свойствами, т. е. «захват» включений с последующим всплытием в шлак, а щелевые каналы за счет направленных потоков способствуют эффективному удалению укрупненных включений.

Выбор схемы расположения и геометрических параметров элементов системы УФС осуществлялся на

основании результатов физического моделирования. Установка УФС в промежуточный ковш и монтаж аргопровода не вызывают дополнительных трудностей, что свидетельствует о ее универсальности. Наилучшие результаты рафинирования металла достигнуты при расходе вдуваемого газа через продувочный блок 7–9 л/мин. Такой расход позволяет обеспечить стабильную газопроницаемость в течение всего периода эксплуатации; при этом поверхность покровного шлака над блоком практически не подвергается

«бурлению» и разрушению. Следует отметить, что при более высоких расходах газа на уровне 12–15 л/мин наблюдается интенсивное бурление в зоне выхода пузырьков, что обуславливает дополнительное загрязнение стали в промежуточном ковше из-за вовлечения частиц шлака в циркуляционную зону металла.

Разработанная система УФС позволяет снизить диализ общего индекса загрязненности металла неметаллическими включениями за счет комплексного подхода к рафинированию металла в промежуточном ковше.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ФУТЕРОВКА ЭЛЕМЕНТОВ КЛАДКИ, ПОДВЕРЖЕННАЯ ПОВЫШЕННОМУ ЭРОЗИОННОМУ ИЗНОСУ

(✉)

E-mail: a.gulyaeva2012@yandex.ru

© К. т. н. **В. В. Словиковский, А. В. Гуляева** (✉), **В. А. Комаровский, В. В. Золотухин, В. А. Шемелин**
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Анализ работы агрегатов цветной металлургии, выполненный авторами, показал, что разрушение магнезиальной футеровки происходит не только за счет температурных и химических факторов, но и в результате эрозионно-абразивного воздействия среды. Это наблюдается, например, в районе фурменной зоны, боковых частей конвертеров, в шлаковых летках рудно-термических печей (РТП), печей обеднения при производстве никеля, печей для выплавки олова и печей КИВЦЭТ, а также в футеровке шламовых перегонов печей ПЖВ. Сравнительные данные по сопротивлению магнезиальных огнеупоров различных марок абразивному воздействию среды в литературе отсутствуют. Цель исследования — получить в одинаковых условиях данные по износостойкости различных магнезиальных огнеупоров, применяемых в цветной металлургии. Ряд факторов определяют абразивную износостойкость огнеупоров: твердость зерен крупнозернистой составляющей, состав и полнота спекания тонкомолотой составляющей и др. При недостаточном спекании связи под воздействием струи расплава зерна периклаза и периклазошпинелида выкрашиваются и способствуют дополнительному абразивному износу.

Наиболее изнашиваемой частью огнеупорной футеровки рудно-термических печей на Побужском никелевом заводе являются шпур, выполненные из пе-

риклазохромитового кирпича. Пропускная стойкость шлаковых шпуров 6000–8000 т. Для шпуровых узлов характерен эрозионный износ огнеупора, так как скорость струи шлака и металла достигает 10–20 м/с. Авторами было предложено использовать в летках и шпуровых узлах фурменные блоки ПХПБ-1 комбината «Магнезит» с прямоугольным сечением (ТУ 14-200-140–75). Проведены промышленные испытания, которые показали увеличение стойкости шпуровых узлов в 1,8–2,2 раза. Пропускная способность возросла до 17500 т.

Как показали исследования различных огнеупоров магнезиального состава в узлах футеровки, подверженных эрозионному износу, износо- и шлакоустойчивость связаны почти пропорционально. Поэтому по показателям износостойчивости можно прогнозировать службу тех или иных огнеупоров без дорогостоящих испытаний на шлакоустойчивость. Испытания различных огнеупоров магнезиального состава в узлах футеровки плавильных агрегатов, подверженных в большей степени абразивному износу, показали, что наиболее стойкими являются огнеупоры периклазохромитового состава на основе плавного зерна (ПХП) производства Группы «Магнезит». Применение этих огнеупоров в элементах кладок, подверженных повышенному эрозионному износу, повышает стойкость футеровки печей ПВ, РТП, вельц-печей и горизонтальных конвертеров в 1,5–2,5 раза.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАЗОГРЕВА ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ НА СТОЙКОСТЬ ОГНЕУПОРНОЙ КЛАДКИ

(✉)

E-mail: a.gulyaeva2012@yandex.ru

© К. т. н. **В. В. Словиковский, А. В. Гуляева** (✉), **В. А. Комаровский, В. А. Шемелин**
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Износ футеровки высокотемпературных металлургических агрегатов периодического действия (конвертеры, вельц-печи, вращающиеся печи, сталеразливочные ковши и т. д.) при службе происходит в основном путем скалывания вследствие возникающих в футеровке термических напряжений. При пуске конвертеров без предварительного разогрева футеровки размеры скола кладки от первичного термоудара достигают 150 мм.

Анализ службы футеровки показал, что поверхностные слои кладки, обращенные в рабочее пространство конвертера, при быстром нагреве футеровки испытывают напряжения сжатия, при быстром охлаждении — находятся под воздействием растягивающих напряжений. При прочих равных условиях для футеровки опаснее быстрое охлаждение, чем быстрый нагрев, вследствие плохой сопротивляемости

огнеупоров растяжению и хорошей сопротивляемостью сжатию. В практике часто встречаются случаи разрушения футеровки в результате недостаточного предварительного разогрева кладки или его отсутствия. Для уменьшения влияния напряжений, возникающих при затрудненном расширении кладки, авторами предложены и испытаны в надфурменной зоне горизонтальных конвертеров никелевого производства (Уфалейский никелевый комбинат, комбинат «Южуралникель») компенсационные прокладки в виде картона или толя из расчета 6 мм температурных швов на 1 пог. м кладки. В результате продолжительность кампании конвертеров, определяемая в основном стойкостью фурменного пояса и надфурменной зоны, увеличилась на 12–20 %.

Следовательно, механическое растрескивание огнеупора происходит вследствие недостаточного количества температурных швов в огнеупорной конструкции, в арочных конструкциях — вследствие одностороннего нагрева внутренней поверхности свода. В обоих случаях происходит локальная концентрация напряжений, приводящая к разрушению огнеупора. Служба огнеупоров в конвертерах начинается с момента сушки и разогрева футеровки, их режимы в значительной мере определяют скорость износа огнеупоров в начальный период кампании. Сушка и разогрев футеровки конвертеров после капитального и текущего ремонтов имеет также важное значение для последующей службы огнеупоров, особенно при применении огнеупоров в увлажненном и замороженном состоянии.

Наиболее оптимальным режимом сушки и разогрева конвертеров после капитального ремонта, по

нашему мнению, является режим, применяемый на Алмалыкском горно-металлургическом комбинате. Длительность сушки и разогрева 48 ч (20 ч сушка и 28 ч разогрев). Скорость подъема температуры до 300 °С 15 °С/ч в течение 18 ч, от 800 до 1200 °С 40 °С/ч в течение 10 ч. Сушку и разогрев футеровки конвертеров ведут мазутными горелками, вставленными в фурменные трубки. Изучение влияния продолжительности сушки и разогрева футеровки конвертеров на скорость износа огнеупоров показало, что с увеличением затрат времени на эти процессы скорость износа огнеупоров уменьшается. Традиционная кладка швов футеровки с использованием сухих огнеупорных порошков неэффективна и уменьшает срок ее службы. При футеровании агрегатов периодического действия необходимо применять кладочные растворы, защитные обмазки, торкрет-массы для резкого снижения термических напряжений в кладке. Изделия на основе плавных материалов следует разогревать до температуры службы с меньшей скоростью, чем спеченные.

Разработаны мероприятия по повышению стойкости футеровки тепловых агрегатов (конвертеров). Для решения этой задачи проведены исследования механизма разрушения футеровки тепловых агрегатов при разогреве и остывании, изменении теплофизических свойств огнеупоров различного состава, а также огнеупоров, пропитанных медно-никелевым штейном. Изучены графики сушки и разогрева футеровки. Разработанные на основании полученных результатов мероприятия при опробовании их в промышленных условиях позволили поднять стойкость футеровки конвертеров на 25–30 % без особых материальных затрат.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКТА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША

(✉)
E-mail: toch56@mail.ru

© Д. т. н. **Виктор В. Точилкин**¹(✉), **О. Н. Чиченева**², **В. И. Умнов**³, **Василий В. Точилкин**¹
¹ ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия
² ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия
³ ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия

МНЛЗ имеют определяющее значение в подготовке непрерывнолитых заготовок в металлургическом производстве. Один из важнейших элементов МНЛЗ — система промежуточный ковш (ПК) — кристаллизатор, определяющая движение жидкой стали и формирование слитка. Для рациональной работы ПК с жидкой сталью ковш подготавливают на специальном стенде. Стенд для оснащения ПК комплектом огнеупорных изделий снабжают агрегатами и узлами с гидравлическим приводом (ГП), обеспечивающим отделение вышедших из строя огнеупорных изделий, отработавших в предыдущем цикле разливки, от основной бетонной футеровки промежуточного ковша и удаление их в процессе поворота ковша. Представлена модернизированная система ГП стенда для обслуживания ПК с использова-

нием гидравлической аппаратуры с пропорциональным управлением. Проведены расчеты механизма поворота ПК, учитывающие возможные остаточные массы металла в ковше, механизмов поступательного передвижения и ГП стенда. Разработанный ГП на базе аппаратуры с пропорциональным управлением обеспечивает рациональное перемещение механизмов и самого ПК при обслуживании на стенде без нанесения повреждений основному бетонному слою футеровки ПК. Таким образом, при совершенствовании и разработке процессов разливки стали важную роль выполняют системы металлургических агрегатов, используемые для оснащения их огнеупорными изделиями при подготовке. Это обеспечит стабильность разливки при применении ПК на МНЛЗ и повышение качества металла.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННОГО МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ СЛЯБОВЫХ МНЛЗ**

(✉)

E-mail: ssuharev@magnezit.com

© М. Ю. Турчин¹, С. В. Сухарев² (✉), К. Т. Н. А. В. Заболотский³, А. В. Шестаков³, А. А. Бердышев³,
А. В. Скрипник²¹ ООО «Группа «Мagneзит», г. Сатка Челябинской обл., Россия² ООО «Группа «Мagneзит», Москва, Россия³ ООО «Группа «Мagneзит», Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены особенности условий работы промежуточных ковшей слабовых МНЛЗ на примере 27-т агрегатов ККЦ ПАО «Северсталь». Приведены результаты математического моделирования гидродинамики в промежуточном ковше с различного типа гасителями турбулентности входящей струи. Разработан, защищен патентом и внедрен металлоприемник (бренд РЕЙН-СТРИМ/REINSTREAM®) с волнистой внутренней поверх-

ностью, предназначенный для повышения качества непрерывнолитой заготовки. Металлоприемник обеспечивает увеличение стабильности и технологичности процесса непрерывной разливки за счет специальной конструкции, необходимую организацию потоков жидкой стали и удаление неметаллических включений в промежуточном ковше, возможность повышения серийности разливки методом «плавка на плавку».

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СУХИХ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СМЕСЕЙ
ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША**

(✉)

E-mail:
a.goncharov@energots.info© Д-р Р. Фехнер¹, д-р Р. Бросс¹, Д. В. Крутиков¹, А. А. Гончаров² (✉)¹ Компания Weerulin GmbH, г. Мюльхайм-на-Руре, Германия² ООО «Энерготехсинтез», г. Красногорск Московской обл., Россия

Высокий уровень конкуренции на мировом рынке в металлургическом секторе, постоянно повышающиеся требования к качеству выпускаемой продукции, стремление производителей стали к сокращению удельных затрат ведут к поиску новых технологий, позволяющих добиться поставленных задач и обеспечить конкурентные преимущества.

Сухие термореактивные смеси на резольном связующем в настоящее время широко применяют при разливке стали на МНЛЗ в Германии. Эти смеси имеют ряд преимуществ перед стандартными торкрет-массами для мокрого способа нанесения, такие как простая технология нанесения, отсутствие в связующих компонентах свободного оксида кремния и сокращение расхода энергоносителей за счет исключения предварительной сушки промежуточного ковша. Так же, как и при производстве торкрет-масс для мокрого торкретирования, возможно сочетание множества стандартных сырьевых материалов.

Начиная с конца 1960-х годов компания Weerulin GmbH производит огнеупорную продукцию для металлургических заводов. В 2015 г. в Германии начало работу совместное предприятие Weerulin – Corwintec GmbH, официальным его представителем в Российской Федерации является компания ООО «Энерготехсинтез». Тесное и взаимовыгодное сотрудничество с производителями стали в Германии позволило компании Weerulin GmbH накопить необходимый опыт и стать одним из пионеров разработки технологии сухих термореактивных смесей в 1980-х годах. С конца 1980-х годов эта технология была успешно внедрена на ведущих металлургических заводах Германии. За этот период на металлургических предприятиях было

произведено 42,1 млн т стали. При этом чуть больше половины общего объема стали было произведено по стандартной технологии мокрого торкретирования, остальная часть — по технологии сухих термореактивных смесей (при изготовлении футеровки промежуточных ковшей). Рассматривая актуальную ситуацию в российской металлургической промышленности с объемом производства 70,8 млн т стали в 2016 г., можно лишь отметить, что почти все количество стали производится с применением стандартной технологии мокрого торкретирования.

Сравнивая особенности двух технологий изготовления футеровки промежуточных ковшей, можно отметить следующее. Технология мокрого торкретирования — это технология изготовления футеровки промежуточных ковшей торкрет-массами магнезиального или магнезиально-оливинового состава с добавкой затворяющей воды в количестве от 20 до 30 % в зависимости от конкретного состава массы. Торкрет-массы наносятся на арматурную футеровку промежуточного ковша с применением специальной торкрет-установки. Технология сухих смесей — это технология изготовления футеровки промежуточных ковшей сухими массами магнезиального состава методом заполнения зазора, образующегося при установке специального шаблона в промежуточный ковш между арматурной футеровкой и шаблоном.

Компания Weerulin – Corwintec GmbH предоставляет технологические решения, которые в полной мере удовлетворяют высоким требованиям заказчика и позволяют сохранять конкурентные преимущества на рынке высококачественной металлургической продукции. В данной статье сделан обзор технологий

изготовления футеровки промежуточных ковшей, применяемых на сегодняшний день на металлургических предприятиях. Сделан сравнительный анализ технологий мокрого торкретирования промежуточных ковшей и сухих смесей для футеровки с указанием преимуществ и недостатков каждой из них. Приведены особенности технологий с указанием основных параметров процесса, физико-химических свойств ма-

териалов, особенности применения и использования необходимого дополнительного оборудования. Представлен расчет инвестиционных и эксплуатационных затрат на примере использования двух технологий. Показаны экономические преимущества технологии сухих терморективных смесей. Приведен сравнительный анализ затрат на энергоносители и показана возможность их снижения.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: tyarushina@magnezit.com

МЕХАНИЗМ КОРРОЗИИ ПЕРИКЛАЗОХРОМИТОВЫХ ПРЯМОСВЯЗАННЫХ ОГНЕУПОРОВ ВО ВСАСЫВАЮЩЕМ ПАТРУБКЕ RH-ВАКУУМАТОРА

© К. Т. Н. Т. В. Ярушина¹ (✉), А. А. Платонов¹, А. О. Мигашкин¹, И. В. Аношкин², А. А. Бессольников³,
М. А. Ерошин¹

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

² ООО «Группа «Магнезит», г. Магнитогорск, Россия

³ ООО «Группа «Магнезит», г. Нижний Тагил, Россия

Приведены результаты исследований с минералогической точки зрения огнеупорных изделий марки ХПП-1 производства комбината «Магнезит» на основе плавленного периклазохромита (шпинелида) после службы во внутренней футеровке всасывающего патрубка RH-вакууматора на двух предприятиях, на которых технология внепечной обработки металла включает использование различных добавок к ковшевому шлаку. На одном предприятии патрубок эксплуатировали в контакте со шлаком, содержащим в качестве гомогенизирующей добавки плавиковый шпат с глиноземистым шлакообразующим компонентом, на втором предприятии — со шлаком, для гомогенизации которого использовали только плавиковый шпат. В обоих случаях

патрубки отслужили по 100 плавов, длительность эксплуатации 1550–1800 мин.

Установлено, что глубина инфильтрации компонентов шлакового расплава зависит от качества используемого огнеупора, вида гомогенизирующей добавки к шлаку в сталеразливочном ковше, используемых раскислителей и шлакообразующих материалов. Шлак, содержащий комбинацию плавикового шпата с глиноземистым шлакообразующим компонентом, проникает в микроструктуру огнеупора на большую глубину, чем при добавке только плавикового шпата, что приводит к изменению первоначального фазового состава изделия с образованием большего количества вторичных фаз.

