

**7–8 АПРЕЛЯ
2016 ГОДА**

МОСКВА, НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ **ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ**



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА – ЖУРНАЛЫ
«НОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ», «METAL RUSSIA»,
ПОРТАЛ НИТУ «МИСИС»,
«БРЕНД-СЕРВИС. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ»
ИА «МЕТАЛЛ-КУРЬЕР»

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Беляков А. В., Церман С. И. «Умные» алмазосодержащие сегменты для механической обработки твердых хрупких материалов.....	9
Волкова Е. А., Дружинин А. В., Нагаткин Е. Ю., Полузадов В. Н. Сетевые подходы к управлению горнотранспортными комплексами.....	9
Геворкян Э. С., Московских Д. О., Кислица М. В., Торосян К. С. Композиты с тонкой структурой на основе корунда и карбида кремния.....	10
Дружинин А. В., Волкова Е. А., Нагаткин Е. Ю., Полузадов В. Н. Повышение качества управления одноковшовыми экскаваторами на основе мультиагентного подхода.....	11
Заболотский А. В., Аксельрод Л. М. Математическое моделирование процесса сушки огнеупорных бетонов.....	12
Жакикова С. Ш. Мониторинг технологических схем в производстве черных металлов.....	12
Коварская Е. З., Москобенко И. Б., Потапов А. И. Разработка рекомендаций по освоению неразрушающего контроля физико-механических свойств и качества изделий из углеродных материалов.....	13
Кугушев В. И. Экспресс-метод дефектоскопии ковшей средних размеров и тиглей больших размеров.....	14
Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Фёдоров М. Ю. Управление рисками при внедрении инновационных керамических материалов в серийное производство.....	14
Кушнерев И. В., Аксельрод Л. М. Термохимический анализ службы огнеупоров.....	15
Перепелицын В. А. 90-летний путь развития науки: техническая петрография — петрологическое материаловедение.....	15
Перепелицын В. А., Яговцев А. В. Раствор-расплавные процессы в огнеупорах.....	16
Чистякова Т. Б., Суворов С. А., Козлов В. В., Новожилова И. В., Кузнецов Д. В., Костицын М. А. Электронная информационно-образовательная среда для подготовки и повышения квалификации специалистов металлургических предприятий в области технологий производства и эксплуатации инновационных огнеупорных материалов.....	17
Шемакин В. С., Скопов С. В., Морозов Ю. П., Цыпин Е. Ф. Рентгенометрическое обогащение огнеупорного лома.....	17
Шлегель И. Ф. Жаровый вентилятор компании «ИНТА-СТРОЙ». Оборудование для современных процессов производства огнеупоров.....	18
Шмурадко В. Т., Пантелеенко Ф. И., Реут О. П., Стёпкин М. О. Принципы создания термостойких электроизоляционных изделий для карьерных самосвалов БелАЗ.....	19
СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
Аксельрод Л. М., Назмиев М. И., Ильянкин А. В., Семенов А. А., Городов А. А. Разработка технологии изготовления и организация производства герцинита.....	20
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Назмиев М. И., Мануйлова Е. В. Многоподовая печь Группы Магнезит для термообогащения магнезита.....	20
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Назмиев М. И., Мануйлова Е. В., Галиханов И. И. Обогащение магнезита Саткинского месторождения рентгеновским методом.....	21
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Назмиев М. И., Симакова О. В. Новые алюмосодержащие флюсы, разрабатываемые Группой Магнезит.....	22
Земляной К. Г., Бороздина Ю. А. Магнезиально-фосфатные вяжущие для жаростойких бетонов.....	22
Перепелицын В. А., Яговцев А. В. Сырьевые проблемы огнеупорного производства России и направления их решения.....	23

Рошин В. Е., Салихов С. П., Рошин А. В., Брындин С. А. Получение железного магнезиального флюса и первородного железа путем металлизации кусковой сидеритовой руды.....	24
Семченко Г. Д., Бражник Д. А., Панасенко М. А., Анголенко Л. А., Катюха А. С., Вернигора К. П. Использование добавки отечественного дистен-силлиманитового концентрата в технологии неформованных карбидкремниевых огнеупоров для футеровки агрегатов для плавки меди.....	25
Семченко Г. Д., Повшук В. В., Бражник Д. А., Питак Я. Н., Рожко И. Н., Тищенко С. В. Использование комплексного антиоксиданта для повышения стойкости периклазоуглеродистых огнеупоров к окислению.....	26
Соколов В. А., Махов С. В., Богатырева Е. В. Разработка рациональных методов получения диоксида циркония.....	26
Чайка Е. Ф., Марясов И. Г., Платонов А. А. Графит. Оценка качества для огнеупорной промышленности.....	27

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Пицик О. Н., Киселева Е. А. Герцинитсодержащие огнеупоры — перспективное направление в ассортименте продукции Группы Магнезит.....	28
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Пицик О. Н., Марясова О. А. Уплотненные коррозионно-устойчивые огнеупоры для футеровки печей для обжига цементного клинкера.....	28
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Лаптев А. П., Назмиев М. И., Пospelova Е. И. Торкрет-массы Группы Магнезит нового поколения.....	29
Донич Р. А., Аксельрод Л. М. Бетон для выполнения арматурного слоя футеровки промежуточного ковша по золь-гель технологии.....	29
Донич Р. А., Хурматуллин А. Р., Заболотнев К. Е. Огнеупорные неформованные материалы для монолитной футеровки тепловых агрегатов цементного производства.....	30
Егоров И. В., Попов А. Ю., Краснянский М. В. Основные концепции ресурсо- и энергосберегающей футеровки дна сталеразливочного ковша.....	31
Зубашенко Р. В. Исследование структуры и свойств высокотемпературных теплоизоляционных изделий, армированных алюмосиликатным волокном.....	31
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Поморцев С. А., Валуев А. Г., Борисова Ю. А. Армирование периклазоуглеродистых огнеупоров углеродистыми волокнами.....	32
Юрков А. В., Кондратьев Е. А., Горбунов В. В. Импортозаменяющие виды продукции Богдановичского ОАО «Огнеупоры».....	35

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Таугер В. М. Создание энергосберегающих конструкций трубчатых ленточных конвейеров.....	35
Давыдов С. Я., Золкин А. П., Шварев В. С., Филатов М. С. Повышение надежности работы крутонаклонного ковшевого ленточного конвейера.....	36
Давыдов С. Я., Корюков В. Н., Замураев А. Е. Повышение эффективности теплоутилизатора путем интенсификации теплообмена.....	37
Давыдов С. Я., Сулов Н. М., Черемисина Т. Н. Улавливание и использование карьерной пыли огнеупорного производства.....	38
Золотухин В. И., Гордеев Е. И., Головкин А. Г., Провоторов Д. А., Ильин Г. И. Сталеразливочные системы нового поколения: опыт и перспективы.....	39
Пономарев В. Б., Любвицкая Л. Э., Девчик М. А. Применение каскадных пневматических классификаторов при обогащении кварцевых песков.....	39
Прибора В. Н. Современный рентгеновский анализ в огнеупорной промышленности.....	41

ТЕПЛОТЕХНИКА

Волков А. А., Кун В. Г., Усачев А. Б. Проектирование футеровки нагревательных печей.....	41
---	----

Гусовский В. Л., Левицкий И. А., Усачев А. Б. Расчеты температур футеровки и тепловых потерь через ограждения.....	42
Дзюзер В. Я. Расчет интегральных потерь теплоты через футеровку стекловаренной печи.....	43
Заболотский А. В., Аксельрод Л. М., Дониц Р. А., Марченко Д. А. Исследование процесса выделения влаги в процессе сушки и в начале эксплуатации бетонной футеровки.....	43
Нижегородов А. И. Энергоэффективные электрические печи для обжига вермикулита.....	44

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Абызов В. А., Пак Ч. Г., Серов П. И. Жаростойкие теплоизоляционные материалы на основе огнеупорных волокон, фосфатных и магнезиальных связующих.....	45
Абызов В. А., Речкалов Д. А., Черногорлов С. Н. Вяжущие и ячеистые жаростойкие бетоны на основе шлаков алюминотермического производства ферротитана.....	46
Абызов В. А., Ряховский Е. Н. Клеи и ячеистые жаростойкие бетоны на основе модифицированных фосфатных связующих и глиноземистых промышленных отходов.....	46
Акопов Ф. А., Андрианов М. А., Шавелкина М. Б., Бородин Т. И., Вальяно Г. Е., Боровкова Л. Б., Амиров Р. Х., Ткаченко В. В. Композиционная керамика на основе кубического нитрида бора.....	47
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Заболотский А. В. Совершенствование технологии периклазошпинелидных огнеупоров для внепечной обработки стали.....	48
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Марясов И. Г., Нечунаев В. Л., Андриевский А. Л. Совершенствование структуры хромитопериклазовых огнеупоров для реакционной зоны вельц-печи цинкового производства.....	48
Апакшешев Р. А., Давыдов С. Я. Образование микрочастиц кремния при контактном взаимодействии алюмосиликатного минерала с расплавленным алюминием.....	49
Бажин В. Ю., Сантов А. В. Влияние добавки карбоната лития на свойства холоднонабивной подовой массы в катодной футеровке.....	49
Бажин П. М., Столин А. М., Чижиков А. П., Кузнецов Д. В. Разработка защитных покрытий для повышения стойкости пресовой оснастки при производстве огнеупорных материалов и изделий.....	50
Балуева А. В., Андрианов Н. Т., Захаров А. И., Кожевников А. А. Импортзамещение глинистого сырья для производства крупногабаритных стекловаренных горшков.....	51
Баранова Т. Ф., Щербакова Г. И., Валиахметов С. А. Способ изготовления комбинированных оболочковых форм по выплавляемым моделям для получения отливок жаропрочных сплавов направленной кристаллизацией.....	51
Белогурова О. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Модифицированное жидкое стекло для теплоизоляционных материалов.....	52
Борис Р., Антонович В., Керене Я., Стонис Р., Куджма А. Исследование стойкости огнеупорных материалов к воздействию щелочных солей.....	52
Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Швецов А. А., Бардин Н. Г., Макаров Н. А. Влияние изменения структурных параметров пекового кокса при термообработке на процесс взаимодействия с расплавом кремния.....	53
Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Швецов А. А., Бардин Н. Г., Макаров Н. А. Влияние содержания связующего в исходной углеродной основе на плотность и фазовый состав среднезернистого силицированного графита.....	53
Дороганов В. А., Евтушенко Е. И., Дороганов Е. А. Искусственные керамические вяжущие циркониевого состава и композиты на их основе.....	54
Дороганов В. А., Евтушенко Е. И., Дороганов Е. А. Карбид-кремниевые композиционные материалы на нитридной связке с использованием искусственных керамических вяжущих на основе кремния.....	54
Земляной К. Г., Дербенев А. Ю. Исследование влияния вида графитов на свойства периклазоуглеродистых огнеупоров.....	55

Земляной К. Г., Подчуфаров П. А. Исследование влияния вида связующей композиции на свойства периклазоуглеродистых огнеупоров.....	55
Иконников К. И., Кондрукевич А. А., Съёмщиков Н. С., Беляков А. В., Косточка М. Л. Структурные изменения в связующем при службе периклазоуглеродистых огнеупорных изделий.....	56
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Дзержинский Р. В., Федотов А. В. Исследование термостойкости огнеупоров для высокотемпературных установок.....	57
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Кушкина Е. В., Павлова И. А. Интенсификация процесса спекания керамических алюмосиликатных пропантов.....	57
Комоликов Ю. И., Пудов В. И. Получение прочной керамики системы $ZrO_2-Y_2O_3$ из порошков, синтезированных методом сжигания нитратов.....	58
Куджма А., Стонис Р., Красников А., Антонович В., Шкалат Е., Чернашеус О., Спудулис Е. Влияние наноксидов графена на гидратацию высокоглиноземистого цемента и свойства жаростойкого бетона.....	58
Лукин Е. С., Попова Н. А., Павлюкова Л. Т., Летов А. В., Акопов Ф. А., Санникова С. Н. Огнеупорные материалы для применения при высоких температурах.....	59
Мартыненко В. В., Казначеева Н. М., Питак Я. Н., Дубовис В. Г. Теплоизоляционные безобжиговые легковесные изделия на микропористом анортитовом заполнителе для печей с углеродсодержащими средами.....	59
Михайловская Л. М., Марясов И. Г., Платонов А. А., Маряева О. А. Клинкероустойчивость периклазошпинелидных изделий к шламу Уралцемента.....	60
Мишнев Ю. Е., Кущенко К. И., Крахмаль Ю. А. Высокоогнеупорная корундовая особоплотная керамика из ультрадисперсного глинозема.....	60
Насибуллин А. В., Антипов Е. А., Бейлина Н. Ю., Догадин Г. С., Макаров Н. А. Влияние модификации пека на плотность углерод-углеродных композиционных материалов.....	61
Насибуллин А. В., Антипов Е. А., Бейлина Н. Ю., Догадин Г. С., Макаров Н. А., Бардин Н. Г., Швецов А. А., Петров А. В. Влияние введения нанодобавки на реологические свойства пека.....	62
Насибуллин А. В., Бейлина Н. Ю., Догадин Г. С., Макаров Н. А., Бардин Н. Г., Швецов А. А., Петров А. В. Влияние различных типов нанодобавок на свойства пековой матрицы для производства углерод-углеродных композиционных материалов.....	62
Новохатская Н. И., Столин А. М., Бажин П. М., Милейко С. Т. Получение силицидмолибденовых композитов методом внутривещной кристаллизации.....	63
Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Дунаева М. Н. Окалиноустойчивость андалузитовых бетонов.....	63
Платонов А. А., Марясов И. Г. Характер износа периклазошпинелидных изделий в тепловых агрегатах, работающих на альтернативном топливе.....	64
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Хончик И. В., Щербак Л. М. Сухая корундовая смесь с образованием реакционно-спеченного гексаалюмината кальция в процессе службы.....	64
Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Гальченко Т. Г. Изделия из стабилизированного диоксида циркония для нового поколения установок выращивания монокристаллов.....	65
Рева В. П., Филатенков А. Э., Курявый В. Г., Гулевский Д. А., Ягофаров В. Ю., Мансуров Ю. Н. Специфика применения различных углеродных компонентов для реализации механохимического синтеза карбида титана.....	65
Сакулин А. В., Скурихин В. В., Маргишвили А. П., Кузнецова О. С., Иксанова А. Н., Булин В. В. Энергоэффективные футеровки вращающихся печей для производства извести и цемента.....	67
Сатбаев Б. Н., Кокетаев А. И., Аймбетова Э. О., Шалабаев Н. Т., Сатбаев С. Б. Физико-химические свойства нового состава алюмохромсодержащих огнеупоров, полученных методом СВС.....	68

Семченко Г. Д., Геворкян Э. С., Шутеева И. Ю., Кислица М. В., Васюк А. А., Руденко Л. В. Создание муллитокорундовых матриц, модифицированных наночастицами β -SiC.....	68	Вдовин К. Н., Мельничук Е. А., Точилкин Василий В., Точилкин Виктор В. Влияние геометрии металлоприемника приемной камеры промежуточного ковша на работу МНЛЗ..	78
Семченко Г. Д., Макаренко В. В., Шутеева И. Ю., Старолат Е. Е., Пермьяков Ю. В., Чопенко Н. С. Изготовление изделий сложной конфигурации из масс на обычных и пластифицированных золь-гель связующих.....	69	Вебстер Эшли Дж. Оптимизация стойкости продувочных устройств для сталеразливочного ковша.....	79
Сенина М. О., Лемешев Д. О., Яровая О. В., Журба Е. В. Подложки на основе корунда для селективных мембран модулей очистки сточных вод.....	70	Вислогузова Э. А., Фолько Лука, Чеглов Р. А., Палмизано Джузеппе. Видение огнеупорной футеровки в заплечиках доменной печи.....	79
Словицкий В. В., Гуляева А. В. Пропитка фосфатами огнеупорных изделий для улучшения их эксплуатационных свойств.....	71	Долгих С. В., Лаптев А. П., Леонтьев А. Н. Новации для парка печей прокатного производства в части теплоизоляции подовых опор нагревательных печей на основе бетонов периклазохромитового состава.....	80
Соков В. Н., Сокова С. Д. Силикатный безавтоклавный кирпич и цветные отделочные плитки из отходов огнеупорных материалов.....	71	Коростелёв А. А., Съёмщиков Н. С., Чернышев А. А., Сёмин А. Е., Бельмаз К. Н., Божесков А. Н., Казаков В. В., Косоногов А. В. Преимущества использования стопоров-моноблоков с магнезиальной головной частью.....	82
Столин А. М., Бажин П. М., Кузнецов Д. В., Константинов А. С., Турганов З. Г., Есболов Н. Б. Синтез модифицирующих добавок на основе тугоплавких материалов в условиях горения и последующего высокотемпературного деформирования.....	72	Красный Б. Л., Сербиков Ю. А., Иконникова И. А. Анализ службы корундомуллитокорундовых огнеупоров КМЦ для футеровки подины методической нагревательной печи нагрева сортовых заготовок.....	82
Суворов С. А., Вихров Е. А., Козлов В. В. Разработка химического состава и свойств многокомпонентных шлакообразующих смесей.....	73	Марочкин О. А. Выбор оптимальных параметров огнеупорных элементов металлопроводки SES для увеличения их стойкости при разливке стали на сортовых МНЛЗ.....	83
Суворов С. А., Дука А. П., Арбузова Н. В. Огнеупоры для футеровки агрегатов обработки чугуна.....	73	Марочкин О. А., Ячиков И. М., Умнов В. И. Анализ работы прижимных устройств для удержания погружаемых стаканов в процессе разливки стали на сортовых МНЛЗ.....	84
Суворов С. А., Козлов В. В. Определение растворимости огнеупорных фаз в металлургических шлаках системы $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO}(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$	74	Мигашкин А. О., Захваткин Н. М., Пищик О. Н., Марясов И. Г. Опыт применения периклазошпинельных изделий в футеровке дуговой печи постоянного тока.....	84
Суворов С. А., Слободов А. А., Козлов В. В., Арбузова Н. В. Функция металлического алюминия в составе периклазового карбонированного огнеупора.....	75	Можжерин А. В., Маргшвили А. П., Мусевич В. А., Дука А. П., Витовский А. В. Опыт применения огнеупоров БКО на Северстали.....	85
Тарасовский В. П., Красный Б. Л., Кошкин В. И., Малютин К. В., Резниченко А. В., Новосёлов Р. А. Исследование влияния размера и формы частиц порошков электрокорунда на их аутогезию.....	76	Прошкин А. В., Пингин В. В., Сбитнев А. Г., Жердев А. С. Опыт и результаты применения неформованных футеровочных материалов при монтаже катодных устройств алюминиевых электролизеров.....	86
Эвайс Имад М. М., Бесиса Дина Х. А. Прочность на изгиб нового функционально-градиентного материала циркониево-алюминиевая керамика / оксид алюминия.....	76	Прошкин А. В., Сакулин А. В., Скурихин В. В., Кузнецова О. С. Муллитокремнеземистые изделия для кладки печей обжига анодов.....	87
ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ		Прошкин А. В., Скурихин В. В., Кузнецова О. С., Иксанова А. Н., Коваленко А. А. Механизм износа изделий BoGABF в кладке печей обжига анодов РУСАЛ-Саяногорск.....	87
Аксельрод Л. М., Чашкин М. А., Ладейщиков А. В., Привалов И. В., Мельцов Д. С. Огнеупорные блоки в фурменной части горизонтального конвертера.....	77	Словицкий В. В., Гуляева А. В. СВС-материалы для ремонта кладки тепловых агрегатов.....	88
Бажин В. Ю., Горланов Е. С., Власов А. А. Инновационные решения в области модернизации футеровки катодных устройств высокоамперных электролизеров.....	77	Удалов И. И., Козлов В. В., Вихман С. В., Буравов А. Д. Анализ работы муллитовых и муллитокорундовых огнеупорных блоков в методической печи разогрева металлов.....	88
Вдовин К. Н., Марочкин О. А., Точилкин Василий В. Анализ работы системы промежуточный ковш – погружаемый стакан – кристаллизатор в процессе разливки стали на сортовых МНЛЗ.....	78	Фехнер Ричард, Гола Уве, Крутиков Д. В. Эффективные концепции использования огнеупоров в RH-вакууматорах для повышения их стойкости и оптимизации затрат.....	89



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

«УМНЫЕ» АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИЕ СЕГМЕНТЫ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

(✉)

E-mail: cs@adelinfo.ru

© Д. х. н. **А. В. Беляков¹, С. И. Церман²** (✉)¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия² ООО «Дельта» группы компаний «Адель», Москва, Россия

Значение механической обработки, как завершающей стадии изготовления изделий из твердых хрупких материалов, в том числе огнеупоров, в настоящее время возрастает. В большинстве случаев обработку проводят при помощи алмазного инструмента на металлической связке. При этом значительная доля номенклатуры инструмента имеет сегментную конструкцию. Фирмы — производители алмазного инструмента предлагают свои конструкции и структуры режущего слоя сегментов, различающиеся вариациями количества (концентрации), качества (марки) алмазов, а также составом металлической композиции связки. Сочетания алмазов и связки, как правило, подбирают эмпирически, хотя пример систематического подхода к конструированию для конкретных условий упомянут в литературе. Размещение алмазов в сегментах регламентируют: это может быть случайное их распределение, расположение в вертикальных слоях с различными концентрациями (т. н. «сэндвич-структура»), чередование вертикальных алмазных и безалмазных слоев, упорядоченное позиционирование зерен в горизонтальных слоях. Металлическую матрицу обычно выбирают применительно к обрабатываемому материалу, как правило используя рекомендации производителя порошков связок. Иногда в связки вводят частицы функционального наполнителя: антифрикционные кусочки графита; хрупкие частицы, имитирующие в матрице поры; крупные частицы износостойких материалов, защищающие поверхность сегмента от износа.

В исследованиях показано, что любая конструкция алмаз — связка эффективна лишь для определенного диапазона условий обработки, а также для конкретных классов материалов. При этом специальные схемы рас-

положения режущих зерен, несмотря на некоторое расширение области работоспособности инструмента, не приводят к его универсальности. Невелик вклад в универсальность инструмента и от модифицирования связки наполнителем.

Фирма «Адель» занимается разработкой и изготовлением сегментного алмазного инструмента различного назначения. В сотрудничестве и под научным руководством специалистов кафедры керамики и огнеупоров РХТУ им. Д. И. Менделеева на фирме разработана специальная схема размещения алмазов в сегментах в виде изолированных друг от друга алмазных агломератов. По состоянию на сегодняшний день можно говорить о создании новой продукции — т. н. «умных» сегментов (i-segments), представляющих собой структурную комбинацию функциональных элементов. Первый по значению элемент структуры — это вышеупомянутые алмазосодержащие фрагменты. Их удерживают и разделяют безалмазные элементы (второй элемент структуры), назначением которых является удержание, разделение и своевременное обнажение режущих элементов. Третьим функциональным элементом комбинированного сегмента являются фрагменты, обеспечивающие подачу в зону резания веществ, облегчающих процесс воздействия алмазов на образец (огнеупор), например антифрикционные или химически активные компоненты. Оптимальное сочетание функциональных элементов в комбинированном «умном» сегменте позволяет значительно повысить качество инструмента, а также расширить его универсальность по диапазону условий обработки и номенклатуре обрабатываемых материалов. Разработанные инструменты применяют как для грубой обработки (резки), так и для тонкой обработки (предполировки) хрупких материалов.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ГОРНОТРАНСПОРТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© **Е. А. Волкова** (✉), **А. В. Дружинин, Е. Ю. Нагаткин, В. Н. Полузадов**

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

Огнеупорные глины, кварциты, высокоглиноземистое и магнезиальное сырье добывают преимущественно открытым способом. Доля открытых горных работ занимает более 90 % от общего объема добычи сырья для огнеупорных материалов. При этом наиболее затратной частью технологического процесса добычи полезного ископаемого открытым способом является погрузка и транспортировка. Доля транспортных расходов в себестоимости открытой добычи составляет 57–75 %. Наиболее эффективными способами снижения затрат на транспортировку являются

оптимизация плана работ, обновление парка погрузочной и транспортной техники, а также внедрение и модернизация автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами. Как правило, такие системы строятся на основе классической трехуровневой архитектуры с единым центром управления на верхнем уровне. Однако такая архитектура не учитывает ряд особенностей, таких как необходимость получения информации от пространственно-распределенных подвижных объектов. Кроме того, для принятия управляющих решений в такой системе требу-

ется полная и непротиворечивая информация о состоянии всех узлов объекта управления в оперативном режиме, что требует передачи больших объемов данных между всеми узлами системы и центром управления.

Наиболее перспективной технологией передачи данных на карьерах в настоящее время является радиосвязь стандарта MESH, основанная на беспроводной ячеистой сетевой топологии. В MESH-сетях каждый узел может принимать на себя роль коммутатора для других узлов, что обеспечивает высокую отказоустойчивость, самовосстановление и самоадаптацию сетевой структуры. Передача данных при использовании данного стандарта связи построена на принципах динамической маршрутизации. В результате этого MESH-сети обладают рядом преимуществ по сравнению с сетями, построенными на основе других топологий, например общей шины или звезды: они являются интеллектуальными, адаптивными и быстрыми в развертывании. Данная технология успешно применяется на таких карьерах, как «Нюрбинский» АК «АЛРОСА». Однако при использовании автоматизированных систем управления горнотранспортными комплексами с трехуровневой архитектурой ряд преимуществ, которые дает использование стандарта MESH для передачи данных, теряется за счет необходимости узлов передавать информацию на верхний уровень системы управления и получать от него управляющие воздействия. Решить эту проблему можно благодаря применению сетевидного подхода, на котором основаны MESH-сети, к самой архитектуре автоматизированной системы управления.

Данный подход предполагает представление узлов системы (горных машин) в роли сложносоставных интел-

лектуальных агентов, способных не только обмениваться информацией друг с другом, но и принимать на себя роль «центра управления» для принятия управляющих решений на основе базы знаний. Таким образом, значительно повышается оперативность принятия решений и снижается нагрузка на сети передачи данных. Кроме того, использование сетевидного подхода к управлению позволяет обеспечить единство архитектуры на уровнях управления и передачи данных, что в целом приведет к повышению эффективности как самой системы управления, так и объекта управления — горнотранспортного комплекса.

За счет оперативного обмена информацией между агентами и принятия решений на их стороне достигается сокращение простоев и технологических перерывов в работе горнотранспортного комплекса. По результатам моделирования можно говорить о сокращении простоев как минимум на 10 %. Помимо сокращения времени ожидания подачи автосамосвала сетевидный подход позволит сократить время подготовительных работ за счет оптимизации отработки рабочей зоны на 8–15 %, увеличить срок службы горных машин на 5–7 % за счет снижения нагрузки на агрегаты и оптимизации рабочих циклов, сократить расход энергоресурса на 2–7 %. Обмен данными между агентами позволяет также повысить точность идентификации технологических состояний объектов и, соответственно, эффективность управления. Таким образом, сетевидный подход к управлению оптимизирует параметры горнотранспортных комплексов для улучшения экономических и эксплуатационных показателей горных машин.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

КОМПОЗИТЫ С ТОНКОЙ СТРУКТУРОЙ НА ОСНОВЕ КОРУНДА И КАРБИДА КРЕМНИЯ



E-mail: kis-r@mail.ru

© К. Т. Н. Э. С. Геворкян¹, к. т. н. Д. О. Московских², М. В. Кислица¹(✉), К. С. Торосян³¹ Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков, Украина² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия³ ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия

Установлено, что наноструктурная керамика обладает уникальными свойствами и эксплуатационными характеристиками вследствие формирования принципиально иной структуры по сравнению с крупнокристаллическими аналогами. Нанометровые и субмикронные размеры структурных элементов (зерен, агрегатов) обуславливают повышенную трещиностойкость, прочность и твердость керамики, композитов и потенциально позволяют достичь параметров «керамической стали». В функциональной нанокерамике (пьезо-, сегнето-, диэлектрической, сверхпроводящей и др.) улучшаются электрофизические, магнитные и другие свойства. В этой связи весьма актуальной является задача разработки конкурентоспособных технологий изготовления изделий различного назначения из наноструктурной керамики. Важнейшей стадией технологии изготовления нанокерамики является формирование качественных прессовок (компактов) заданной формы из керамических нанопорошков. Керамические нанопорошки (часто весьма сложных составов) обладают метастабильностью структурно-фазового со-

стояния, развитой удельной поверхностью и вследствие этого высокой поверхностной активностью, склонностью к агломерированию. Пылевидные нанопорошки, как правило, характеризуются плохой формуемостью и прессуемостью из-за специфики физико-химических свойств — в частности, высокого межчастичного и пристенного трения (обусловленного высокой удельной поверхностью), агломерирования и значительного количества сорбированных примесей. Задача состоит в том, чтобы обеспечить равномерное распределение плотности таких нанопорошков в компактах даже сложной формы, сохранить наноструктуру в прессовках для формирования нанозерен в процессе спекания, т. е. создать условия для ингибирования роста зерен (предотвращения рекристаллизации) и спекания качественных нанокерамических изделий с заданными функциональными свойствами.

Важно также обеспечить химическую чистоту и требуемый фазовый состав готовых изделий. В этой связи актуально создание изделий из сухих нанопорошков, обеспечивающих равномерное распределение плотности в прессовках

сложной формы без применения каких-либо пластификаторов, являющихся потенциальными источниками примесей и дополнительной пористости в спекаемых изделиях. В прессовках минимизируются внутренние напряжения и макродефекты (расслоения, трещины и т. п.), тем самым исключаются зародыши возникновения таких макродефектов и при спекании прессовок. Эти факторы позволяют изготовить качественные керамические и композитные изделия из нанопорошков. Один из этих методов — получение изделий из нанопорошков методом прямого пропускания тока.

Для получения изделий из карбида кремния авторами данной работы спроектировано и изготовлено устрой-

ство для горячего вакуумного прессования изделий при прямом пропускании тока. Проведенные исследования показали, что метод горячего прессования прямым пропусканием тока позволяет получать высокоплотные изделия из нанопорошков оксида алюминия и карбида кремния с высокими физико-механическими показателями. Высокая скорость нагрева дает возможность сократить поток вакансий и уменьшить большие поры, а также ограничить рост зерна. Быстрое уменьшение пористости на границах зерен увеличивает мобильность на их границах, которая, в свою очередь, делает спекание тонких чистых порошков чувствительным к нагреву.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ОДНОКОВШОВЫМИ ЭКСКАВАТОРАМИ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© А. В. Дружинин (✉), Е. А. Волкова, Е. Ю. Нагаткин, В. Н. Полузадов

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

Добыча сырья для получения огнеупорных материалов в большинстве случаев происходит открытым способом с применением комбинированной схемы разработки. Автоматизированное управление горными машинами, входящими в состав горнотранспортного комплекса, может значительно снизить затраты на их эксплуатацию, а также повысить производительность всего комплекса. Важно реализовать не только эффективную систему управления горнотранспортным комплексом в целом, но и системы управления входящими в его состав горными машинами. Однако управление экскаваторами сопряжено с рядом сложностей, связанных с идентификацией технологических состояний элементов системы, а также контролем их технического состояния в режиме реального времени.

Экспакационный цикл состоит из четырех основных операций: черпания, поворота на выгрузку, выгрузки, поворота в забой. Эффективное выполнение этих операций основано на согласованном управлении механизмами напора, поворота, подъема и открывания ковша. При этом поворот на выгрузку и в забой совмещается с транспортным перемещением ковша, так как это самая затратная по времени часть рабочего цикла. При ручном управлении экскаватором эффективность выполнения им операций рабочего цикла во многом зависит от квалификации машиниста. При недостатке у машиниста соответствующего опыта эксплуатация экскаватора может быть неэффективна и даже опасна. Поэтому в настоящее время особенно актуальны системы автоматического и автоматизированного управления горными машинами, и в частности экскаваторами.

Классические системы управления построены на основе многоуровневой архитектуры, где на нижнем уровне представлены датчики, установленные на агрегаты, на среднем уровне — контроллеры, обрабатывающие данные, поступающие с датчиков, а на верхнем уровне — визуальное представление о состоянии элементов системы. Такие системы управления позволяют получать достаточно точные данные, однако задержки по времени могут быть велики. Тогда как, например, для выгрузки критичным является время выключения

электродвигателя механизма открывания ковша — задержка может вызвать порыв каната или разрушение элементов рычажной системы, расположенной на днище ковша. Ошибка или задержка в определении технологического состояния объекта может привести также к неправильному управляющему воздействию, что может повредить элементы ковша, рукоятки, стрелы или механизмов напора и подъема. Поэтому чрезвычайно важно повышать точность и скорость идентификации технологических состояний экскаватора, чего можно достичь посредством мультиагентного подхода.

Мультиагентный подход к управлению предполагает представление основных агрегатов в роли агентов — самостоятельных элементов системы управления, получающих, обрабатывающих и анализирующих данные на основе имеющейся у них базы знаний и принимающих управляющее решение в зависимости от набора их состояний. Таким образом, экскаватор может быть представлен в виде набора интеллектуальных агентов, обменивающихся данными и управляющими воздействиями, что значительно повышает скорость принятия решений по сравнению с классическими системами управления. Кроме того, в качестве интеллектуального агента экскаватор может входить в мультиагентную сеть горнотранспортного комплекса наряду с самосвалами и другой карьерной техникой. Такая структура представляет собой многомерную агентную сеть. Обмениваясь данными между собой, агенты смогут повысить точность идентификации своих технологических состояний за счет получения дополнительной информации о взаимном расположении и соответствии состояний. Например, если данные агентов-агрегатов в агенте «Экскаватор» показывают, что его технологическое состояние соответствует выгрузке, и в то же время данные агрегатов-агентов в агенте «Самосвал» показывают, что вес кузова увеличивается, а расположение самосвала соответствует месту стоянки автотранспорта для используемой схемы погрузки, то вероятность того, что агенты находятся в состояниях «Выгрузка» и «Погрузка» соответственно, повышается до 99 %, что

практически исключает возможность ошибки при идентификации состояния.

Агенты в рамках мультиагентной системы могут обмениваться любой информацией, связанной с объектом управления. Таким образом, помимо технологического состояния, определяемого на основе данных о состоянии отдельных агрегатов-агентов, можно оценивать и техническое состояние объекта, что позволит прогнозировать и предупреждать повреждения и износ деталей. С полу-

чением данных о техническом состоянии как отдельных агрегатов, так и горных машин можно оценить также состояние всего горнотранспортного комплекса в целом и разработать оптимальный план технического обслуживания и планово-предупредительных работ. Таким образом, мультиагентный подход может повысить качество управления одноковшовыми экскаваторами в частности и горнотранспортными комплексами в целом, что обеспечит повышение производительности и отказоустойчивости.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. т. н. **А. В. Заболотский**¹, к. т. н. **Л. М. Аксельрод**² (✉)

¹ ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

² ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

В настоящее время распространено изготовление крупных блоков для футеровки различных металлургических агрегатов по бетонной технологии или крупногабаритной футеровки тепловых агрегатов и ее частей в опалубке на месте. Масса бетонных блоков и изделий, включающих металлическую конструкцию и бетонную облицовку, достигает 5 т и более. Использование гидравлически твердеющих материалов при их изготовлении предполагает процесс предварительной сушки у изготовителя или на месте у потребителя. Низко- и ультранизкоцементные бетоны обладают низкой газопроницаемостью, что затрудняет процесс их сушки. Требуется жесткое соблюдение режима сушки для устранения растрескивания, разрушения и одновременно сокращения сроков сушки и разогрева футеровки. Температура, при которой может произойти разрушение нагреваемого бетона, зависит от многих факторов: исходной влажности бетона, скорости его нагрева до разрушения, химического состава, особенностей диффузии воды в бетоне и его прочностных характеристик.

Проанализированы процессы сушки и нагрева десяти различных составов бетонов, как корундошпинельного, муллитокорундового, так и основного составов, из которых изготавливали крупные изделия трех разных геометрических форм. Расчетным путем определены скорость подъема температуры и оптимальная длительность изотермической выдержки при определенных температурах для изделий различной формы. Установлено, что критическими для сохранности целостности изделия являются интервалы 180–200 °С (происходит быстрый выход паров химически не связанной воды, при этом равновесное давление водяного пара составляет 1–2 МПа, что является опасным при наличии щелевых пор) и 230–260 °С; в интервале 230–260 °С происходит интенсивное разложение гидратов при равновесном давлении водяного пара 4–5 МПа. В зависимости от геометрической формы при одном и том же вещественном составе бетона продолжительность выдержки может различаться более чем в 3 раза.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

(✉)

E-mail: sauleshka555@mail.ru

© Д. т. н. **С. Ш. Кажикенова** (✉)

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

С учетом беднеющего и комплексного по составу сырья совершенствование технологических процессов производства черных металлов невозможно на основе только анализа их материальных и тепловых балансов. Необходим дополнительный анализ с учетом энтропийно-информационных аспектов для определения баланса между неопределенностью и завершенностью технологических переделов или схемы в целом. Подобное дополнение диктуется тем, что если материальный и тепловой балансы основаны на использовании всеобщих законов сохранения массы и энергии, то последний из всеобщих законов сохранения — закон сохранения суммы информации и энтропии — до сих пор в металлургии не используется.

На основании проведенного энтропийно-информационного анализа определена более тесная корреляция практических результатов производства черных

металлов с дифференцированной моделью идеальной иерархической системы, что свидетельствует о более детальной разработке каждого передела в черной металлургии в отличие от производства цветных металлов. О более основательной проработке каждого передела в черной металлургии свидетельствует также и то, что в большинстве случаев промежуточные продукты различных переделов реализуются как самостоятельные товарные продукты между предприятиями отрасли в масштабах как одной страны, так и нескольких государств.

Основная тенденция развития процессов прямого восстановления железа из руды в наши дни определяется расширением объемов производства губчатого чистого железа и металлизованной шихты высокого качества, а также интенсификацией его использования для выплавки стали. Но сравнительная оценка на основе

энтропийно-информационных характеристик двух альтернативных процессов сталеплавильного производства показывает, что сегодня еще нет сравнимых по мощности с традиционными доменными производствами промышленной технологии и соответствующих агрегатов для активизации такого процесса, что и подтверждается большей близостью доменного производства к идеальной иерархической системе.

Для совершенствования сталеплавильного производства специалисты многих ведущих металлургических компаний мира продолжают вести разработку экологически безопасных и более дешевых технологий

выплавки стали. В последние годы в мировой сталелитейной отрасли идет активный поиск рентабельных технологий, способных заменить традиционный процесс производства стали в доменных печах и кислородных конвертерах. Но, по нашим прогнозам, доменный процесс производства стали будет все же превалировать над любыми иными процессами получения стали. Такова информационная оценка определенности реализации технологических схем, которая может быть использована для сравнения их состояния до и после усовершенствования наряду с базовой характеристикой комплексной неопределенности.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

(✉)
E-mail: info@ndtest.ru

РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОСВОЕНИЮ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Е. З. Коварская¹, д. т. н. И. Б. Московенко¹ (✉), д. т. н. А. И. Потапов²

¹ ООО «ЗВУК», Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Современный уровень технологии изготовления изделий из углеродных материалов, используемых в первую очередь в металлургии, предусматривает необходимость контроля их физико-механических свойств, осуществляемого, как правило, разрушающими методами. Образцы вырезают из изделий, отобранных из технологических партий, подлежащих контролю. Выборка в таком случае должна проводиться в соответствии с современными требованиями, предъявляемыми к статистической обработке результатов измерений. В условиях действующего производства углеродных изделий осуществление подобной репрезентативной выборки практически невозможно. Повышение надежности контроля в таких условиях производства может быть достигнуто при использовании методов неразрушающего контроля (НК), позволяющих, с одной стороны, определять физико-механические свойства реальных изделий без их разрушения, а с другой — существенно повысить надежность и производительность контроля.

В результате совместной работы Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института алюминиевой, магниевой и электродной промышленности (ВАМИ) и Всесоюзного научно-исследовательского института абразивов и шлифования (ВНИИАШ) в свое время была показана возможность и целесообразность применения акустических методов контроля, основанных на измерении частот собственных колебаний (ЧСК) изделий, для оценки физико-механических свойств подовых блоков и обожженных анодов электролизеров, используемых в производстве алюминия. В соответствии с рекомендациями ВАМИ на Новосибирском электродном заводе был освоен выпуск подовых блоков с нормированными физико-механическими свойствами в соответствии со специально разработанными ТУ 48-4804-27-91, предусматривающими маркировку на блоках результатов акустического контроля в виде так называемых звуковых индексов ЗИ. Такие блоки по запросу заводов, производящих алюминий, поставлялись по несколько повышенной цене, и результаты акустического контроля,

замаркированные на блоках, учитывались при подборе комплектов блоков, используемых для монтажа электролизеров. В дальнейшем по причинам в основном организационного характера эти работы применительно к контролю подобных углеродных изделий были практически прекращены. Однако применительно к другим видам изделий, в первую очередь различного рода абразивным инструментам, эти работы продолжались, и в 2007 г. был разработан и введен в действие ГОСТ Р 52710-2007 «Инструмент абразивный. Акустический метод определения твердости и звуковых индексов по скорости распространения акустических волн», в соответствии с которым в настоящее время производится подобный контроль на ряде предприятий – производителей и потребителей абразивной продукции. Этот стандарт может быть положен в основу нормативно-технической документации или стандарта, обеспечивающих возможность аналогичного акустического контроля углеродной продукции. За прошедшее время сменилось по крайней мере два поколения приборов типа «Звук», реализующих акустический метод контроля по частотам собственных колебаний. Выпускаемые ООО «ЗВУК» приборы «Звук-203М» и «Звук-130» прошли государственные испытания, сертифицированы, включены в Государственный реестр средств измерений, достаточно широко используются в нашей стране и поставляются на экспорт.

В настоящее время в алюминиевой промышленности вместо маркировки на блоках результатов акустического контроля реализованы несколько иные принципы комплектации. В частности, с 2014–2015 гг. на алюминиевых заводах начаты работы по комплектации подин подовыми блоками с близкими характеристиками. В качестве базовых параметров катодных блоков используют величины удельного электросопротивления (УЭС) и предела прочности при сжатии. Оценка показателей производится на основании результатов измерений на отобранных от обожженных заготовок образцах, а также по результатам измерения УЭС товарных катодных блоков. Исходя из градаций величин УЭС и механической

прочности, сформулированы требования к комплектам подовых блоков, на основании которых изготовителем формируются комплекты с близкими электрическими и прочностными свойствами, которые затем отгружаются на алюминиевые заводы для проведения капитального ремонта. Данные требования юридически закреплены, т. е. внесены в контракты на поставку продукции. При этом взамен определения механической прочности на образцах более экономично и эффективно, по нашему мнению, использовать метод, основанный на измерении ЧСК.

Результаты, накопленные в ходе испытаний и использования НК для контроля физико-механических свойств и качества, в первую очередь абразивных и огнеупорных, а также других видов изделий в условиях их производства и эксплуатации, по нашему мнению, позволяют приступить к более широкому освоению НК

углеродных изделий различных типоразмеров и назначения. Расширение областей применения НК углеродных изделий целесообразно проводить в рамках целевой научно-технической программы, специально разработанной и согласованной с изготовителями и потребителями соответствующей углеродной продукции. Специалистами кафедры приборостроения Национального минерально-сырьевого университета «Горный» и ООО «ЗВУК» разработан проект такой программы «Метрологическое обеспечение и неразрушающий контроль качества изделий из углеродных материалов» (аналогичной ранее разработанному применительно к огнеупорным изделиям проекту подобной программы), в котором приведены обоснование целесообразности постановки подобной работы и основные этапы ее выполнения.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ**ЭКСПРЕСС-МЕТОД ДЕФЕКТΟΣКОПИИ КОВШЕЙ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ И ТИГЛЕЙ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ**

(✉)
E-mail: sk@ckb-rubin.ru

© **В. И. Кугушев** (✉)
АО ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург, Россия

Предлагается метод дефектоскопии трещин в ковшах и тиглях посредством измерения частот собственных колебаний (ЧСК) изделия. Этот метод является дальнейшим развитием метода определения физико-механических характеристик материала тиглей с помощью измерения ЧСК изделия. Физическая сущность метода заключается в том, что собственные колебания (СК) возбуждаются при наличии свободной энергии, которая должна охватывать все изделие и возбуждать различные формы СК. Но если

в изделии имеются трещины, то они становятся препятствием к распространению свободной энергии по всему изделию и некоторые формы СК не возбуждаются. Предлагаемый метод фиксирует этот факт. Метод дефектоскопии позволяет провести контроль одного изделия в течение 3, максимум 15 мин в зависимости от размера изделия. Приведены результаты экспериментального исследования шести керамических тиглей объемом 20,8 л, которые подтвердили эффективность метода.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ**УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИННОВАЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В СЕРИЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**

(✉)
E-mail: kyzena@post.ru

© **Д. Т. Н. В. В. Кузин** (✉), **к. т. н. С. Ю. Фёдоров**, **к. т. н. М. Ю. Фёдоров**
ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

Изменения в серийных производственных процессах, ориентированные на повышение конкурентоспособности компании, вносят определенные трудности в ее функционирование. Очень часто эти трудности перерастают в проблемы, создающие многочисленные риски для положительного завершения реализуемых проектов. Оценить уровень их опасности специалисты компании не способны из-за отсутствия специальных знаний и методической подготовки. В работе поставлена цель — сформировать методологию управления рисками, сопровождающими процедуру внедрения инновационных керамических материалов в серийное производство (на примере керамических инструментов). Сформулированную задачу решали в рамках технической поддержки краткосрочного инвестиционного проекта, ориентированного на получение производственной компанией дополнительной нормы прибыли на 4–5 % за счет уменьшения стоимости механической обработки деталей изделия «Насос». Техническое задание на проект определяло необходимость повыше-

ния скорости резания на 156 операциях действующего производственного процесса в среднем на 80 % за счет внедрения современных режущих инструментов, оснащенных керамическими пластинами (взамен используемых твердосплавных).

На начальном этапе проекта определили потенциальные зоны рисков, среди которых выделили совокупность технологических рисков, связанных с недостаточной стабильностью эксплуатационных характеристик керамических инструментов и отсутствием специальных знаний у технического персонала компании. На основе последовательно выполненной качественной и количественной оценки этих рисков установили, что особую опасность представляют: нестабильность свойств чугуновых заготовок, надежность керамических инструментов и износенность оборудования. Разработанный план реагирования на эти риски предусматривал превентивную реакцию на каждый из этих факторов нестабильности. В отношении свойств чугуновых заготовок сформулировали дополнительные

технические требования для изготовителя отливок, а также создали систему их входного контроля. Надежность керамических инструментов обеспечили за счет выбора современных конструкций сборного инструмента, оснащенных керамическими режущими пластинами стандартизованных и специальных форм и типоразмеров. По результатам лабораторных испытаний и экспертной оценки в производственных условиях определили рациональные марки керамических режущих пластин: для чернового (в том числе с ударом), получистового точения и фрезерования чугуновых отливок — пластины из нитридной керамики; для чистовой обработки чугуновых деталей — пластины из нитридной керамики с покрытием; для получистовой обработки стальных деталей — пластины из армированной керамики; для чистового точения стальных деталей (в том числе закаленных) — пластины оксидно-карбидной керамики. Проведенное обучение технического персонала компании рациональному применению предло-

женных керамических инструментов исключило сбои производственного ритма. Внеплановый ремонт и модернизация станков, заключающиеся в повышении их жесткости и оснащении системами диагностики, обеспечили необходимые эффективные условия для эксплуатации керамических инструментов.

Последующий мониторинг операций, на которых были внедрены современные керамические инструменты, способствовал внесению оперативных корректив при возникновении нештатных ситуаций в серийном производстве, а также построению модели эксплуатации, необходимых для определения их статистического ресурса. Таким образом, разработанный и апробированный методологический подход к управлению рисками при внедрении инновационных керамических материалов в серийное производство обеспечил высокую технико-экономическую эффективность инвестиционного проекта. За счет его реализации дополнительная прибыль компании увеличилась на 5 %.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЛУЖБЫ ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. т. н. **И. В. Кушнерев**, к. т. н. **Л. М. Аксельрод** (✉)
ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

Совершенствование огнеупорной продукции для удовлетворения постоянно возрастающих потребностей потребителя требует глубокого понимания характера взаимодействия фаз, участвующих в технологических процессах. Теория физико-химического взаимодействия и практический опыт позволяют осуществлять разработки необходимой продукции. В то же время цикл от разработки до внедрения достаточно длительный, и практика применения новых материалов может отличаться от ожидаемых результатов. Кроме того, риски, связанные с прямым экспериментом в тепловом агрегате, не приветствуются потребителем. Более того, эксперимент в условиях действующего производства не всегда возможен.

В Группе Магнезит применяется термехимическое моделирование в программном пакете FactSage™ 7.0 для решения практических задач по выбору оптимальной футеровки с точки зрения термехимического взаимодействия агрессивных факторов с огнеупорным материалом, разработки новых сталеплавильных флюсов, анализа результатов эксплуатации огнеупорных материалов. В частности, расчеты показали, что изделия периклазовые, периклазошпинелидные и

хромитопериклазовые обладают потенциально более высокой устойчивостью к физико-химическому взаимодействию со шлаком ферросплавной печи по сравнению, например, с алюмохромитовым огнеупором. Данный факт объясняется более высокой стойкостью оксида магния по сравнению с оксидом алюминия к шлаку ферросплавного производства. В то же время с учетом результатов расчетов можно рекомендовать эксплуатировать печь в гарнисажном режиме, обеспечивающем защиту огнеупоров от прямого контакта со шлаком.

Установлено также влияние изменения шлакового режима на величину концентрации насыщения оксидом магния шлака установки ковш-печь на одном из металлургических предприятий. Расчетная концентрация насыщения в исследуемый период увеличилась по сравнению с более ранней практикой, что является существенным фактором, повышающим износ магнезиальной футеровки. Коррекция состава шлака, приближающая его по составу к насыщению оксидом магния, способствует снижению величины химического износа магнезиальной футеровки и повышает межремонтный ресурс сталеразливочного ковша.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

90-ЛЕТНИЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ НАУКИ: ТЕХНИЧЕСКАЯ ПЕТРОГРАФИЯ — ПЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

(✉)
E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. г.-м. н. **В. А. Перепелицын** (✉)
ФГАУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Основателем технической петрографии как новой науки был выдающийся российский ученый академик Д. С. Белянкин. В 1926 г. он впервые начал читать лекции по этой научной дисциплине для студентов технологических специальностей в нескольких ленинградских

вузах. Работая в соавторстве с профессором В. В. Лапиным и Б. В. Ивановым, Дмитрий Степанович в 1952 г. выпустил первую в мировой практике фундаментальную монографию «Петрография технического камня». Эта книга явилась обобщением обширных сведений о мине-

ральном составе, микроструктуре и главных свойствах традиционных огнеупоров, керамики, металлургических и топливных шлаков, стекла и цемента. Содержание книги, ставшей библиографической редкостью, во многом не потеряло своего научного значения и в наши дни. Ученики и соратники основоположника технической петрографии работали в тесном контакте с ним в ряде академических институтов, вузов и промышленных предприятий. В результате изучения многих искусственных разновидностей минеральных продуктов получена ценная информация, использованная для улучшения качества и совершенствования технологии производства динаса, шамота и основных огнеупоров, а также вяжущих и других материалов.

Петрографическое исследование огнеупоров на высоком научном уровне проводили в специализированных лабораториях профессор Л. И. Карякин (УкрНИИО, г. Харьков), Г. Г. Мельникова (ВИО, г. Ленинград), В. А. Перепелицын, Л. Я. Пивник (ВостИО, г. Свердловск). В отличие от всех других методов анализа минерального вещества петрографическое исследование позволяет оперативно получить наиболее полную, наглядную, универсальную информацию одновременно

как о минеральном (фазовом) составе, так и о микроструктуре. Такая универсальная информация крайне необходима для решения многих проблем производства и применения огнеупоров.

В настоящее время петрографические подразделения успешно функционируют на всех ведущих огнеупорных (Группа «Магнезит», АО БКО, ОАО «Динур») и ряде металлургических предприятий России, где они преобразованы в лаборатории материаловедения. Повышение квалификации сотрудников по прикладному огнеупорному материаловедению уже более 20 лет осуществляет ОАО «ВостИО» (г. Екатеринбург). Теоретические основы петрологического материаловедения разработаны нами ранее (1980–1990 гг.). В 1987 г. на основе многочисленных исследований огнеупоров было подготовлено и издано учебное пособие для технологических и геологических специальностей вузов «Основы технической минералогии и петрографии» (М., Недра, 255 с.). По нашему мнению, в настоящее время происходит эволюционный переход описательной технической петрографии на более высокую ступень развития — петрологическое материаловедение искусственного камня.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

РАСТВОР-РАСПЛАВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОГНЕУПОРАХ



E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. Г.-м. н. В. А. Перепелицын¹ (✉), к. т. н. А. В. Яговцев²¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия² ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск, Россия

В настоящее время в технологии огнеупоров отмечаются две взаимно противоположные тенденции: традиционная — использование высокочистых сырьевых материалов с минимальным содержанием примесей и новая — дозированное введение в шихту эффективных легкоплавких (флюсующих) добавок. В последнем случае происходит фактически искусственное «загрязнение» чистых компонентов. Однако этот парадокс вполне объясним. Теоретической основой нетрадиционной раствор-расплавной технологии (второе ее название — метод флюса) является известное научное положение о том, что существенным интенсификатором многих процессов формирования керамической структуры является жидкая фаза. Например, скорость диффузии ионов в расплаве на несколько порядков выше в сравнении с твердофазным переносом. Кроме того, синтез минералов и структур можно осуществлять при более низких температурах, что особенно актуально для снижения удельных затрат энергоресурсов.

Раствор-расплавные процессы до сих пор используют как при синтезе огнеупорных сырьевых материалов (например, при синтезе нитевидных кристаллов муллита, разработанном в ИПМ АН УССР, 1965 г.), так и в производстве традиционных огнеупоров, керамики, абразивных изделий и других разновидностей технического камня. В качестве примера можно привести классическую технологию динаса, производство которого невозможно без использования известково-силикатного или известково-железистосиликатного

(флюсующего) расплава. В противном случае не образуется главный матричный минерал — тридимит.

Сущность раствор-расплавного способа заключается в следующем. В шихту вводится строго дозированное количество легкоплавких компонентов заданного состава, которые при сравнительно низких температурах образуют расплав, выполняющий функцию растворителя тугоплавких (огнеупорных) составляющих исходной смеси. При этом происходят ускоренные процессы реакционного синтеза тугоплавких кристаллов и комбинированного спекания с активным участием жидкой фазы. Образующиеся огнеупорные кристаллы армируют стеклофазу, формируют керамическую структуру, предотвращая снижение термостойкости.

Раствор-расплавные технологии уже более 40 лет применяют при выращивании монокристаллов многих полупроводниковых, лазерных, магнитных, оптических и других материалов для современной электроники, а также синтетических ювелирных минералов (например, изумруда $3\text{BeO} \cdot (\text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, гранатов $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$, $3\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ и др.). Эти минералы, имеющие инконгруэнтный характер плавления, ранее получить из расплава было невозможно. Только метод низкотемпературного синтеза позволяет получать из раствор-расплава кристаллы при температуре на 300–400 °С ниже точки плавления.

В последнее время в ряде иностранных патентов сообщается об использовании легкоплавких добавок на основе щелочных и щелочноземельных боратов в технологии оксидноуглеродистых изделий. Анализ

содержания германского патента 3439954 (1988 г.) свидетельствует о раствор-расплавной роли добавок в формировании керамической структуры корундоуглеродистых изделий для МНЛЗ. Использовать раствор-

расплавный способ можно также для плавки огнеупорных материалов с инконгруэнтным плавлением: бонита $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$, кордиерита $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$, β -глинозема $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ и ряда других.

ЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ



E-mail: novozhilova@bk.ru

© Д. Т. Н. Т. Б. Чистякова¹, Д. Т. Н. С. А. Суворов¹, К. Т. Н. В. В. Козлов¹,
К. Т. Н. И. В. Новожилова¹ (✉), К. Т. Н. Д. В. Кузнецов², К. Т. Н. М. А. Костицын²

¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

В условиях интенсивного развития производственных технологий все более актуальной становится качественная и своевременная подготовка управленческого и производственного персонала металлургических предприятий, направленная на получение новых научных знаний в организации высокотемпературных производств на современном уровне. В настоящее время специалисты на уровне инженера-технолога, инженера-исследователя, управленческо-производственного персонала (начальники цехов) при высоком уровне подготовки в области применения в сталеплавильном производстве традиционных огнеупорных материалов слабо осведомлены об инновационных материалах и технологиях, недостаточно владеют современными информационными технологиями для оптимизации технологических параметров плавки с условием снижения расхода огнеупоров. Поэтому актуальной и экономически обоснованной является разработка гибкой, расширяемой электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС), направленной на освоение специалистами металлургических предприятий инновационных технологий и значительное расширение использования инновационных огнеупорных материалов и изделий в сталеплавильном производстве. Внедрение дистанционных образовательных технологий в ЭИОС позволяет проводить своевременное повышение квалификации и подготовку специалистов без отрыва от производства, экономить временные и финансовые затраты на обучение.

ЭИОС разработана СПбГИ(ТУ) в рамках реализации образовательной программы повышения квалификации в области технологий производства и эксплуатации инновационных огнеупорных материалов совместно с НИТУ «МИСиС» по заказу Фонда инфраструктурных и образовательных программ РОСНАНО и Северстали. Содержание обучения в ЭИОС формируется на основе модульной техно-

логии профессионального обучения и имеет возможность настраиваться на соответствующие профессиональные стандарты, должностные инструкции и трудовые функции специалистов. Таким образом, программное наполнение профессиональных модулей позволяет слушателям самостоятельно выбирать образовательную траекторию в соответствии с их профессиональными интересами и потребностями производства. В настоящее время разработанная ЭИОС включает следующие профессиональные модули: «Применение и эксплуатация огнеупоров в инновационных металлургических процессах»; «Использование технологий интеллектуального анализа производственных данных для управления качеством огнеупорной продукции в номинальном режиме производства и нештатных ситуациях», а также «Информационные технологии в контроле качества огнеупорной продукции». Следует отметить, что ЭИОС имеет адаптивную гибкую архитектуру, благодаря которой поддерживается расширение функциональности за счет разработки и подключения дополнительных образовательных модулей в области технологий производства и эксплуатации инновационных огнеупорных материалов.

Для освоения знаниевых образовательных результатов (знаний) в ЭИОС используются видео- и интерактивные лекции, вебинары и мультимедийные презентации, для освоения компетентностных результатов обучения (умений и навыков) — распределенные практико-ориентированные обучающие комплексы и виртуальные лаборатории. Конечные результаты обучения оценивают с применением контрольно-измерительных материалов, практических заданий и выпускных аттестационных работ.

Разработанная ЭИОС прошла успешную апробацию при повышении квалификации пилотной группы специалистов Северстали.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ



E-mail: davidovtrans@yandex.ru

РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ОГНЕУПОРНОГО ЛОМА

© Д. Т. Н. В. С. Шемякин¹, С. В. Скопов¹, Д. Т. Н. Ю. П. Морозов², Д. Т. Н. Е. Ф. Цыпин² (✉)

¹ ЗАО «Научно-производственная компания «Техноген», г. Екатеринбург, Россия

² ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

Возможность применения рентгенорадиометрической сепарации для обогащения техногенных отходов исследовали на пробах огнеупорного лома черной и

цветной металлургии. На опытно-промышленные испытания с Нижнетагильского металлургического комбината поступило 3,2 т огнеупорного лома, пред-

ставленного хромомagneзитовыми и шамотными изделиями. Основная масса огнеупорного лома, взятого с отвалов, была покрыта грязью, что затрудняло проведение сепарации. Лом представлял собой кусковый материал (битый кирпич) крупностью –250+50 мм.

На стадии предварительных исследований была установлена принципиальная возможность выделения из огнеупорного лома хромомagneзитовой фракции. Были выявлены алгоритм и пороговые значения разделения, установленные по характеристическим спектрам хрома. На основании предварительных исследований был определен химический состав отдельных образцов, отобранных от различных разновидностей огнеупорного лома, предложены режим и условия выделения хромомagneзитовой фракции. Выделение хромомagneзитовой фракции огнеупорного лома проводили на рентгенорадиометрическом сепараторе СРФ4-150М в одну стадию. В результате удалось выделить 459 кг (~ 14 %) хромомagneзитовой фракции, которая может быть возвращена в производство. Шамотную составляющую огнеупорного лома выделить не удалось из-за ее большой загрязненности.

Испытания по обогащению огнеупорного лома цветной металлургии проводили на пробе футеровки медно-цинкового производства Русской медной компании. Была поставлена задача — выделить методом рентгенорадиометрической сепарации наиболее ценные компоненты, которые присутствуют в огнеупорном ломе медно-цинкового производства, содержащем около 9,2 % меди. Установлено, что из ценных компонентов в представленной пробе присутствуют в виде отдельных самостоятельных кусков черновая медь, куски огнеупорного лома, обогащенные медью, цинком, а также лом изделий хромомagneзитовой футеровки.

Исходную пробу, представленную кусками крупностью от 150 до 20–30 мм, предварительно исследовали для подбора аналитических параметров рентгенорадиометрического обогащения. В результате были предложены технологическая схема проведения испытаний и условия выделения ценных компонентов. Все испытания проводили в режиме «анализа» — измерения вторичного характеристического рентгеновского

спектра каждого куска представленной пробы на рентгенорадиометрическом сепараторе СРФ4-150М.

На первых трех стадиях рентгенорадиометрической сепарации в качестве алгоритма разделения использовали спектральное отношение интенсивности вторичного характеристического излучения меди к интенсивности рассеянного излучения P_{Cu} . На первой стадии выделяется 4,2 % продукции с содержанием меди около 85 % в виде кусков черновой меди при $P_{Cu} = 6,7$ ед. На следующей стадии из оставшейся массы при $P_{Cu} = 2,4$ ед. выделяется 13,1 % медного концентрата с содержанием меди 32 %. Еще один медьсодержащий продукт в количестве 10,3 % с содержанием меди около 12 % выделяется при рентгенорадиометрической сепарации при более низком значении алгоритма — $P_{Cu} = 1,1$ ед. На четвертой стадии сепарации производится выделение цинкового концентрата с использованием в качестве алгоритма разделения спектральное отношение интенсивности вторичного характеристического излучения цинка к интенсивности рассеянного излучения P_{Zn} . Получаемый при $P_{Zn} = 1,8$ ед. цинковый концентрат при выходе 10,7 % содержит около 16 % цинка и не более 0,4 % меди. На последней стадии рентгенорадиометрической сепарации при алгоритме, определяемом как отношение интенсивности вторичного характеристического излучения хрома к интенсивности рассеянного излучения источника облучения P_{Zn} , выделяются хромомagneзитовые изделия в количестве около 14 %. Содержание меди в них менее 0,2 %. В отвальном огнеупорном ломе, выход которого достигает 47,7 %, содержание меди не превышает 0,3 %.

В результате проведенных испытаний было установлено, что из футеровки медно-цинкового производства методом рентгенорадиометрической сепарации в объединенный продукт с повышенным содержанием меди (черновая медь, медный концентрат и шлак, обогащенный медью), выход которого составляет 27,6 %, извлекается 97,7 % меди при среднем содержании меди в этом продукте 32,6 %. Кроме объединенного медного продукта при рентгенорадиометрическом обогащении выделяются еще два полезных продукта — цинковый концентрат ($Zn \sim 16\%$) и хромомagneзитовые изделия, которые могут быть направлены на дальнейшую переработку.

ЖАРОВЫЙ ВЕНТИЛЯТОР КОМПАНИИ «ИНТА-СТРОЙ». ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

(✉)

E-mail: Shestakova@inta.ru

© К. Т. Н. И. Ф. Шлегель (✉)

ООО «ИНТА-СТРОЙ» г. Омск, Россия

Обжиг большинства видов строительной керамики производят в туннельных печах. Недостатком этих печей является расслоение теплоносителя по высоте печного канала. Теплоноситель с более высокой температурой поднимается вверх, а более холодный стремится вниз. Одним из способов устранения этого недостатка является применение лопастных вентиляторов с удлиненными осями, что требует наличия в своде печи отверстий с диаметром большим, чем окружность лопастей, и их теплоизоляции, а также наличия подсводового пространства, что снижает общую эффективность печи. Другой способ

рекомендует установку жаровых вентиляторов с водяным охлаждением. Однако стоимость таких вентиляторов заставляет задуматься о целесообразности их применения.

Компанией «ИНТА-СТРОЙ» в 2013 г. разработан и введен в эксплуатацию жаровый вентилятор, способный работать при 650–850 °С в постоянном режиме без принудительного водяного охлаждения. Во время проведения контрольных замеров температура подшипникового узла не превышала 35 °С при температуре подаваемого воздуха 650–710 °С. Размеры жарового вентилятора сопоставимы с размерами вентиляторов

общего промышленного назначения, что значительно упрощает его монтаж и эксплуатацию. Отсутствие дополнительных систем охлаждения существенно сокращает эксплуатационные расходы.

В настоящее время получен патент и разработан модельный ряд жаровых вентиляторов для различных условий эксплуатации и объемов перекачиваемого го-

рячего воздуха. Проработан вопрос изготовления вентиляторов из жаропрочной стали с температурой применения до 1050 °С, что позволяет использовать их не только в керамической, но и в металлургической промышленности. Опыт работы и проведенные испытания доказали исключительную надежность вентилятора и его неприхотливость в обслуживании.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БелАЗ



E-mail: shvt1@tut.by

© В. Т. Шмурадко (✉), д. т. н. Ф. И. Пантелеенко, д. т. н. О. П. Реут, М. О. Стёпки

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Принципы создания эффективных конкурентоспособных конструктивных керамических изделий электротехнического назначения, в частности для электротрансмиссий карьерных самосвалов (к/с) БелАЗ, способных работать одновременно в режиме электрических, термических и вибромеханических нагрузок, требуют комплексного подхода и анализа процессов и механизмов превращения иерархии текущих структурно-фазовых уровней и свойств исходных порошков в материалы с комплексным набором структур, способных практически одновременно рассеивать термомеханические напряжения и выдерживать электрические. Исследование и разработку таких керамических материалов проводили по программно-методической формуле фазовый состав – структурно-фазовая иерархия – свойство – электротехнический термостойкий вибропрочный материал – изделие – устройство. В качестве исходных материалов применяли порошки Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , ZrO_2 и синтезируемые на их основе твердые растворы.

В исследовании использованы методы современной оптической и рентгеновской спектроскопии, дифрактометрии, ИК-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния, а также реализована информативная рентабельность физических методов химического контроля при фазовых превращениях. При контроле и анализе текущих фазовых превращений в оксидных системах, при синтезе кордиерита, муллита, алюмомагнезиальной шпинели и циркона проводили качественный и количественный анализы химического состава основы и примесей; фазового состава; типа твердых растворов, их структурного распределения; уровня и характера дефектности. С позиций микроанализа и химической термодинамики исследованы механизмы текущего перераспределения химических элементов в существующих и новых фазах. Определенный интерес для дальнейшего развития методов контроля термостойких, электротехнических и вибропрочных структурированных соединений в конструкционных материалах представляют исследования электронной структуры с помощью рентгеновской и рамановской спектроскопии.

Базовым носителем свойств разработанного электротехнического, термостойкого и вибропрочного материала является матричная структура кордиерита, а легирующие фазы — химические элементы, химические соединения и твердые растворы из Al_2O_3 , $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, $ZrSiO_4$, $MgAl_2O_4$ модифицируют структуру кордиеритовой

матрицы и ее свойства, управляют количественными характеристиками. Составы разработанного электротехнического материала включают фазовые комбинации кордиерита – муллита – корунда – алюмомагнезиальной шпинели – циркона – бадделеита, различные сочетания которых позволяют управлять приоритетными уровнями достигаемых свойств. Проведенный анализ физико-механических свойств разработанных электро-термопрочных материалов в режиме эксплуатации электроизоляционной конструкции в электротрансмиссии к/с БелАЗ (дождь – снег, +50 ÷ -50 °С, периодический нагрев фехралевого резистора в контакте с керамикой до 1200 °С, механическая вибрация, периодические токовые нагрузки в фехрале и на изоляторе) позволил оптимизировать фазовый состав созданных композиций на уровне кордиерита – муллита – корунда – бадделеита.

Основными технологическими этапами структурной инженерии в создании электротехнических изделий с требуемыми термостойкостью и вибропрочностью являются стадии физико-химического структурирования: $MgO-Al_2O_3-SiO_2 \rightarrow 2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$, $Al_2O_3-MgO \rightarrow MgAl_2O_4$, $SiO_2-ZrO_2 \rightarrow SiZrO_4$, $Al_2O_3-SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Причем процесс структурирования начинается при сухом и жидкостном (трибохимическом – механохимическом) помоле соответствующих оксидных композиций; затем при получении активированных высококонцентрированных керамических вязущих суспензий (АВКВС), литьевого шликера, шликерных отливок — гранулированных порошковых структур; при прессовании, тепловой обработке и спекании. Каждый этап технологического структурирования исходных оксидных систем сопровождался текущим анализом структурно-фазовых превращений в стехиометрии кордиерита, муллита, алюмомагнезиальной шпинели, циркона и композиций, синтезированных на их основе.

Результатом структурной инженерии в технологии получения термостойких виброустойчивых конструктивных электротехнических изделий является: синтез кордиерита; упрочнение кордиерита структурированными соединениями — корундом, муллитом, шпинелью, цирконом, бадделеитом; расширение температурного диапазона (1360–1420 °С) спекаемости кордиеритовой матрицы, модифицированной другими фазами; создание иерархии диссипативных элементов структур (ДЭС) на уровне разработанных композиций, способных практически одновременно рассеивать структурные

термонапряжения и демпфировать вибромеханические, возникающие на атомарно-ионно-электронном – молекулярно-кристаллическом – кристаллохимическом и микро-, мезо- и макроуровнях. При определенных внешних условиях (p, T, U, I) активизация механизмов ДЭС тесно связана с термически обратимыми химическими реакциями, протекающими в кордиеритовой матрице, причем их активность регламентируется корундо-муллито-цирконо-шпинельными структурами как на кристаллохимических, так и на микро-, макроуровнях.

Сформулирована концепция создания импортозамещающих электроизоляторов для электротрансмиссий с заданным набором электротехнических, термостойких и вибропрочных характеристик. Концепция представляет программный документ, состоящий из материаловедческо-методологической многоступенчатой формулы: фазовый состав – многоуровневая иерархия электроизоляционных, термостойких и ударопрочных структур – набор свойств – методы, процессы и

технология синтеза таких структур с ДЭС – режимы эксплуатации – конструкция изделия – эксплуатационная прочность – надежность – долговечность – конкурентная способность. Разработанные электроизоляционные термостойкие материалы и технологии получения изделий различного электротехнического назначения, и в частности электроизоляторов для электротрансмиссий тормозных установок УВТР 2х750 к/с БелАЗ, позволили сформировать научно-практическую базу для выпуска отечественной электротехнической продукции, создали условия для импортозамещения и организации экспорта. При этом достигнуты следующие свойства материала: плотность 2,33–3,15 г/см³, предел прочности при сжатии 321–580 МПа, при изгибе 100–133 МПа, термостойкость 1000 °С – вода более 140 теплосмен. Данное исследование представляет определенный научно-практический интерес для авто-, авиа- и ракетостроения при разработке изоляторов свечей зажигания нового поколения.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕРЦИНИТА

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. т. н. **Л. М. Аксельрод**¹(✉), К. т. н. **М. И. Назмиев**², **А. В. Ильянкин**², **А. А. Семенцов**², **А. А. Городов**²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группа Магнезит постоянно разрабатывает новую продукцию, в частности для футеровки различных зон вращающихся печей производства цементного клинкера. Для организации производства периклазо-герцинитовых огнеупоров, обладающих высокой эластичностью и набирающих обмазку при температуре эксплуатации, синтезирован герцинит (алюможелезистая шпинель FeAl_2O_4). Существуют известные трудности синтеза герцинита, связанные с необходимостью сохранить железо в двухвалентном состоянии (FeO) до завершения реакции с Al_2O_3 . Поэтому от попыток синтезировать герцинит в промышленных туннельных печах спеканием перешли к синтезу в процессе плавки. Для синтеза использовали чистые материалы, а также ряд функциональных добавок (TiO_2 , MgO). В процессе плавки в промышленной рудно-термической печи получена алюможелезистая шпинель. При этом была решена проблема, связанная с возможным изменением валентности железа в процессе плавки. В готовом продукте содержалось более 98 % герцинита, в примесях

— незначительное количество силикатов и игольчатых кристаллов Al_2O_3 . Кажущаяся плотность плавленого продукта более 4 г/см³.

Контроль качества продукта осуществляли с применением рентгенофазового анализа на дифрактометре X'TRA фирмы ARL. Результаты исследований подтвердили, что минерально-фазовый состав материала представлен именно герцинитом. Параметры полученного продукта близки к теоретическим параметрам кристаллической решетки. Исследование микроструктуры герцинита с использованием электронного микроскопа «Tescan» с возможностью микрозондового анализа подтвердило вхождение функциональных добавок в твердый раствор, которым, собственно, и является полученная плавленная алюможелезистая шпинель. Организация производства плавленого герцинита открывает возможность синтеза в Группе Магнезит периклазогерцинитовых и периклазоплеонастовых огнеупорных изделий для футеровки зон вращающихся печей цементной промышленности, работающих под обмазкой.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

МНОГОПОДОВАЯ ПЕЧЬ ГРУППЫ МАГНЕЗИТ ДЛЯ ТЕРМООБОГАЩЕНИЯ МАГНЕЗИТА

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. т. н. **Л. М. Аксельрод**¹(✉), **М. Ю. Турчин**², К. т. н. **М. И. Назмиев**², **Е. В. Мануйлова**²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Мировой спрос металлургической отрасли на высококачественные огнеупоры способствует развитию технологий с использованием чистых исходных сырьевых материалов, что ориентирует огнеупорные предприятия в условиях истощения сырьевых запасов на поиски эконо-

мически обоснованных технологий обогащения. Группа Магнезит ввела в эксплуатацию многоподовую печь — уникальный тепловой агрегат, сконструированный и построенный специально для декарбонизации магнезитовой руды. Многоподовая печь, являющаяся эффективной

альтернативой применяемым в настоящее время вращающимся печам, обладает рядом главных преимуществ:

- возможностью вести обжиг карбонатной породы таким образом, чтобы кальцинированный магнезит имел стабильное качество за счет получения продукта в узком диапазоне показателя потери массы при прокаливании;

- возможностью полного возврата в печь уловленного в процессе обжига каустического магнезита. Тепловой агрегат оснащен мощным комплексом газоочистных устройств. При этом не только экономится качественное сырье через возврат в производство каустического магнезита, но и полностью исключается выброс пыли в атмосферу;

- сниженным удельным расходом топлива на тонну целевого продукта за счет рационального использования системы горелочных устройств, оптимально расположенных на подах печи;

- уменьшенным расходным коэффициентом сырья за счет полного возврата в печь уловленного каустического магнезита;

- современной автоматизированной системой управления технологическим процессом.

Специалистами Группы Магнезит отработана технология термообогащения периклаза в процессе декарбонизации магнезита в многоподовой печи. Речь идет о саткинском магнезите, а также о магнезите с Нижне-Приангарской производственной площадки (Киргитейское месторождение Группы Магнезит), который отличается от саткинского более высоким содержанием MgO. Получаемый кальцинированный магнезит различного фиксированного качества используется для про-

изводства плотноспеченных клинкеров с содержанием MgO от 94 до 97 %.

Каустизированный магнезит, получаемый в многоподовой печи, качественно отличается от аналогичного материала, получаемого во вращающейся печи. Первый представляет собой однородный по микроструктуре продукт, в котором отсутствуют частицы не полностью декарбонизированного магнезита и частицы спеченного периклаза; этим и обусловлено стабильное качество каустизированного магнезита, получаемого в многоподовой печи. Соответственно, такой материал более активен к спеканию. Благодаря возможности регулирования температуры на подах печи в узких пределах становится реальным получение в промышленных масштабах продукта с различной активностью. Это необходимо при реализации конкретных технологий с использованием этого продукта.

Технологическая эффективность ведения процесса термообогащения в новом тепловом агрегате открывает перспективы вовлечения в технологию менее качественных сортов магнезита за счет разделения продуктов в процессе термообогащения с извлечением каустизированного магнезита заданного качества, пригодного для производства востребованных плотноспеченных клинкеров. Поэтому последующие работы специалистов направлены на отработку технологий кальцинации более бедных пород сырья, в том числе хвостов, образующихся при подготовке магнезитовой массы к тяжелосреднему обогащению. Все эти аспекты положительно сказываются на технико-экономических показателях эксплуатации многоподовой печи на Саткинской производственной площадке Группы Магнезит.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

ОБОГАЩЕНИЕ МАГНЕЗИТА САТКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ РЕНТГЕНОТРАНСМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

© К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹(✉), М. Ю. Турчин², К. Т. Н. М. И. Назмиев², Е. В. Мануйлова², И. И. Галиханов²

¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

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

Для получения качественного магнезита в процессе сухого обогащения различных типов магнезитсодержащих руд проведены опытно-промышленные испытания по обогащению магнезитовых руд Саткинского месторождения рентгеновско-трансмиссионным методом. В качестве технологического оборудования для разделения магнезита и пустой породы апробирован сепаратор XSS (T) 100 фирмы «Steinert Elektromagnetbau GmbH», Германия, запуск и отладку оборудования выполняли представители научно-производственного предприятия «ГеоТест-Сервис», Москва. Рентгено-трансмиссионные сепараторы для разделения минерального сырья по принципу действия аналогичны сканирующим системам, применяемым службами безопасности при досмотре багажа в аэропортах. Метод является проникающим и позволяет определять куски со скрытой минерализацией. В основе действия рентгеновско-трансмиссионного метода лежит неравномерность ослабления (поглощения) рентгеновского излучения при прохождении его через объекты (куски руды) с различными атомными показателями.

В целом процесс рентгеновско-трансмиссионного обогащения выглядит следующим образом: исходный материал фракции 150–8 мм с помощью дозирующего устройства попадает на вибропитатель, который равномерно размещает материал в монослой на конвейерной ленте. Далее куски руды и пустой породы поступают в сортировочную машину, конвейер перемещается со скоростью до 2,75 м/с. В процессе падения сырья на полотно конвейера куски руды размещаются с промежутками друг от друга и далее проходят через систему рентгеновского облучения и датчик сканирования прошедших через куски руды рентгеновских лучей. После получения данных о каждом куске на основании установленного порога система принимает решение об отсечке куска или его пропуске. Система отсечки и разделения работает на сжатом воздухе, от компрессора. При сепарации получают два продукта: один продукт движется по траектории, заданной конвейером, а второй — по измененной траектории, заданной воздушным потоком от форсунок; потоки разделяет регулируемое шиберное устройство.

Входными условиями испытаний являлись получение в концентрате магнезитового продукта (SiO_2 не более 1,1 % и CaO не более 2,1 %) при содержании кондиционного магнезита в хвостах не более 5 %. Весовой выход концентрата и хвостов сырья определяли на основании данных конвейерных весов. Оптимальными параметрами обогащения являлись те, при которых выход полезного продукта (для конкретного случая) составлял бы не менее 50 %. Следует отметить, что в руде, подаваемой на обогащение, содержание примесных оксидов значительно колебалось, и в отдельных случаях рудная масса представляла собой некондиционный магнезит (содержание SiO_2 достигало около 8,3 %, CaO около 8,8 %).

Получены, как и планировалось, два продукта: концентрат магнезита и хвосты обогащения. С ленточного конвейера с хвостами обогащения с помощью специально смонтированного пробоотборника отбирали материал для определения содержания магнезита. Результат подтвердил эффективность технологии: в хвостах обнаружено присутствие до 5 % магнезита. При обогащении

магнезитовой массы среднего качества фракции 150–60 мм на сепараторе XSS (T) 100 получен концентрат, соответствующий магнезиту марки МИ, пригодному для изготовления изделий; выход продукта 83–86 % ($\text{SiO}_2 \sim 0,98$ %, $\text{CaO} \sim 1,22$ %). При тяжелосреднем обогащении магнезитовой массы аналогичного качества выход концентрата составил 61–62 % ($\text{SiO}_2 \sim 1,08$ %, $\text{CaO} \sim 1,29$ %). При обогащении некондиционного магнезита фракции 150–60 и 60–8 мм получен концентрат, соответствующий магнезиту марки МИ; выход концентрата составил 75–80 % ($\text{SiO}_2 \sim 0,62$ %, $\text{CaO} \sim 1,98$ %) для фракции 150–60 мм и 63–74 % ($\text{SiO}_2 \sim 0,84$ %, $\text{CaO} \sim 1,68$ %) для фракции 60–8 мм.

В ходе проведенных опытно-промышленных испытаний магнезитовых руд Саткинского месторождения на рентгенотрансмиссионном сепараторе XSS (T) 100 при сухом способе обогащения получены положительные результаты. Из сырья различного качества был получен магнезит (SiO_2 не более 1,1 %, CaO не более 2,1 %), соответствующий требованиям для производства рядовых марок изделий

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

НОВЫЕ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИЕ ФЛЮСЫ, РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ ГРУППОЙ МАГНЕЗИТ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), М. Ю. Турчин², к. т. н. М. И. Назмиев², О. В. Симакова²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Более десяти лет Группа Магнезит производит магнезиальные и магнезиальноизвестковые флюсы, активно используемые в металлургии для корректировки состава шлаковых расплавов. Технология получения флюсов заключается в обжиге сырьевых материалов сухим способом во вращающейся печи. Основным компонентом в шихте является магнезиальное сырье.

Специалистами Группы Магнезит совместно с металлургами непрерывно ведутся работы по повышению качества огнеупорных флюсов. Ассортимент обожженных флюсов, производимых Группой Магнезит, расширяется. Особенность одного из новых флюсов в том, что его состав дополнительно содержит оксид алюминия. При обжиге такого материала образуются легкоплавкие соединения, которые в процессе термического гранулирования формируют прочную оболочку за счет образования пленок браунмиллерита ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Пленки блокируют свободный оксид кальция, находящийся

в центре гранулы. Присутствие армирующих пленок браунмиллерита обеспечивает защиту гранул флюса от влаги, повышая тем самым гидратационную устойчивость готового продукта и, соответственно, сроки его хранения.

Главное требование к флюсам — быстрое растворение в металлургических шлаках и модифицирование их до требуемого состава. За счет образования браунмиллерита компоненты такого флюса растворяются раньше, чем обычный флюс, так как температура его плавления (образования) не выше 1395 °С. Это повышает эффективность его применения и ускоряет процесс модификации расплава шлака оксидом магния. Еще один положительный эффект добавки алюмосодержащего материала в исходную шихту разрабатываемого флюса — значительное сокращение доли мелких зерен, что будет способствовать предотвращению пылевыделения при его применении в металлургическом производстве.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

МАГНЕЗИАЛЬНО-ФОСФАТНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ

(✉)

E-mail: kir77766617@yandex.ru

© К. Т. н. К. Г. Земляной (✉), Ю. А. Бороздина

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

В настоящее время основным видом вяжущего для неформованных материалов, предназначенных для эксплуатации в условиях повышенных и высоких температур, являются кальциевые цементы — портландцемент, глиноземистый, высокоглиноземистый. Это обусловлено как технологическими, так и экономическими причинами, важнейшими из которых являются срок схватывания и высокая прочность, а также доступность и относительно-

но низкая стоимость. Альтернативными видами вяжущих являются фосфатные, силикатные, магнезиальные и органические. Каждая из указанных групп вяжущих обладает своими недостатками, снижающими их популярность. Для фосфатных вяжущих главный недостаток — необходимость термообработки для достижения начальной механической прочности и водостойкости, для силикатных вяжущих — наличие значительного количества щелочей

и, как следствие, невысокие огневые свойства материалов, для магнезиальных (сульфатно-хлоридных) вяжущих — ограниченная доступность магнезиального цемента и температурный интервал разупрочнения 450–900 °С, связанный с разложением гидратных соединений.

Между тем планомерное повышение стоимости глиноземистых цементов, как отечественных, так и импортных, побуждает искать альтернативные связующие с аналогичным набором свойств. Одним из путей решения этой задачи могут служить комплексные магнезиально-фосфатные вяжущие. Магнезиальный цемент (оксид магния + хлорид / сульфат магния) хорошо твердеет при нормальных условиях с образованием прочного цементного камня, а фосфаты показывают высокие прочностные свойства, в том числе отсутствие разупрочнения при нагревании выше 350 °С.

Широкому распространению магнезиального вяжущего мешает низкая доступность активного оксида магния. В России имеется несколько производителей оксида магния: комбинат «Магнезит», который постепенно сокращает объемы поставляемого каустического маг-

незита в связи с изменением технологии производства спеченных порошков, Кульдурский бруситовый рудник, поставляющий кристаллический брусит, требующий дополнительной термообработки, и предприятие «Каустик» (г. Волгоград), производящее небольшое количество оксида магния из природных бишофитов. Импорт дисперсного оксида магния в виде жженой магнезии осуществляется из Мексики, Израиля, КНР и других стран и составляет до 60 % рынка.

В настоящее время эта проблема решается разработкой экономически эффективной технологии получения гидрокарбоната, оксида и сульфата магния из природных и/или техногенных магнийсодержащих материалов методом гидрохимического обогащения (пат. 2519945, пат. 2535690). Из полученного оксида магния (≥ 95 мас. % MgO) и сульфата магния (≥ 98 мас. % $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) производят магнезиальное вяжущее с 1-сут прочностью 5–7 МПа, 28-сут до 30 МПа. Введение фосфатных солей позволяет, с одной стороны, обеспечить водостойкость магнезиального вяжущего, с другой — ликвидировать разупрочнение комплексного вяжущего при нагревании выше 450 °С.

СЫРЬЕВЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОГНЕУПОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА РОССИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ РЕШЕНИЯ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(✉)

E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. Г.-М. Н. **В. А. Перепелицын** (✉), к. т. н. **А. В. Яговцев**
ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск, Россия

Современные высокоизносоустойчивые огнеупоры являются преимущественно многокомпонентными органо-минеральными композитами, полиминеральными спеченными материалами и плавнелитыми изделиями. В настоящее время отечественная и зарубежная промышленность использует для производства огнеупоров более 150 различных сырьевых материалов, в том числе более 100 веществ неорганического состава. Вещественный состав минерального сырья представлен соединениями различных химических классов: оксидами, силикатами, элементами, карбидами, нитридами, фосфатами, карбонатами и др. В зависимости от происхождения (генезиса) все разновидности сырья можно объединить в три группы: природное, синтезированное, техногенное. Наиболее высокое качество имеет синтезированное минеральное сырье, особенно получаемое плавлением.

Теорией и практикой производства и применения огнеупорных материалов в различных эксплуатационных средах установлено, что относительная износоустойчивость огнеупоров при службе в идентичных условиях определяется в основном их химико-минеральным составом. Для прогнозирования высокотемпературной стойкости ранее нами предложен обобщенный количественный критерий высокотемпературной устойчивости любого минерала — термоэнергоплотность (ТЭП), численно равная произведению температуры плавления T на энергоплотность E : $\text{ТЭП} = T \cdot E$. Энергоплотность — отношение энергии Гиббса (для соединений) ΔG_f° или энергии атомизации (для элементов и бескислородных веществ) к их молярному объему V : $E = \Delta G_f^\circ / V$, кДж/см³. ТЭП имеет размерность град·кДж/см³. Среди

всех доступных наиболее тугоплавких минералов ТЭП резко снижается в ряду: графит, карбид кремния, бадделит, периклаз, корунд, шпинель, бонит $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$, известь, муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, кварц. Установленный ряд пяти наиболее износоустойчивых минералов включает графит, карбид кремния, диоксид циркония, периклаз, корунд, среди которых только графит и бадделит (моноклинный ZrO_2) образуют промышленные месторождения (последний только в трех странах — России, ЮАР и Бразилии).

В настоящее время резко обострились проблемы обеспечения огнеупорного производства высококачественным минеральным сырьем, в частности графитом, карбидом кремния, бадделитом, периклазом, маложелезистым бокситом и корундом. Ниже предлагаются главные направления решения проблемы дефицита ценного многофункционального (не только высокоогнеупорного) стратегического минерального сырья.

В Свердловской обл. разведано крупное Мурзинское месторождение чешуйчатого кристаллического графита, являющегося одной из важнейших сырьевых баз этого минерала в России. Подсчитанные и утвержденные ГКЗ СССР запасы графитовой руды составляют около 10,5 млн т (15 % от общего баланса РФ). Месторождение пока не эксплуатируется.

Дефицит карбида кремния, который выпускает только единственный отечественный производитель — ОАО «Волжский абразивный завод», может быть восполнен получением его на одном из крупных предприятий, имеющих собственную минерально-сырьевую базу, а именно качественное кремнеземи-

стое сырье (кварц, кварцит или кварцевый песок). Таким предприятием является ОАО «Первоуральский диносовый завод». Рядом с заводом имеется кондиционное сырье: сравнительно чистый кварцит месторождения Гора Караульная и жильный кварц Гора Хрустальная.

По данным института ВИМС, более 90 % бадделеитового концентрата, получаемого при обогащении железной руды на Ковдорском ГОКе, экспортируется за границу. Главным минеральным сырьем для производства цирконийсодержащих материалов для предприятий огнеупорной промышленности и Атомпрома является минерал циркон $ZrSiO_4$ (ZrO_2 67,1 %, SiO_2 32,9 %). В большинстве стран мира, в том числе в России, чистый диоксид циркония получают путем сложной химико-термической переработки цирконовых концентратов. По количеству балансовых запасов циркониевых руд Россия занимает третье место в мире после Австралии и ЮАР. В настоящее время страна импортирует до 30 тыс. т в год цирконового концентрата преимущественно из Украины. На территории РФ имеется 13 месторождений циркония, но эксплуатируется только одно — Ковдорское. По данным ВИМС-Са, наибольший интерес для промышленной добычи представляют месторождения циркона, находящиеся в Нижегородской обл. (Лукояновское) и Томской обл. (Туганское) с содержанием $ZrSiO_4$ 23 и 10,2 кг/м³ соответственно.

В связи с новой геополитической ситуацией в России появилась возможность получения чистого MgO из рапы Сиваша и группы озер, расположенных в северной части Крыма. В этих озерах концентрация солей магния $MgCl_2$ и $MgSO_4$ в несколько раз больше, чем в океанической воде. Ряд стран, не имеющих достаточных запасов магнезита, получают MgO из морской воды (Япония, США, Великобритания, Нидерланды и др.). Кроме высококонцентрированных рассолов Крыма в Волгоградской обл. разведаны подземные растворы бишофита $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, которые также являются потенциальным сырьем для получения магнезии.

В России отсутствуют промышленные месторождения маложелезистых бокситов с содержанием Al_2O_3 более 80 %, но имеются многочисленные месторождения кианита $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ (Al_2O_3 63,1 %, SiO_2 36,9 %). По запасам кианита Россия занимает первое место в мире. Проблема дефицита плавленного корунда может быть решена путем восстановительной плавки кианитового концентрата. Плавленный корунд можно получать также при восстановительной плавке огнеупорных глин и каолинов, однако эта операция требует предварительной агломерации гидроалюмосиликатного сырья.

Для импортозамещения ведущие производители огнеупорной продукции должны коллективными усилиями развивать отечественную минерально-сырьевую базу для производства износоустойчивых огнеупоров нового поколения.

ПОЛУЧЕНИЕ ОЖЕЛЕЗНЕННОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО ФЛЮСА И ПЕРВОРОДНОГО ЖЕЛЕЗА ПУТЕМ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КУСКОВОЙ СИДЕРИТОВОЙ РУДЫ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(✉)

E-mail: salihov@nxt.ru

© В. Е. Рошин, С. П. Салихов (✉), А. В. Рошин, С. А. Брындин

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

Для повышения стойкости футеровки сталеплавильных агрегатов за счет увеличения содержания оксида магния в шлаках разработали и специально изготавливают магнезиальные флюсы. Годовое потребление магнезиальных флюсов в России превышает 300 тыс. т. Флюсы получают спеканием (известково-магнезиальный флюс — ИМФ), обжигом (флюс ожеженный магнезиальный — ФОМ), брикетированием (магнезиально-глиноземистый флюс — МГФ) или грануляцией (самораспадающиеся магнезиальные гранулы — СМГ) магнезита, каустического магнезита или доломита. Для ускорения процесса растворения во флюсы добавляют углеродсодержащие добавки или железосодержащие материалы — руду, окалину, агломерат (ИМФ, ФОМ).

В качестве магнезиального материала в сталеплавильном производстве может быть использован продукт металлизации кусковой сидеритовой руды Бакальского месторождения. Получаемый при селективном восстановлении железа в сидероплезите металло-оксидный композиционный материал содержит металлическое железо (60–85 %), оксид магния (15–25 %), оксиды марганца (3–6 %), а также в небольшом количестве оксиды железа, кремния и алюминия. Металлическая и оксидная фазы представлены

смесью весьма мелких (~1 мкм) плотноупакованных частиц. Механическое разделение такого материала на железо и оксидсодержащие части практически невозможно, а вследствие высокой температуры плавления оксидной части невозможно и растворение такого композита в перегретом металлическом расплаве. Однако продукты селективного восстановления можно и не разделять, поскольку и восстановленное железо, и остаточные оксиды представляют собой ценные компоненты шихты сталеплавильного процесса.

При этом для селективного восстановления железа не требуются тонкое измельчение руды и изготовление рудно-угольных окатышей или брикетов. Селективное восстановление успешно реализуется в кусочках руды размерами 10–20 мм. Поэтому для изготовления можно использовать рудную мелочь, образующуюся при грохочении сидеритовой руды, селективное восстановление производить на уже хорошо зарекомендовавших себя установках обжига материалов с использованием газообразного и низкокачественного твердого топлива.

По результатам исследования процессов селективного восстановления железа в сидероплезите, свойств получаемого при этом продукта восстановления и его поведения в сталеплавильной ванне разработаны

металлизированный флюсующий шихтовый материал, безотходный способ его получения и технологическое оборудование для производства. Безотходная и рациональная технология переработки сидеритовой руды без глубокой подготовки рудного сырья, исполь-

зования кокса, производства агломерата, окатышей или брикетов позволяет получать чистое первородное железо и оксид магния в уже разработанных, изготавливаемых и используемых в промышленных масштабах агрегатах.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(✉)

E-mail: sgd.ceram@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОБАВКИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ДИСТЕН-СИЛЛИМАНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА В ТЕХНОЛОГИИ НЕФОРМОВАННЫХ КАРБИДКРЕМНИЕВЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ПЛАВКИ МЕДИ

© Д. Т. Н. Г. Д. Семченко (✉), К. Т. Н. Д. А. Бражник, М. А. Панасенко, К. Т. Н. Л. А. Анголенко, А. С. Катюха, К. П. Вернигора

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

Карбид кремния входит в состав неформованных огнеупоров системы $Al_2O_3-SiC-SiO_2$. В последнее время материалы этой системы используют для футеровки агрегатов для плавки меди, но основу этих материалов составляет карбид кремния, а Al_2O_3 и SiO_2 в малых количествах входят в состав спекающих добавок и связующих. Среди спекающих алюмосодержащих добавок можно использовать технический глинозем, корунд, электрокорунд, гидрат глинозема, а также добавки силлиманитовой группы с общей формулой $Al_2O_3 \cdot SiO_2$.

Из дистен-силлиманитового концентрата (ДСК) фракции мельче 1 мм (ТУ У 14-10-1214, добывается в Украине) получают зернистый и порошкообразный силлиманит, который применяют для производства огнеупоров, стекла и керамики, муллита, паст и покрытий для литейных форм, силумина. Авторы данной работы предложили использовать модифицированный ДСК в качестве спекающей алюмосодержащей добавки при изготовлении неформованного карбидкремниевого огнеупора. В соответствии с содержанием Al_2O_3 (57, 54 и 48 %) выпускают три марки силлиманита. Массовая доля примесей Fe_2O_3 , CaO, MgO и TiO_2 во всех марках силлиманита одинакова и составляет соответственно 0,8, 0,2, 0,4 и 2,0 % (2,5 % в силлиманите с 57 % Al_2O_3). Влажность порошков не более 0,25 %. Химический состав ДСК, мас. %: Al_2O_3 58,5, Fe_2O_3 0,53, TiO_2 1,4, CaO 0,10, MgO 0,12. Влажность 0,03 %. Минеральный состав пробы, мас. %: дистен (кианит) 34,315, силлиманит 62,36, турмалин 1,716, ставролит 0,273, циркон 0,491, рутил 0,218, андалузит 0,955, лейкоксен 0,218, дюмортьерит 0,218, кварц 0,055, шпинель 0,054, группа эпидота 0,055. Результаты рентгенофазового анализа показали, что ДСК (ТУ У 14-10-1214) разных партий между собой практически не различается: все рефлексы совпадают, т. е. концентрат имеет постоянный фазовый состав.

Исследованы физико-химические процессы, протекающие при нагревании исходного ДСК, а также зернистого и порошкообразного силлиманита разных партий. До 1000 °С физико-химические процессы не происходят и не сопровождаются потерями массы. Кривые ДТА разных партий силлиманита не различаются между собой, кривая ДТА начиная от 350 °С имеет изгиб вверх, который, однако, не сопровождается потерями массы. Известно, что дистен-силлиманитовый концентрат состоит из двух модификаций одного и того же вещества

$Al_2O_3 \cdot SiO_2$, имеющих различные кристаллические структуры. Структура дистена не претерпевает изменений при нагреве до 1300 °С, а структура силлиманита — до 1505 °С, поэтому на кривой ДТА при нагреве до 1000 °С нет никаких пиков и потери массы не наблюдаются. Исследован фазовый состав материалов после термообработки при 1000 °С. К сожалению, синтез муллита не наблюдался ни в одной из проб исследуемых минералов, хотя обычно синтез муллита из минералов дистен-силлиманитовой группы происходит при 1230 °С и выше, что следует учитывать при его использовании в различных технологических процессах.

Если в сложившейся экономической ситуации естественное сырье дешевле, обеспечивает необходимое содержание Al_2O_3 в огнеупоре, после обогащения имеет достаточную чистоту от примесей, то использование такого сырья (из руды которого по технологии сухого электростатического обогащения получается концентрат с удовлетворительными химическим и зерновым составом) представляет большой практический интерес, как возможность импортозамещения подобных видов сырья, в том числе андалузита из дальнего зарубежья.

При разработке составов неформованных огнеупоров на основе SiC для футеровки агрегатов для плавки меди в качестве спекающих добавок бескислородного наполнителя использован ряд Al_2O_3 -содержащих компонентов, среди которых опробован и дистен-силлиманитовый концентрат. Образцы получали методом трамбования из массы на основе карбида кремния разных фракций оптимального состава с введением 5–10 % добавки дистен-силлиманитового концентрата, в том числе механохимически активированного добавкой элементоорганического вещества, и связующего на основе золь-гель композиции и пластификатора в соотношении 1:1. Кроме того, в состав вводили добавку Термопласт в количестве 1 %. Материал после сушки имел открытую пористость 13,5–14,0 %; после нагревания до 1250 °С его открытая пористость может повышаться до 23–25 %. К сожалению, эффективное спекающее действие добавки этого алюминийсодержащего вещества при такой низкой температуре еще не проявляется. Но стойкость предложенной карбидкремниевой футеровки индукционной или шахтной печи для плавки меди при температуре около 1100 °С и разливке металла при 1150–1200 °С удовлетворяет необходимым требованиям.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АНТИОКСИДАНТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ К ОКИСЛЕНИЮ(✉)
E-mail: sgd.ceram@mail.ru

© Д. Т. Н. Г. Д. Семченко (✉), В. В. Повшук, к. т. н. Д. А. Бражник, д. т. н. Я. Н. Питак, И. Н. Рожко, С. В. Тищенко

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

Применение периклазоуглеродистых огнеупоров благодаря их высокой термостойкости и устойчивости к разрушающему воздействию расплавов металлов позволило значительно увеличить стойкость футеровки сталеразливочных ковшей и других металлургических агрегатов. Главный недостаток периклазоуглеродистых огнеупоров, содержащих от 1–3 до 14–22 % графита, — окисление выше 600 °С, что требует введения в их состав антиоксидантов.

В последние годы высоких показателей свойств периклазоуглеродистых материалов достигают путем изменения зернового состава шихты и соотношения компонентов при использовании в качестве связующих термопластичных смол. Разработка связующих и их модификация всегда вызывают определенный интерес; при этом особое внимание уделяется созданию связующих полифункционального назначения и новых антиоксидантов. В НТУ ХПИ для создания комплексного антиоксиданта, состоящего из общеизвестного алюминия в сочетании с другими антиоксидантами, такими как SiC и Ni(NiO), которые должны усиливать действие основного алюминиевого антиоксиданта, в качестве органического прекурсора никеля использовали органическую соль — оксалат никеля, которую синтезировали из сульфата никеля и щавелевой кислоты. Таким образом был создан комплексный антиоксидант Al–SiC–Ni(NiO).

При использовании синтезированных прекурсоров никелевого антиоксиданта в виде осадков оксалата никеля без технологических добавок и с добавками в шихтах образцов периклазоуглеродистых материалов улучшаются их показатели свойств по сравнению с теми образцами, в шихтах которых использовали не синтезированный органический прекурсор, а от-

дельные компоненты его синтеза. Исследования подтвердили положительное влияние модифицирования фенолоформальдегидной смолы (ФФС) 1 % ЭТС-40 на свойства периклазоуглеродистого материала. При использовании одной модифицированной ФФС без введения антиоксиданта Al в шихту пористость образцов достигает 9,5 %, а предел прочности при сжатии 45,2 МПа. Следует отметить, что при введении в шихту только 2 % Al при той же прочности пористость снижается до 8,78 %. При введении в шихту 1,5 % оксалата никеля, 1 % Al и 1 % ЭТС-40 получены образцы периклазоуглеродистого материала пористостью 7,46 % с пределом прочности при сжатии 39,5 МПа.

При введении в шихту периклазоуглеродистого материала чистого оксалата никеля и с добавками в количестве всего 0,5 % совместно с 1 % ЭТС-40 и 1 % антиоксиданта Al получены следующие показатели: кажущаяся плотность 2,9 г/см³, открытая пористость 5,5 % (с чистым оксалатом никеля) и 5,8 % (с оксалатом никеля с технологическими добавками), предел прочности при сжатии соответственно 62,2 и 58,8 МПа. Составы шихт с комплексным антиоксидантом в указанных количествах при использовании оксалата никеля в качестве прекурсора никелевого антиоксиданта рекомендованы для изготовления периклазоуглеродистых огнеупоров с 3 % графита для футеровки шлаковой зоны конвертеров. Полученные материалы имеют более высокую стойкость к окислению, чем при использовании одного антиоксиданта Al. Высокая шлакоустойчивость объясняется образованием пленки на поверхности огнеупора, под которой пластинки графита окружены плотным слоем из новообразований NiO, SiC и шпинели.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ(✉)
E-mail: sokolov235@yandex.ru

© Д. Т. Н. В. А. Соколов (✉), к. т. н. С. В. Махов, к. т. н. Е. В. Богатырева

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

Обеспеченность российской промышленности, в первую очередь металлургической и огнеупорной, цирконийсодержащим сырьем (цирконом и диоксидом циркония) является острой проблемой. В настоящее время несмотря на то, что Россия по запасам циркония находится на четвертом месте в мире, из-за отсутствия производства цирконового сырья при многообразии областей его применения и наличии крупных потребителей оно является одним из самых дефицитных видов минерального сырья. Промышленное производство диоксида циркония в России также отсутствует, а из небольших количеств (порядка 8 тыс. т) бадделеитового порошка, выпускаемого Ковдорским ГОКом,

отечественным потребителям достается меньше половины. Поэтому, учитывая стратегическое значение цирконийсодержащего сырья, создание производства цирконового концентрата является важнейшей государственной задачей.

В НИТУ «МИСиС» проводятся комплексные исследования по разработке рациональных способов получения диоксида циркония из цирконового концентрата. Процесс отделения диоксида циркония от кремнезема является одной из важнейших ступеней переработки циркона; имеется много вариантов его проведения. Для промышленных способов получения диоксида циркония хлорированием циркона или спеканием с

фторсиликатом калия характерны многооперационный гидрометаллургический цикл с использованием агрессивных реагентов, повышенная экологическая опасность, проблемы с утилизацией жидких и твердых отходов. Получение диоксида циркония термическим способом в плазменном реакторе требует сложного оборудования, наличия автоклавного выщелачивания концентрированной щелочью и не снижает экологических проблем.

Основным направлением исследований, проводимых в НИТУ «МИСиС», является разложение циркона плавкой в электродуговой печи с высокими энергетическими возможностями. При этом рассматривается два варианта: а — плавка цирконового концентрата в электродуговой печи с последующим выделением диоксида циркония из плавленого продукта гравитационными методами обогащения; б — обескремнивание циркона карботермическим способом при электроплавке в дуговой печи. При плавке цирконового концентрата для получения плавленого продукта для гравитационного обогащения используются технологические добавки и создаются определенные условия плавления и охлаждения отливок. Режимы охлаждения отливок должны обеспечивать структуру плавленого материала, содержащую кремнеземистую стеклофазу и кристаллы моноклинного диоксида циркония размерами 50–100 мкм. Плавленный бадделеитокремнеземистый материал направляется на обогатительный передел для приготовления порошкового материала заданной крупности и отделения гравитационными методами обогащения кристаллического диоксида циркония от кремнеземистой стеклофазы. Товарным продуктом предлагаемой технологии является плавленый технический диоксид циркония с содержанием

ZrO₂ не менее 95 % для использования в производстве плавленолистых и спеченных огнеупоров, абразивов и ферросплавов.

Одним из перспективных методов получения диоксида циркония является карботермическое разложение циркона с одновременным восстановлением кремнезема, которое можно осуществить в электродуговой печи. Проведенным термодинамическим анализом системы ZrO₂–SiO₂ определено, что при 1658 °С происходит распад циркона на твердые и чистые диоксиды циркония и кремния и в таком состоянии они находятся в равновесии в узком интервале 1658–1687 °С. При 1687 °С (температура эвтектики) появляется расплав на основе кремнезема, содержащий 4–5 мас. % ZrO₂. При дальнейшем повышении температуры происходит растворение твердого диоксида циркония в контакте с жидкостью, и выше 2397 °С расплав соответствует составу стехиометрии циркона. Термодинамическими расчетами показана возможность глубокого обескремнивания циркона углеродом и интервал 1687–2397 °С может быть использован для удаления диоксида кремния из расплава восстановлением как до кремния, так и до газообразного монооксида кремния. Предварительные экспериментальные плавки на электродуговой печи ЭДП-450 показали возможность карботермического разложения циркона с остаточным содержанием кремнезема 10 %. Высокое содержание остаточного кремнезема объясняется значительным уносом и горением кокса в период загрузки, что вело к снижению его восстановительной функции. Достижение более высокой степени обескремнивания требует соответствующей корректировки технологии (изменение режима и условий плавки, повышение эффективности восстановителя, компактирование шихты и др.).

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ГРАФИТ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДЛЯ ОГНЕУПОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© Е. Ф. Чайка, И. Г. Марясев, А. А. Платонов (✉)

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

В настоящее время производство углеродсодержащих огнеупоров занимает лидирующее место среди всех современных видов огнеупоров. Мировой рынок природного графита весьма разнообразен. В зависимости от места добычи графита, способа его обогащения отмечаются особенности (природа сопутствующих минералов, геометрический размер чешуй, их способность к окисляемости и т. д.), от которых напрямую зависит стойкость огнеупоров. В лаборатории материаловедения УТР «Группа Магнезит» разработана и внедрена методика тестирования графитов для выбора наиболее оптимально пригодных для производства углеродсодержащих огнеупоров. Эта методика позволяет также выявлять недобросовестных поставщиков графита, которые намеренно увеличивают чистоту и/или крупность материала, используя при этом сырье низкого качества. Методика включает исследования:

– фракционного состава графита как методом просеивания через сита с использованием аналитической просеивающей машины (наиболее пригодна для круп-

но- и среднечешуйчатых графитов), так и лазерного анализатора размеров частиц (наиболее пригоден для исследования мелкочешуйчатых графитов, коксов). Оба метода исследования фракционного состава сопоставимы между собой по точности получаемых результатов;

– микроскопическое (оптическое, электронное) исследование структуры чешуй и их геометрических размеров (длина, ширина, толщина), которые достоверно не выявляются при определении фракционного состава графита. Электронная микроскопия по специально разработанным методикам позволяет исследовать структуру чешуй графита, общий микрондовый химический состав проб графита, расположение сопутствующих примесных компонентов, их природу, размер и количество, а также выявлять наличие в пробах графита искусственно созданных чешуй — агрегатов графита наподобие китайского FakeFlake, полученного при слипании более мелких чешуй. Толщина чешуй графита (оптическая микроскопия) позволяет говорить об его устойчивости к окислению;

– синхронный термический анализ графитов (ДСК–ТГ и ТГ), с помощью которого определяется диапазон выгорания графита (ТГ), зольный остаток, максимальный экзотермический эффект выгорания графита в окислительной среде (ДСК–ТГ), а также содержание углерода в пробах графита. По максимуму экзотермического эффекта выгорания графита можно судить о раз-
мере чешуй графита, об их устойчивости к окислению, по форме ДСК-кривой — о наличии коксовых примесей (имелись подтвержденные прецеденты), искусственно созданного графита;

– рентгенофазовый анализ. Одним из важных показателей степени совершенства структуры графита является межплоскостное расстояние d_{002} . Показа-

тель d_{002} определяется по месту положения линии на рентгеновском спектре, как дающей наибольшую интенсивность отражения. На основании положения линии d_{002} определяется степень графитизации, т. е. степень приближения реальной структуры графита к идеальной.

Проводимые исследования графита постоянно совершенствуются и дополняются. Комплексное исследование в соответствии с разработанной методикой раскрывает наиболее полную картину по графитам. Получаемые результаты служат объективной оценкой возможности применения того или иного графита для изготовления углеродсодержащих огнеупоров.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ГЕРЦИНИТСОДЕРЖАЩИЕ ОГНЕУПОРЫ — ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В АССОРТИМЕНТЕ ПРОДУКЦИИ ГРУППЫ МАГНЕЗИТ

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹(✉), М. Ю. Турчин², М. А. Ерошин², О. Н. Пицик², Е. А. Киселева²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Периклазогерцинитовые, периклазоплеонастовые огнеупоры успешно завоевывают рынок в качестве огнеупоров для футеровки вращающихся печей цементной промышленности, работающих по сухому способу, и в том числе с использованием альтернативного топлива. Эти огнеупоры хорошо набирают обмазку, способны противостоять растрескиванию при термомеханических напряжениях (обладают эластичностью) и отличаются высокой устойчивостью к химической коррозии при воздействии газовой среды и компонентов цементного клинкера. Не имея в своем составе хромосодержащих компонентов, огнеупоры, содержащие алюможелезистую шпинель, являются экологически

безопасными материалами, как и периклазошпинельные огнеупоры, которые давно стали визитной карточкой Группы Магнезит.

Специалистами Группы Магнезит разработаны технологии изготовления периклазогерцинитовых (марки ПГЦ-86) и периклазоплеонастовых (марки ППЦ-80) огнеупоров с использованием алюможелезистой шпинели ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), получаемой плавкой шихты в рудно-термических печах, и плотноспеченного периклазового клинкера (97 % MgO), получаемого в высокотемпературных шахтных печах на Саткинской производственной площадке. Изделия характеризуются следующими основными показателями (см. таблицу).

Технология изготовления герцинитсодержащих огнеупоров защищена патентом. Освоенное в условиях Саткинской производственной площадки промышленное производство плавной алюможелезистой шпинели дает возможность массового изготовления огнеупоров с ее применением. Для внедрения новых видов продукции в массовое производство на Саткинской производственной площадке проводятся технические мероприятия, направленные на модернизацию тепловых агрегатов.

Показатели	ПГЦ-86	ППЦ-80
Предел прочности при сжатии, МПа	50–60	55–65
Открытая пористость, %	~16,5	~15,2
Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены	23–25	22–24
Температура деформации под нагрузкой, °С (по ГОСТ 4070)	1650	1620
Газопроницаемость, мкм ²	–	0,294
Эластичность, %	–	0,49

УПЛОТНЕННЫЕ КОРРОЗИОННО-УСТОЙЧИВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹(✉), М. Ю. Турчин², М. А. Ерошин², О. Н. Пицик², О. А. Марясева²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Известно, что основными факторами износа огнеупоров во вращающейся печи для обжига цементного клинкера являются механический и термический износ футеровки, а также коррозия, обусловленная миграцией щелочей и легкоплавких примесей в структуру огнеупоров.

Переход с природных видов топлива на альтернативные (вторичные и промышленные отходы) в сочетании с модернизацией конструкций вращающихся печей и интенсификацией технологических процессов актуализирует потребность в огнеупорах, обладающих высокой

способностью сопротивления коррозии в сочетании с хорошей структурной гибкостью.

Разработаны новые составы коррозионно-устойчивых периклазошпинельных огнеупоров в системе $MgO-Al_2O_3-TiO_2$. Особенностью изделий (марка ПШау-1) является высокочистая шпинельная матрица с прямой связью с участием вторичной титансодержащей шпинели и титаната кальция, снижающая пористость и газопроницаемость изделий. Новые фазы, возникающие при взаимодействии цементного клинкера и огнеупора, блокируют при эксплуатации футеровки миграцию щелочей по межкристаллическому пространству. Разработанные огнеупоры характеризуются высокими физико-техническими показателями:

Предел прочности при сжатии, МПа.....	~61,1
Открытая пористость, %.....	~14,8
Термостойкость (1300 °С – вода), теплосмены.....	24–25
Температура начала размягчения (ГОСТ 4070), °С	1670–1700
Температура деформации под нагрузкой (ИСО 1893–89 при T_{05}), °С.....	>1700
Газопроницаемость, мкм ²	0,293

Проведенные петрографические исследования новых огнеупоров подтвердили присутствие в структуре равномерно распределенных пленок титаната кальция, образованных в процессе обжига, и преобладание связей прямого типа между частицами компонентов. Изделия характеризуются плотноспеченной микроструктурой с повышенной долей закрытых изолированных пор и уменьшенной долей открытых сообщающихся пор.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ТОРКРЕТ-МАССЫ ГРУППЫ МАГНЕЗИТ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹(✉), М. Ю. Турчин², А. П. Лаптев², К. Т. Н. М. И. Назмиев², Е. И. Поспелова²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Возрастающая потребность российских металлургов в увеличении серийности плавки, повышении эффективности производственных процессов обусловила создание новых торкрет-масс для рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ, которые, сохранив на всех производственных переделах удовлетворительные эксплуатационные характеристики, придают футеровке повышенную стойкость при разливке. Максимально достигнутая стойкость промежуточных ковшей с использованием торкрет-масс Группы Магнезит — 123 плавки (83 ч 47 мин) на одном промежуточном ковше предприятия «НЛМК-Калуга».

Массы многокомпонентного состава содержат как отечественные, так и импортные компоненты, основа масс — спеченный периклаз собственного производства определенного качества и гранулометрического состава. Использование плотноспеченного периклазового порошка способствует формированию более плотной и прочной структуры рабочего слоя футеровки. Разработано новое связующее, позволяющее наносить торкрет-слой значительной толщины без

его сползания со стенок промежуточного ковша; подобрана комбинация органического и минерального волокна, обеспечивающая сохранение сплошности торкрет-слоя футеровки в процессе сушки и разогрева промежуточного ковша. В то же время специалисты Группы Магнезит предпочитают реализацию индивидуального подхода к выбору торкрет-массы для конкретных условий эксплуатации и требований каждого потребителя. Этому способствует завершенная модернизация производства торкрет-масс, увеличившая возможности как формирования многокомпонентного состава, так и испытания масс в полупромышленных условиях с использованием соответствующего стенда — масса наносится на стенку промежуточного ковша с использованием торкрет-машин и сушится до необходимой температуры. Перед нанесением торкрет-массы на стенде можно разогреть стенку промежуточного ковша (контрольный слой) до заданной температуры. В настоящее время производится более 30 тыс. т торкрет-масс для промежуточных ковшей МНЛЗ, и это не предел.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

БЕТОН ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АРМАТУРНОГО СЛОЯ ФУТЕРОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША ПО ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© Р. А. Донич¹, К. Т. Н. Л. М. Аксельрод²(✉)¹ ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия² ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

Разработан бесцементный бетон для арматурного слоя футеровки промежуточного ковша по золь-гель технологии с использованием связки марки SioxX-Zero производства компании «Elket», Норвегия. Связка используется в бесцементных бетонах высокоглиноземистого состава и имеет следующие преимущества: улучшает и контролирует время укладки бетона, создает удобоукладываемость; снижает количество воды затворения в бетоне, улучшает растекаемость; гарантирует высокие прочностные характеристики при промежуточных и высоких температурах

обжига; обеспечивает быстрый процесс сушки готовых изделий, монолитной футеровки из данного вида бетона (так как нет необходимости разрушения кристаллогидратов). Однако применение в бетонах этой связки связано со следующими проблемами в сравнении с низкоцементными муллитосодержащими бетонами аналогичного состава: увеличен срок схватывания бетона, понижена прочность бетона в необожженном состоянии.

Физико-механические свойства бетона на основе боксита: при 25 / 110 °С — предел прочности при сжа-

тии, МПа, 10,1/28,5, при изгибе 3,8/5,6; кажущаяся плотность, г/см³, 1,69/ 2,77; открытая пористость, %, 34,4/15,5, при 1100 / 1500 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 74,7/138,8, при изгибе 13,7/18,4; кажущаяся плотность, г/см³, 2,73/2,72; открытая пористость, %, 20,9/19,9; дополнительная линейная усадка после 1500 °С 0,7 %. Физико-механические свойства бетона на основе табулярного глинозема: при 25 / 110 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 6,5/28,4, при изгибе 2,2/6,3; кажущаяся плотность, г/см³, 1,64 / 2,98; открытая пористость, %, 35,5/13,8, при 1100 / 1500 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 82,1/103,9, при изгибе 12,0/16,8; кажущаяся плотность, г/см³, 2,93/2,95; открытая пористость, %, 17,2 / 16,1; дополнительная линейная усадка после 1500 °С 0,3 %.

Основным преимуществом бетонов на связке из гелеобразующей микросилики является то, что вода не связана химически. Большая часть воды в гелевой структуре (>90 %) удаляется при низких температурах (<160 °С). Первоначальная высокая проницаемость при отсутствии связанной воды ведет к формированию бетона, который в меньшей степени подвержен расслаиванию в процессе сушки и разогрева футеровки. Процесс сушки можно значительно ускорить, снижая расход топлива и при необходимости увеличивая оборачиваемость промежуточных ковшей. Поскольку бетоны на связке из гелеобразующей микросилики не содержат СаО, они не образуют легкоплавкие фазы. Это способствует более высокой эрозионной стойкости бетона в службе.

ОГНЕУПОРНЫЕ НЕФОРМОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© Р. А. Дониц, А. Р. Хурматуллин, К. Е. Заболотнев (✉)
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Специалистами Группы Магнезит разработан ряд составов огнеупорных бетонов с содержанием карбида кремния от 5 до 50 %. Бетоны предназначены для футеровки элементов вращающейся печи цементного производства и обладают хорошей термостойкостью, абразивоустойчивостью:

Maghin AS 30.10c — теплоизоляционная масса на основе шамота и вспученного вермикулита. При 25 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 2,8, при изгибе 1,4; кажущаяся плотность, г/см³, 1,14; открытая пористость, %, 34, при 110 / 1000 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 4,8 / 4,8, при изгибе 4,8 / 1,7; кажущаяся плотность, г/см³, 0,92 / 0,90; открытая пористость, %, 61,6/70,7; объемная усадка, %, 1,5/8,8; линейная усадка, %, 0,2 / 2,5; теплопроводность, Вт/(м·К), при 350 °С 0,306, при 650 °С 0,291. Предназначается для теплоизоляционного слоя в различных тепловых агрегатах в качестве альтернативы применения теплоизоляционных плит силикаткальциевого состава;

Maggun ACB40.8c — алюмосиликатная торкрет-масса на основе андалузита с содержанием карбида кремния до 8 %. Состав, %: Al₂O₃ 45,3, СаО 6,2, Fe₂O₃ 1,2, SiC 8,0. Предназначается для рабочего слоя участков тепловых агрегатов, подверженных интенсивному абразивному износу, таких как газоход третичного воздуха, циклоны верхних ступеней;

Magcast ACB20.50c — шамотная масса с содержанием карбида кремния до 50 %. При 110 / 800 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 50,0 / 90,0; кажущаяся плотность, г/см³, 2,6 / 2,5; линейный рост при 1100

°С, %, 0,4. Состав, %: Al₂O₃ 22,38, СаО 2,3, Fe₂O₃ 1,1, SiO₂ 22,78, SiC 48,5;

Magcast ACB50.30c — масса на основе боксита с содержанием карбида кремния до 30 %. При 110 / 800 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 60,0 / 90,0; кажущаяся плотность, г/см³, 2,77 / 2,76; линейная усадка при 1500 °С, %, 0,2. Состав, %: Al₂O₃ 51,36, СаО 2,5, Fe₂O₃ 1,0, SiO₂ 11,7, SiC 26,6. Применяется на участках, подвергающихся абразивному и термическому воздействиям;

Magcast ACB70.5 — масса на основе боксита с содержанием карбида кремния до 5 %. При 110 / 800 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 70,0 / 90,0; кажущаяся плотность, г/см³, 2,89 / 2,87; линейный рост при 1500 °С, %, 0,1. Состав, %: Al₂O₃ 80,3, СаО 1,44, Fe₂O₃ 1,4, SiO₂ 5,54, SiC 5,0. В зависимости от химической среды печного пространства может применяться на следующих участках: горячий обрез вращающейся печи, головка печи, шахта холодильника и т. д.;

Magcast ACB38.8c — шамотная масса с содержанием карбида кремния до 8 %. При 110 / 800 °С — предел прочности при сжатии, МПа, 50,0/90,0; кажущаяся плотность, г/см³, 2,19 / 2,18; линейная усадка при 1100 °С, %, 1,7. Состав, %: Al₂O₃ 40,0, СаО 2,35, Fe₂O₃ 2,7, SiO₂ 43,78, SiC 7,8.

В настоящее время разработанные огнеупорные материалы проходят апробацию в различных участках тепловых агрегатов предприятий по производству цемента: в камерах загрузки (стояк печи), в шахте колосникового холодильника, в головке печи, в газоход третичного воздуха, в боковых стенах колосникового холодильника.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ
ФУТЕРОВКИ ДНА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНОГО КОВША**(✉)
E-mail: lipin@keralit.com© И. В. Егоров, А. Ю. Попов, К. Т. Н. М. В. Краснянский (✉)
ООО «Кералит», Москва, Россия

В компании «Кералит» разработано инновационное решение для футеровки сталеразливочных ковшей — ресурсо- и энергосберегающее сегментное дно. Предлагаемое дно сталеразливочного ковша может состоять из двух и более сегментов. Сегменты изготавливают из высокопрочного низкоцементного бетона с добавкой металлической фибры методом вибролитья на производственном комплексе компании «Кералит» в пос. Новая Ольховка Московской обл. Основное преимущество новой конструкции дна с использованием монолитных сегментов — повышение стойкости, которое достигается за счет применения материалов повышенной прочности, а также усиление «бойной» зоны дна. Таким образом, использование сегментного дна позволяет повысить стойкость дна до 100 и более плавков.

Конструкция сегментного дна, имеющего уклон в сторону сталевыпускного отверстия, а также небольшой колодец при нем, позволяет увеличить выход жидкого металла за счет снижения количества недоливов металла из ковша и отсечки шлака. Математическое моделирование показало, что масса остатков металла в ковше после разливки с использованием

сегментного дна более чем на 50 % меньше, чем после разливки с использованием плоского монолитного или кирпичного дна. Кроме того, по сравнению с периклазоуглеродистой футеровкой снижаются тепловые потери металла через дно ковша и, соответственно, тепловая нагрузка на кожух. Сегментное дно в отличие от монолитного не требует длительной сушки. Для его разогрева можно использовать применяемые на предприятии графики сушки и подогрева периклазоуглеродистой футеровки. Дополнительным преимуществом разливки с использованием сегментного дна является сокращение количества выбросов канцерогенных углеводородов (фенолы, формальдегиды, бенз(а)пирен) в атмосферу цеха на треть по сравнению с разливкой с использованием кирпичного дна благодаря отсутствию в бетоне органических смол.

Таким образом, сегментное дно объединяет основные преимущества как монолитной футеровки (такие, как высокая стойкость, низкий удельный расход огнеупоров), так и кирпичной (малые затраты времени на монтаж и сушку, возможность усилить футеровку в «бойной» зоне).

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ, АРМИРОВАННЫХ
АЛЮМОСИЛИКАТНЫМ ВОЛОКНОМ**(✉)
E-mail: zroman7777@mail.ru© К. Т. Н. Р. В. Зубащенко (✉)
ЗАО «ПКФ «НК», г. Старый Оскол, Россия

В настоящее время экономия энергии является одной из актуальных задач большинства стран мира. Сокращение запасов невозобновимых источников энергии, таких как уголь, нефть, газ, а также ухудшение экологической ситуации в мире привели к тому, что решение этой проблемы ведется на государственном уровне. Очевидно, что важная роль в энергосбережении и экономии тепловой энергии принадлежит высокоэффективной тепловой изоляции (в том числе высокотемпературной).

Теплоизоляционные материалы, используемые для футеровки печей, должны иметь низкую и длительно не меняющуюся теплопроводность, незначительную массу, небольшую теплоемкость, достаточную механическую прочность, необходимую огнеупорность, постоянство свойств при высоких температурах. Не менее значимым показателем является также термостойкость. Известно, что термостойкость — широко распространенный вид износа огнеупорных изделий в процессе их службы (печи периодического действия

и др.). Однако большинство теплоизоляционных материалов имеют сравнительно слабую сопротивляемость резкому перепаду температур. Так, согласно ГОСТ 5040 к наиболее высокотемпературным легковесным изделиям относят КЛ-1,1 и КЛ-1,3, однако они характеризуются невысокой термостойкостью.

Следует указать четыре основных фактора, каждый из которых обеспечивает огнеупорным изделиям высокую термостойкость. Это — низкий модуль упругости; малый ТКЛР; высокая теплопроводность огнеупорной основы; рациональный состав связки, цементирующей зернистую составляющую массы изделия. Связка — существенный фактор, определяющий термостойкость огнеупоров. Известно, что введение в хрупкие зернистые керамические изделия волокнистых материалов позволяет существенно увеличить термостойкость образующихся композиционных материалов. Такие изделия имеют достаточно низкую теплопроводность и гораздо большее сопротивление тепловому удару, чем плотная и ячеистая керамика.

Наибольшее практическое значение для огнеупорной промышленности имеют волокна системы $Al_2O_3-SiO_2$. Изучение структуры и свойств легковесных изделий с различным содержанием волокна этой системы позво-

лило разработать технологию высокотемпературных теплоизоляционных изделий с повышенной термостойкостью. В результате проведенных исследований освоено промышленное производство изделий марки NK-29.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: kir77766617@yandex.ru

АРМИРОВАНИЕ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ УГЛЕРОДИСТЫМИ ВОЛОКНАМИ

© Д. Т. Н. **И. Д. Кашеев**¹, К. Т. Н. **К. Г. Земляной**¹ (✉), **С. А. Поморцев**², **А. Г. Валуев**²,
Ю. А. Борисова³

¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

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

Углеродсодержащие (периклазоуглеродистые) огнеупоры за последние 15 лет широко внедрены в сталеплавильное производство, что позволило в несколько раз повысить стойкость основных тепловых агрегатов черной металлургии. Это связано с комплексом уникальных свойств углеродсодержащих огнеупоров. Однако в настоящее время наблюдается стабилизация улучшения свойств углеродсодержащих огнеупоров, обусловленная как техническими, так и экономическими причинами (качество исходного сырья, связующих композиций, проектирование структуры изделий, используемое оборудование). При этом основными причинами разрушения углеродсодержащих огнеупоров являются окисление углеродистой составляющей (графита и коксового остатка связующего), низкое качество огнеупорного заполнителя и графита, ухудшающие механические свойства и коррозионную стойкость огнеупора. Еще одним важным фактором разрушения углеродсодержащих огнеупоров в последнее время все чаще становится недостаточная термостойкость (трещиностойкость), одним из типичных проявлений которой является характерное разрушение футеровки сталеразливочного ковша в виде вертикальной трещины.

Одним из традиционных способов повышения трещино- и термостойкости огнеупорных изделий является метод армирования волокнами. В структуре огнеупора волокна являются «полезными» дефектами. Они останавливают распространение трещин, а с другой стороны — повышают прочность композиционного материала, предотвращая катастрофическое разрушение конструкции. Наиболее перспективным армирующим материалом для периклазоуглеродистых (и всех углеродистых) огнеупоров могут быть углеродные волокна (CNF) ввиду их высоких механи-

ческих показателей и полной совместимости с материалом огнеупора. В ходе исследований армирования ковшевых периклазоуглеродистых изделий углеродными волокнами установлено, что:

- в условиях эксплуатации периклазоуглеродистых изделий в сталеразливочных ковшах, в которых футеровка подвергается постоянным циклам нагрева (при наливке стали) и охлаждения (при сливе, транспортировке, подготовке к разливке) с перепадом температур до 700 °С, термостойкость — один из основных показателей, регламентирующих стойкость огнеупорных изделий. Армирование углеродными волокнами позволяет повысить ее на 30 %;

- введение углеродных волокон также позволяет снизить количество вводимого графита с 7 до 4 % при сохранении показателей химической стойкости, окисляемости и мощности обезуглероженного слоя на уровне показателей серийных изделий;

- анализ ТКЛР выше 1000 °С у серийных и армированных изделий показывает меньшие значения и изменение характера поведения у армированных изделий. У контрольного образца до 1174 °С происходил равномерный рост, а начиная с 1174 до 1400 °С наблюдались усадочные процессы. У образцов с добавкой углеродистого волокна выше 1200 °С рост замедлялся, но усадка не наблюдалась;

- введение CNF в лабораторные образцы увеличивает предел прочности при растяжении на 13 %, при изгибе на 20 %, при сжатии на 13 % относительно показателей серийных образцов ковшевых изделий;

- износ опытных изделий в зоне стен ниже, чем у серийных, на 0,2 мм за плавку, что позволяет прогнозировать увеличение ресурса стойкости сталеразливочных ковшей с применением углеродного волокна на 5–7 плавков.

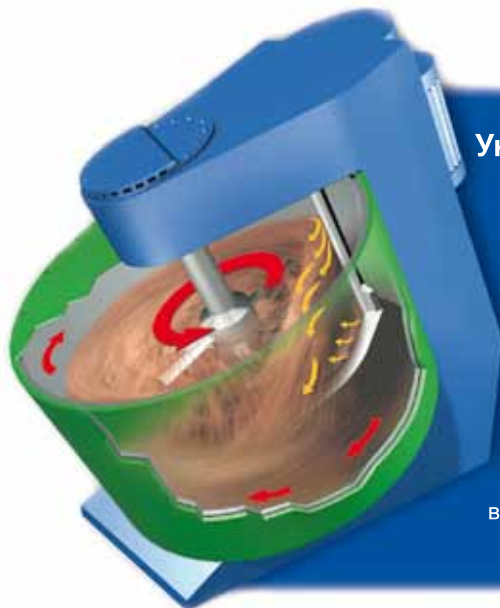
Техника смешивания огнеупорных материалов

Формованные изделия

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

Неформованные изделия

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



Уникальный принцип смешивания

Вращающийся смесительный резервуар
- Транспортировка смешиваемых масс

Скорость смесительного инструмента
варьируется от медленной до быстрой
- Смешивание

Как результат:

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



Данный принцип смешивания позволяет:

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

Преимущества:

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

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

Мнения клиентов фирмы Айрих:

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

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

Фирма Айрих является партнером высших учебных заведений в области исследований.

Обратитесь к нам. Мы проинформируем Вас.

ООО «Айрих Машинентехник»

ул. Уржумская, 4, строение 2
129343 Москва, Российская Федерация
Телефон: (495) 7716880, факс: (495) 7716879
E-mail: info@eirich.ru, Internet: www.eirich.ru





БОГДАНОВИЧСКОЕ ОАО
«ОГНЕУПОРЫ»

НОВАЯ ФИЛОСОФИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Россия, 623530, Свердловская обл.,
г. Богданович, ул. Гагарина, 2
тел./факс: (34376) 4-77-45, 4-72-14, 2-26-73
тел.: (34376) 2-21-07, 2-14-60
e-mail: general@ogneupory.ru

www.ogneupory.ru

РЕКЛАМА

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ ВИДЫ ПРОДУКЦИИ
БОГДАНОВИЧСКОГО ОАО «ОГНЕУПОРЫ»**

(✉)

E-mail: LPjzchnikova@ogneupory.ru

© А. В. Юрков, Е. А. Кондратьев, В. В. Горбунов (✉)

Богдановичское ОАО «Огнеупоры», г. Богданович Свердловской обл., Россия

В настоящее время огнеупорное производство Богдановичского ОАО «Огнеупоры» находится на пороге своего 80-летия. История предприятия неотрывно связана с историей становления и развития огнеупорной отрасли всей страны. За этот период был пройден путь от начала освоения Троицко-Байновского месторождения огнеупорных глин и выпуска рядового шамота до одного из самых мощных в России производителей огнеупорной продукции практически всех типоразмеров и модификаций.

В первую очередь стремительными темпами продолжает развиваться производственный участок по выпуску неформованных огнеупорных материалов. В основной ассортимент продукции участка входит огнеупорный бетон различного состава и назначения на основе шамота, муллита, боксита, андалузита и корунда. Огнеупорная продукция изготавливается на современном оборудовании и по технологии ведущих европейских производителей. Одним из самых востребованных видов продукции участка являются тяжелые бетоны (кажущаяся плотность до 3,2 г/см³), которые по своим физико-химическим параметрам предназначены для монолитной футеровки сталеразливочных и промежуточных ковшей, футеровки малых сводов электропечей, подин нагревательных печей и некоторых изделий металлопроводки МНЛЗ (гнездовые блоки, перегородки, металлоприемники, «бойные» плиты). Основным преимуществом применения таких бетонов является высокая стойкость футеровки тепловых агрегатов при низких трудозатратах. В многочисленный ассортимент выпускаемых бетонов входят также легковесные теплоизоляционные бетоны с температурой применения от 1200 до 1550 °С и кажущейся плотностью от 0,6 до 1,5 г/см³. Эти бетоны обладают высокой коррозионной стойкостью, низкой теплопроводностью и механической прочностью, достаточной для монтажа и эксплуатации.

В промышленных масштабах налажен выпуск хромосодержащих стартовых смесей для защиты канала ковшевого стакана сталеразливочных ковшей от преждевременного проникновения металла. Внедрены

новые технологии производства корундографитовых изделий, используемых в металлопроводке МНЛЗ для регулирования потока металла, — ковшевых стаканов, защитных труб, стопоров-моноблоков и погружаемых стаканов, получаемых изостатическим прессованием.

Один из последних успешных проектов — выпуск и реализация продукции, которая является не совсем традиционной для ОАО «Огнеупоры». Речь идет об изделиях на основе оксида магния. В частности, в промышленных объемах реализован выпуск торкрет-масс с различным содержанием MgO для рабочего слоя футеровки промежуточных ковшей. Помимо отработки инновационных направлений, предприятие выпускает традиционную алюмосиликатную продукцию. Постоянно обновляется ассортимент продукции — в частности, мертелей от шамотного состава до корундового. Разработаны новые модификации набивных масс. Активно внедряются изделия лекальной формы для футеровки арматурного слоя сталеразливочных ковшей на металлургических предприятиях. Проработана и выводится на промышленный уровень технологическая схема производства ультралегковесных теплоизоляционных изделий с использованием выгорающих добавок. Доработана технология производства различных наливных бетонов и масс для доменного производства, а также барьерных блоков, сухих барьерных смесей для алюминиевой промышленности России.

Четко обозначены следующие основные направления деятельности, обеспечивающие эффективное развитие предприятия: реализация производственной программы — повышение конкурентоспособности за счет достижения оптимального соотношения между себестоимостью и качеством продукции; реализация инвестиционной программы — приоритетные направления капиталовложений, минимизация риска и максимизация доходности. В целом обозначена основная стратегическая цель развития Богдановичского ОАО «Огнеупоры» — расширение доли участия предприятия на рынке огнеупорной продукции России и в странах ближнего и дальнего зарубежья.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ**СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРУБЧАТЫХ
ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. Т. Н. С. Я. Давыдов (✉), Д. Т. Н. Н. Г. Валиев, К. Т. Н. В. М. Тайгер

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

В различных отраслях промышленности нашли широкое применение трубчатые ленточные конвейеры (ТЛК), обеспечивающие защиту окружающей среды за счет транспортирования груза в замкнутом объеме. Особенность зарубежных ТЛК состоит в том, что конвейерная лента сворачивается в трубу, а ее края об-

разуют в верхней части трубчатой поверхности зону перекрытия (края ленты перекрывают друг друга внахлест), в которой находится транспортируемый материал. Размер зоны перекрытия зависит от типа ленты, насыпной плотности и крупности кусков транспортируемого материала, шага установки роликоопор.

Промышленное применение ТЛК показало, что обжимные ролики с затруднением вписываются в поперечное сечение этих конвейеров. При любом незначительном перекосе при установке роликов относительно движущейся ленты возникают значительные силы сопротивления их вращению за счет трения между поверхностями триботехнической системы, влияющие на коэффициент трения. Это отражается на потреблении энергии, долговечности и безотказности конструктивных элементов конвейера.

Были рассмотрены напряжения и деформации, возникающие в зоне контакта ленты с роликом, в предположении, что нагрузка распределена по образующей ролика неравномерно. С другой стороны, если бы ролик, катящийся по основанию, не испытывал проскальзывание, то такое движение было бы чистым качением и путь, проходимый любой точкой поверхности ролика по ленте за один оборот, составлял бы $2\pi r$. Однако качения без проскальзывания не бывает. Ролики и лента испытывают упругие деформации. При этом ролики в зоне контакта сжимаются, а лента — растягивается. Поэтому на контакте постоянно происходит проскальзывание ролика относительно ленты. Это один из источников рассеяния энергии. Другим источником является упругое поведение материалов ленты и ролика. Если лента не движется, то дуга контакта симметрична, и реакция ленты соосна с нормальной нагрузкой. При движении ленты зона контакта искажается. Материал позади ролика не успевает восстановить форму. Проскальзывание вносит незначительный вклад в потери энергии, а главный источник потерь — упругие деформации ролика и ленты. Рассеивание энергии связано в основном с гистерезисом деформации. Физический смысл коэффициента трения разный в зави-

симости от того, это трение качения или скольжения. Сила трения качения зависит не только от давления, материалов и состояния поверхности, но и от радиуса (радиусов) тел качения.

Патентный анализ тенденций развития конкурентоспособных конструкций трубчатых ленточных конвейеров по критерию энергозатрат позволяет выявить существенные недостатки триботехнических элементов. В японском патенте на трубчатый конвейер (пат. 2006256781) подтверждена целесообразность замены цилиндрических роликов на ролики сферической формы. Это частично решает задачу снижения энергозатрат за счет уменьшения площади фактического контакта тел с поверхностью ленты. В предложенной конструкции ТЛК удачное решение установки рам на вертикальной оси с возможностью вращения вокруг этой оси. Вращающиеся цилиндрические ролики несут весовую нагрузку от ленты и выполняют ориентацию движения ленты против скручивания.

Авторы новой разработки (пат. 2548218. Ленточный конвейер/ Давыдов С. Я., Косарев Н. П., Валиев Н. Г., Боярский Г. А.; пат 157392. Ленточный конвейер с трубчатым сечением лент/ Давыдов С. Я., Афанасьев А. И.) предложили ролики сферической формы выполнить полыми, которые по весу значительно меньше цилиндрических. При возможности свободного вращения в любом направлении полых сфер отпадает необходимость их центрирования, что упрощает их монтаж и значительно уменьшает сопротивление при взаимодействии с лентой. Отсутствие возможных перекосов при установке полых сфер, конечно же, отражается на экономии энергии. Технический результат разработки — уменьшение затрат энергии и материалов, обеспечение технологичности и надежности конструкции конвейера.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КРУТОНАКЛОННОГО КОВШОВОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. т. н. С. Я. Давыдов (✉), А. П. Золкин, В. С. Шварев, М. С. Филатов

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

Разработка высокопрочных прорезиненных лент, особенно армированных стальными тросами и стальной сеткой, позволила применять крутонаклонные ковшовые ленточные конвейеры для транспортировки материала на значительную высоту. Недостатком известных крутонаклонных ковшовых конвейеров является то, что при значительных тяговых нагрузках происходит проскальзывание гладких поверхностей обечеек барабанов и поверхностей тяговых лент. В результате происходит перекося одной ветви лент с ковшами относительно другой, который приводит к нарушению работы всего конвейера или к порыву лент. Дополнительные сопротивления движению лент и незапланированные остановки конвейера отражаются на его производительности и энергозатратах.

Ковшовый ленточный конвейер (пат. 142527 / Давыдов С. Я., Шварев В. С.; опубл. 27.06.2014) содержит тяговые и несущие ленты, огибающие обечайки приводного и натяжного двухкорпусных барабанов. Между

лентами установлены ковши с помощью крепежных и поперечных элементов жесткости из пружинного материала. Поперечные элементы жесткости расположены между поверхностями тяговых и несущих лент. Со стороны ковшей торцы обечеек приводного двухкорпусного барабана снабжены зацепами с возможностью зацепления при его вращении за крепежные элементы поперечных элементов жесткости. Расстояние L между зацепами по длине окружности обечеек барабана определяется из зависимости $L = D\pi/n$, где D — диаметр обечеек приводного барабана; n — количество зацепов. Расстояние L зацепов друг от друга по длине окружности обечеек корпусов приводного барабана должно быть равно длине шага L крепежных и поперечных элементов жесткости. Наличие зацепов с возможностью зацепления с крепежными элементами поперечных элементов жесткости при вращении барабана, особенно при запуске приводов, исключает проскальзывание лент относительно обечеек корпусов ба-

рабана, приводящее к возможным перекосам ковшей с лентами. Отсутствие проскальзывания лент не только повышает надежность работы конвейера без аварийной ситуации, но и уменьшает энергозатраты при сохранении производительности конвейера.

Статическая и динамическая нагрузки от ковшей с загруженным материалом передаются на ленты и поперечные элементы жесткости (пластины). В данном случае использованы пластины из стали 65Г, зажатые между резинотросовой и резинотканевой лентами. Усилие P , действующее на пластину при движении ленты, определяется из зависимости $P = q l_k / n$, где q — сумма погонных весов насыпного груза в ковшах q_r и ковшей q_k , $q = q_r + q_k$; l_k — шаг ковшей, м; n — количество пластин, на которых крепятся ковши. Погонный вес насыпного груза q_r определяется по формуле $q_r = g Q_r / (3,6 v)$, где g — ускорение свободного падения; Q_r — производительность ковшового конвейера; v — скорость движения ковшей. Погонный вес ковшей q_k определяется из зависимости $q_k = g G_k / t$, где G_k — вес ковшей; t — шаг между ковшами.

Оценка прочности подвеса ковшей на ленточных тягах производится из следующих предположений: ковши загружены симметрично относительно вертикальной плоскости, проведенной через продольную ось

симметрии конвейера; общая нагрузка от веса ковшей, передаваемая через поперечные пластины, воспринимается только тросами тяговых лент; оси опорных роликов неподвижны и перпендикулярны к продольной плоскости ковшового ленточного конвейера; тяговые ленты параллельны в горизонтальной плоскости; поперечные планки заземлены в точках крепления к ковшам; тросы тяговых лент заземлены в вертикальных плоскостях, проведенных через оси опорных роликов; общую нагрузку от веса ковшей воспринимают тросы тяговых лент, опирающиеся на опорные ролики.

Наиболее опасным случаем с точки зрения прочности и деформации тросовых лент является случай, когда поперечные планки находятся посередине пролета между двумя роликами. Для предотвращения разрушения тяговых лент крутонаклонного ковшового ленточного конвейера и увеличения их срока службы предлагается провести оценку собственных колебаний ковшей и лент, определить жесткость тяговых лент с поперечными металлическими пластинами, резонансность движения лент с прикрепленными ковшами, резонансную скорость движения ковшей по роликовым опорам. Намеченная работа позволит определить оптимальные технические параметры конвейера для уменьшения энергозатрат и увеличения тяговой способности резинотросовых лент.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА ПУТЕМ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА

(✉)
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. Т. Н. С. Я. Давыдов¹ (✉), К. Т. Н. В. Н. Корюков², А. Е. Замураев²

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

² ФГАУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

В роли теплообменных аппаратов — утилизаторов теплоты уходящих газов традиционно применяют контактные поверхностные теплообменники — экономайзеры. Проблема заключается в необходимости оснащения их повышенной площадью теплообмена и, как следствие, большей металлоемкостью и аэродинамическим сопротивлением. Как известно, теплообменник контактного типа различных компоновок — это часть котельной установки, в которой вода нагревается за счет прямого контакта холодной воды и горячих уходящих дымовых газов. Воду, как правило, используют для систем горячего водоснабжения. Температура дымовых газов после котельных установок порядка 130–190 °С. Дымовые газы после различного рода печей могут иметь значительно более высокую температуру (до 300–500 °С и выше). В этом случае утилизация теплоты (и охлаждение газов) просто необходима. Воду в контактном теплообменнике нагревают до возможно более высокой температуры (55–65 °С), близкой к температуре мокрого термометра. Температуру уходящих газов на выходе теплообменника для расчетов принимают равной 35–40 °С. Как известно, дымовые газы как источник вторичных энергоресурсов в полной мере характеризуют три величины — расход, температура и влагосодержание.

После разработки контактного теплоутилизатора для Донецкого химико-металлургического завода был сконструирован эффективный контактный утилизатор

(отчет о НИР/договор Министерства промышленности, энергетики и науки Свердловской обл. № 53/39, тема 1416: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ; рук. работы С. Я. Давыдов, Екатеринбург, 2005. — 65 с.). Высокая эффективность улавливания водяных паров и надежность работы аппарата обеспечиваются простыми в изготовлении и использовании устройствами, в результате чего происходит очистка тонкодисперсных туманов до регулируемой остаточной концентрации. Размещение теплообменных элементов в слое насадки уменьшает объем каплеуловителя, что снижает гидравлическое сопротивление аппарата. Кроме того, обеспечивается охлаждение продуктов сгорания до такой температуры, при которой удается сконденсировать максимально возможную часть водяных паров, содержащихся в газах, и использовать выделяющуюся при конденсации скрытую теплоту. Применяемое оборудование чрезвычайно просто для обслуживания, в нем используется дымовой газ, ранее выбрасываемый в атмосферу.

На базе известных разработок контактных теплоутилизаторов (пат. 2069829, пат. 2275559, пат. 2431100) для нагрева воды уходящими дымовыми газами котельных и тепловыми агрегатами авторами предложены новые конструкции. Новая конструкция контактного теплоутилизатора с каплеуловителем (пат. 2561791. Контактный теплоутилизатор с каплеуловителем / Давыдов С. Я., Корюков В. Н.) содержит каплеуловитель с пустотелыми

теплообменными элементами, которые сообщаются с вертикально установленным охладителем. Каплеуловитель позволяет снизить влажосодержание отходящих газов. В предложенной конструкции теплоутилизатора с установкой в каплеуловителе пустотелых теплообменных элементов в шахматном порядке, внутри которых циркулирует хладагент, усиливается отток тепла от насадки каплеуловителя. Размещение пустотелых элементов в слое насадки позволяет уменьшить ее объем, что значительно уменьшает гидравлическое сопротивление аппарата. В результате образуется дополнительный участок охлаждения дымовых газов. Снижение влажосодержания дымовых газов в контактном теплоутилизаторе позволяет их охладить весьма глубоко, вплоть до 20 °С.

В следующей разработке (пат. 147163. Контактный теплоутилизатор с каплеуловителем / Давыдов С. Я. и др.) патрубки оросителя и охладителя предлагается снабдить тепловым проводом для сообщения полостей охладителя с оросителем с помощью их патрубков.

Предложенные конструкции контактного теплоутилизатора могут быть применимы для утилизации дымовых газов, возникающих, например, в мартеновских, стекловаренных печах, в вагранках при прокаливании, например, кирпича, керамики, при нагреве слитков перед прокаткой и др. Применение продуктов сгорания природного газа в тепличном хозяйстве позволит решить одновременно две задачи — повысить урожайность и увеличить экономичность работы теплоагрегатов.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

УЛАВЛИВАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРЬЕРНОЙ ПЫЛИ ОГНЕУПОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

(✉)
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. т. н. **С. Я. Давыдов** (✉), д. т. н. **Н. М. Суслов, Т. Н. Черемисина**
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

Горные работы в карьерах, особенно буровзрывные, погрузочно-разгрузочные и транспортные, связаны со значительным загрязнением окружающей среды. В настоящее время только в России извлечено из недр и находится в отвалах и хвостохранилищах около 500 млрд м³ горных пород и отходов переработки полезных ископаемых. Список самых вредных производств и профессий по показателям вредности и с тяжелыми условиями труда возглавляют горные работы, поскольку производственная пыль — одна из наиболее распространенных профессиональных вредностей.

Разработка асбеста ведется преимущественно открытым карьерным способом с дальнейшим обогащением руды на фабриках. Асбестовая пыль выделяется на разных этапах производства асбеста и асбестоцементных изделий и квалифицирована как канцерогенное вещество. Опасно даже одно волокно асбеста, попавшее в легкие человека. Наибольшим фиброгенным действием обладают пылевые частицы, содержащие свободный SiO₂. Весьма опасна для здоровья пыль кварца, кристобалита и тридимита, образующаяся при производстве стекла и диносовых изделий. Такая пыль содержит более 90 % свободного SiO₂. Проблема очистки воздуха в карьерах весьма актуальна с точки зрения производительности работ по добыче породы, а также обеспечения санитарных норм, ограничивающих предельно допустимые концентрации в воздухе вредных газов и аэрозоля. Несмотря на большой объем и достигнутые успехи исследований до настоящего времени комплексного экологически безопасного и биологически продуктивного метода обеспыливания не существует.

Однако пыль является добавочным ценным сырьем для промышленных предприятий. Возможные пути использования пыли: в качестве целевых продуктов; возврат в производство, в технологии которого образуется данный вид пыли; переработка пыли в другом производстве с получением товарных продуктов; в сельском хозяйстве (в отдельных случаях в качестве удобрений); утилизация в строительных целях и др. Все горные породы (и пыль горных пород) делятся по способу образования на три группы: из-

верженные, осадочные и метаморфические. Изверженные породы (гранит, диорит) широко используются в производстве щебня, необходимого для получения высокопрочных бетонов, пыль осадочных пород (песка, каолина, глины, доломита, известняка) — в производстве строительных материалов, метаморфические породы (гнейс, кварцит, талькомагнезит) — в производстве огнеупорных материалов, пыль, образовавшаяся при разработке карьеров, — в строительной отрасли. Недавние исследования по потенциалу карьерной пыли на цементных смесях фокусировались на частичной замене песка. Около 30 % угля теряется в виде пыли во время добычи и от 50 до 60 млн т материала ежегодно остается под землей. Исследователи из университета имени Нельсона Манделы разработали новое топливо, которое произведено из комбинации водорослей и угольной пыли. Угольная пыль в качестве основного компонента является побочным продуктом процесса добычи угля. Это топливо, как утверждается, может оказать существенное положительное влияние на окружающую среду (<http://gisprofi.com/gd/documents/uchenye-proizveli-novoe-toplivo-iz-ugolnoj-pyli-i-vodoroslej.html>).

Выход из сложившегося положения — разработка новых способов пылеподавления и в то же время сбора пыли как ценного добавочного сырья для промышленных предприятий. Для решения этой задачи авторы предложили транспортное средство высокой проходимости (ТСВП). Разработанное ТСВП (заявка 2015157171. Транспортное средство высокой проходимости / Давыдов С. Я., Белов С. В., Черемисина Т. Н.) включает воздушную подушку для подбора и транспортирования пылеобразующих сыпучих материалов в условиях непроходимости по суше — например, в карьерах после взрывных работ, экскавации, при перемещении горной массы и др. Важнейшая задача разработки — использование ТСВП для сбора пылеобразующего сыпучего материала с поверхности грунта. Это позволяет экономить энергетические затраты на производство той же самой промышленной пыли, получая ее уже в готовом виде. Таким образом, ТСВП решает экологические, производственные и технические задачи.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ**СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ:
ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ**(✉)
E-mail: info@vulkantm.com© Д. т. н. **В. И. Золотухин** (✉), К. т. н. **Е. И. Гордеев, А. Г. Головкин, Д. А. Провоторов, Г. И. Ильин**
ООО НПП «Вулкан-ТМ», г. Тула, Россия

НПП «Вулкан-ТМ» на протяжении 20 лет является одним из ведущих российских производителей и поставщиков систем шиберной разливки стали. За время нахождения в сегменте рынка этого оборудования было спроектировано, изготовлено и внедрено в производство семь принципиально новых видов шиберных систем. Основными потребителями этого оборудования являются металлургические и литейные предприятия России и стран СНГ.

Одна из последних моделей шиберной системы ВТ 60/80 является прекрасной альтернативой присутствующим на российском рынке западным образцам. Модель позволяет осуществлять разливку стали из ковшей вместимостью от 30 до 150 т. Система ВТ 60/80 устанавливается на ковш без существенной переделки посадочных мест после использования на этом ковше систем европейских производителей. Благодаря оригинальному креплению шиберной плиты имеется возможность использования высококачественных огнеупоров как зарубежных производителей, так и отечественных. Эксплуатационные характеристики шиберной системы ВТ 60/80 соизмеримы с эксплуатационными характеристиками шиберных систем европейских производителей. Однако при сравнении экономической составляющей шиберные системы, предлагаемые НПП «Вулкан-ТМ», являются более привлекательными как для отечественных потребителей, так и для европейских заказчиков с учетом современной экономической ситуации в мире.

Кроме того, НПП «Вулкан-ТМ» постоянно расширяет и наращивает объемы собственного производства огнеупорных изделий. Огнеупорная керамика для шиберных затворов успешно поставляется как для разработанных и внедренных собственных систем, так и для сторонних производителей. Огнеупорные изделия для шиберных систем (стаканы-коллекторы, ковшевые стаканы, гнездовые блоки) имеют абсолютно идентичные эксплуатационные характеристики и физико-химические показатели, как и изделия, предлагаемые ведущими мировыми производителями.

В 2012 г. НПП «Вулкан-ТМ» была внедрена, а в 2014 г. успешно ресертифицирована система менеджмента качества ISO 9001, благодаря чему появилась возможность более эффективно управлять производством и поддерживать высокий уровень качества изделий, предлагаемых заказчику. В течение последних пяти лет кроме традиционно предлагаемых шиберных систем и комплекта огнеупоров к ним НПП «Вулкан-ТМ» освоило выпуск такого оборудования, как одно-, двух-, четырехручьевые трайб-аппараты для ввода порошковой проволоки в ковши, интенсивные смесители миксерного типа на 50 и 100 л, бухтоприемники для установки бухт порошковой проволоки и др. НПП «Вулкан-ТМ» готово также выполнять заказы по чертежам заказчика на изготовление огнеупорных изделий сложной конфигурации с заданными физико-химическими показателями.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ**ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ КЛАССИФИКАТОРОВ
ПРИ ОБОГАЩЕНИИ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ**(✉)
E-mail: v.b.ponomarev@urfu.ru© К. т. н. **В. Б. Пономарев** (✉), **Л. Э. Любвицкая, М. А. Девчик**
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Добываемый в карьерах песок не может использоваться в различных производствах без дополнительной обработки. Согласно ГОСТ 22551-77 для кварцевого песка, молотого песчаника, кварцита и жильного кварца регламентируются остатки на ситах с сетками № 08 и № 01. Традиционная схема обогащения песка включает дезинтеграцию и крупное грохочение в скруббер-бутах на ситах с размерами ячеек 1–5 мм, дешламацию и механическую оттирку, гравитационное обогащение и гидравлическую классификацию по границе 0,1 мм, магнитное дообогащение.

Современные требования к гранулометрическому составу песков предполагают более сосредоточенный фракционный состав. Например, для производства стекла содержание классов 0,1–0,4 мм должно составлять 95–97 %, проход через сетку 0,1 мм не более 2 %, а частицы крупнее 0,63 мм вообще не допускаются. Если на стадии крупного грохочения имеется возможность получения песков с меньшим содержанием крупных зерен при использовании сит с размерами ячеек ме-

нее 1 мм, то гидравлическая классификация по тонким границам вследствие своей низкой разделительной способности сможет обеспечить более жесткие требования к составу песков только при повышенных потерях товарной фракции.

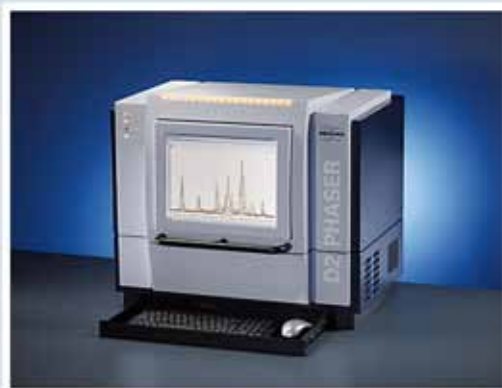
Анализ сепарационных характеристик гидроциклонов показывает, что эффективность сепарации по критерию Эдера – Майера и границе разделения 50–100 мкм составляет 30–50 %. Эффективность работы каскадных пневматических классификаторов при тех же условиях при разделении кварцевых песков не опускается ниже 65–70 %. Для сравнения результатов гидро- и пневмоклассификации была разработана математическая модель процесса сепарации кварцевых песков, которая показала, что выход товарного продукта при пневмоклассификации на 48 % выше, чем при гидросепарации, причем в гидроциклоне происходит значительная потеря целевых фракций — вынос классов +100 мкм в мелкий продукт, по данным расчета, около 56 %, а при пневматическом разделении — менее 9 % этих частиц.

● Волнодисперсионный спектрометр **S8 TIGER**



- Анализ элементов от бериллия (4) до урана (92)
- Уровень измеряемых концентраций от миллионных долей (ppm) до 100%
- Возбуждение мощностью 4 кВт и током до 170 мА, позволяющее сократить время измерения и повысить производительность
- Стабильность и воспроизводимость результатов в течение длительного периода
- Простое управление спектрометром при помощи сенсорного экрана
- Автоматический сменщик коллимирующих масок для анализа образцов разного размера

● Настольный дифрактометр для фазового анализа **D2 PHASER**



- Качественный и количественный анализ кристаллических фаз
- Определение размеров кристаллитов
- Быстрая съемка при помощи позиционно-чувствительного детектора
- Портативность, удобство и простота в эксплуатации

РЕКЛАМА

Bruker AXS

Innovation with Integrity

xray@bruker.ru
www.bruker.ru

● **ООО «Брукер»**
г. Москва 119017,
ул. Пятницкая д.50/2 стр. 1
Тел. (495) 517-9284, 517-9285
Факс (495) 517-9286

Региональные представительства:

Санкт-Петербург: (812) 323-4609
Екатеринбург: (343) 345-8592
Казань: (987) 290-8189
Новосибирск: (983) 121-6389

Так как операция магнитного обогащения требует предварительной сушки песка, целесообразна, на наш взгляд, установка дополнительной операции — сухой доочистки песков в каскадном пневматическом классификаторе при заниженной границе разделения в ги-

дравлической сепарации. Включение пневматического классификатора в производственную линию непосредственно на предприятии позволит корректировать необходимый гранулометрический состав песков от различных поставщиков.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

СОВРЕМЕННЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ В ОГНЕУПОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(✉)
E-mail: julia.rumyantseva@bruker.com

© К. ф.-м. н. **В. Н. Прибора** (✉)
Компания «Bruker», Москва, Россия

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

Элементный состав, или, как его называют, химический состав, удобно и быстро определяется методом рентгенофлуоресцентного анализа. Компания предлагает современные спектрометры: высокоскоростной последовательный S8 TIGER, многоканальный S8 LION, многоканальный с обзорным каналом S8 DRAGON, позволяющие количественно и с высокой точностью определять элементы от бериллия до урана в концентрациях от единиц ppm до 100 % в твердых, порошкообразных и жидких пробах. В частности, концерн «RHI Refractories» использует спектрометр S8 TIGER для контроля технологического процесса на нескольких заводах. Благодаря современному программному обеспечению спектрометры легко интегрируются в общую систему управления качеством на производстве.

Фазовый анализ образцов производится методом рентгеновской дифракции. Для решения этих задач

нами предлагаются дифрактометры D8 ADVANCE, D2 PHASER и D8 ENDEAVOR, позволяющие анализировать готовые образцы продукции и контролировать этапы производства. Использование термокамеры позволяет существенно расширить возможности аналитической лаборатории для моделирования процессов производства. Если объем производства незначителен либо требуется проводить анализы в «поле», то стоит обратить внимание на компактный дифрактометр D2 PHASER, требующий для работы только стандартную электророзетку. На крупных заводах с большим объемом производства необходимо рассматривать промышленный дифрактометр D8 ENDEAVOR, который встраивается в имеющуюся производственную линию и позволяет максимально автоматизировать процесс анализа.

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

ТЕПЛОТЕХНИКА

ТЕПЛОТЕХНИКА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУТЕРОВКИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

(✉)
E-mail: kun@etm-proekt.ru

© **А. А. Волков, В. Г. Кун** (✉), **А. Б. Усачев**
ООО «Институт Стальпроект», Москва, Россия

Институт «Стальпроект» по заказу ассоциации проектных организаций «ЭнергоТеплоМеталлургПроект» разработал стандарт «Проектирование футеровок нагревательных печей», принятый в качестве стандарта саморегулируемой организации (СРО) проектировщиков. СРО ассоциации «ЭнергоТеплоМеталлургПроект» объединяет около 100 проектных организаций, работающих в области металлургии, теплоэнергетики и промышленного строительства. Стандарт является информационным и рекомендательным пособием для проектировщиков футеровки

нагревательных печей прокатного производства и может использоваться при проектировании других печей высокотемпературного нагрева металла. Стандарт предлагает варианты выполнения футеровки и указывает на особенности ее проектирования. Футеровка из штучных огнеупорных материалов в этом стандарте не рассматривается, так как она хорошо отработана, широко описана в технической литературе и обосновывается инструкциями и указаниями, разработанными Стальпроект, Союзтеплостроем и Теплопроект.

Футеровку современных нагревательных печей изготавливают в основном из неформованных огнеупоров: жаростойких бетонов в различных вариантах выполнения и волокнистых огнеупорных и теплоизоляционных материалов. Применение неформованных огнеупоров взамен традиционных стандартных огнеупорных и теплоизоляционных изделий в футеровке тепловых агрегатов позволяет повысить их технико-экономическую эффективность из-за уменьшения тепловых потерь через ограждения и на аккумуляцию тепла кладкой, повышения стойкости футеровки, снижения сроков строительства печей и ремонта футеровки. Стандарт обобщает большой объем информации по теплофизическим характеристикам этих материалов и их применению, что значительно облегчает принятие окончательного решения по футеровке проектируемых печей и позволяет ускорить выполнение работы.

Для высокотемпературных нагревательных печей рекомендуется футеровку выполнять комбинированной с рабочим слоем из жаростойкого бетона и теплоизоляционным слоем из волокнистых материалов. Это связано с тем, что применение волокнистых жаростойких материалов в рабочем слое футеровки нагревательной печи вызывает опасность повреждения и разрушения этого слоя при соприкосновении с расплавленным металлом и факелом сжигаемого топлива. Стойкость высокотемпературных волокнистых материалов значительно ниже, чем жароупорных бетонов. В то же время стоимость высокотемпературного волокна весьма высока, а ее хорошие теплоизолирующие свойства в рабочем слое футеровки большого эффекта не дают. В приложениях к стандарту указана номенклатура неформованных огнеупоров — огнеупорных бетонов и волокнистых материалов, выпускаемых отечественными производителями в настоящее время.

ТЕПЛОТЕХНИКА

(✉)

E-mail: kun@etm-proekt.ru

РАСЧЕТЫ ТЕМПЕРАТУР ФУТЕРОВКИ И ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ ОГРАЖДЕНИЯ

© В. Л. Гусовский¹, И. А. Левицкий², А. Б. Усачев¹ (✉)¹ ООО «Институт Стальпроект», Москва, Россия² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

Институт «Стальпроект» разработал, а саморегулируемая организация «ЭнергоТеплоМеталлургПроект» оформила стандарт «Методические указания по проектным расчетам температурных полей в огнеупорных футеровках и тепловых потерь через ограждающие конструкции». Стандарт содержит графики для определения температур на границах слоев футеровки и тепловых потоков из рабочего пространства в окружающую среду для различных вариантов футеровки. Определение тепловых потоков, являющихся, по существу, тепловыми потерями, позволяет составить тепловой баланс печного агрегата или его частей, а знание температур на границах слоев футеровки — правильно выбрать материалы футеровки, исходя из допустимых температур ее службы. Для определения температур в точке соприкосновения слоев футеровки и тепловых потоков через футеровку были выполнены расчеты, представленные в графической форме. При расчетах принималось, что футеровка находится в стационарном состоянии — это соответствует условиям работы тепловых агрегатов непрерывного действия.

По жароупорным бетонам и волокнистым материалам отсутствуют зависимости теплопроводности от температуры в виде упрощенных двухчленных формул, удобных для применения в проектных расчетах. Такие зависимости для конкретных материалов были получены нами по экспериментальным данным путем их итерационной обработки. В результате были получены следующие формулы для теплопроводности λ , Вт/(м·К), волокнистых материалов:

– для шамотно-волокнистых плит ШВП-350 $\lambda = 0,12 + 0,00008t$,

– для матов из минеральной ваты МКРВ-200 $\lambda = 0,057 + 0,0001825t$.

В результате обработки данных изготовителей огнеупорных бетонов и волокнистых материалов приняты следующие значения для теплопроводности λ , Вт/(м·К):

- для тяжелых глиноземистых бетонов с содержанием Al_2O_3 80 % $\lambda = 2,5$,

- для тяжелых глиноземистых бетонов с содержанием Al_2O_3 50 % $\lambda = 1,1$,

- для легких (теплоизоляционных) бетонов с содержанием Al_2O_3 30 % $\lambda = 0,3$,

- для волокнистых блоков и плит $\lambda = 0,01 + 0,00028t$,

- для волокнистых матов (одеял) $\lambda = 0,0002625t$.

Для расчета коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м²·К), от наружной поверхности футеровки в окружающую среду использовали уточненную нами формулу $\alpha = 8,5 + 0,06t$.

Перед проведением расчетов были проанализированы конструкции футеровки и обобщен опыт использования различных футеровочных материалов для отбора наиболее часто используемых на практике. Сделаны расчеты для футеровки с внутренним слоем из плотного и легковесного шамота и наружного слоя из легковесного шамота различных марок при различном сочетании толщин. Кроме того, рассчитана однослойная футеровка из волокнистых матов (одеял), волокнистых плит и волокнистых блоков.

ТЕПЛОТЕХНИКА

РАСЧЕТ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ ЧЕРЕЗ ФУТЕРОВКУ СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ

(✉)

E-mail: vdzuser@yandex.ru

© Д. Т. Н. В. Я. Дзюзер (✉)

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

При проектировании стекловаренных печей расчет тепловыделений в атмосферу производственного здания выполняется раздельно для всех конструктивных частей теплового агрегата: варочной части, регенератора, дымовых каналов и каналов питателей стеклоформирующих машин. Достоверность полученных результатов зависит от степени детализации ограждающих поверхностей каждой части печи и корректности задания граничных условий теплопередачи. Последнее условие в определенной мере может быть обеспечено лишь для варочной части при использовании результатов математического моделирования тепловой работы печи, выполняемого после разработки технической стадии проекта.

Для упрощения процедуры расчета и повышения достоверности полученных результатов целесообразно представление объекта исследования в границах дымовая труба – питатели машин. В этом случае из расчета исключается ряд параметров, значения которых на стадии проектирования принимаются на основе практического опыта. К таким параметрам относятся: температура дыма на выходе из рабочего пространства, температура стекломассы на выходе из варочного бассейна и др. Формализация тепловой работы печи в указанных границах может быть выполнена системой взаимосвязанных уравнений теплового баланса.

Для варочной части печи, включающей рабочее пространство (зону генерации теплоты) и ванну (зону технологического процесса), уравнение теплового баланса имеет вид $Q_m + Q_v = Q_t + Q_{d.1} + Q_{ct.1} + Q_{x.n} + Q_{ф.п}$,

где Q_m , Q_v , $Q_{d.1}$, $Q_{ct.1}$, Q_t , $Q_{x.n}$, $Q_{ф.п}$ — тепловая мощность печи, физическая теплота воздуха, теплосодержание дыма и стекломассы на выходе из варочной части, теоретические затраты теплоты на стекловарение, химический недожог газа и потери теплоты через футеровку соответственно.

Тепловой баланс регенератора и дымовых каналов формализуется уравнением $Q_{d.1} = Q_v + Q_{d.2} + Q_{ф.р}$, где $Q_{d.2}$ и $Q_{ф.р}$ — теплосодержание дыма на входе в трубу, потери теплоты через футеровку регенератора и дымовых каналов соответственно; $Q_{ф.р} = (1 - \eta)Q_{d.1}$, где η — коэффициент, учитывающий потери теплоты через футеровку регенератора и дымовых каналов. С учетом преобразований получим $Q_{d.1} = (Q_v + Q_{d.2})/\eta$, $Q_v = \eta Q_{d.1} - Q_{d.2}$.

Для каналов стекломассы справедливо соотношение $Q_{ct.1} = Q_{ct.2} + Q_{ф.к}$, где $Q_{ct.2}$ и $Q_{ф.к}$ — теплосодержание стекломассы на выходе из каналов питателя и потери теплоты через футеровку каналов стекломассы соответственно. После преобразований с учетом $Q_{x.n} = 0,02Q_m$ получим обобщенное уравнение теплового баланса печи, из которого следует, что $Q_{ф.з} = 0,98Q_m - Q_t - Q_{d.2} - Q_{ct.2}$, где $Q_{ф.з}$ — суммарные потери теплоты через футеровку печи, $Q_{ф.з} = Q_{ф.п} + Q_{ф.р} + Q_{ф.к}$.

Все параметры, необходимые для расчета слагаемых в правой части обобщенного уравнения теплового баланса печи, задаются техническим заданием на проектирование печи. Таким образом, расчет суммарных тепловыделений через футеровку печи может быть выполнен уже на стадии эскизного проектирования.

ТЕПЛОТЕХНИКА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ И В НАЧАЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕТОННОЙ ФУТЕРОВКИ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. Н. А. В. Заболотский¹, К. Т. Н. Л. М. Аксельрод² (✉), Р. А. Донич³, Д. А. Марченко³¹ ООО «Группа «Магнезит», Санкт-Петербург, Россия² ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия³ ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

В процессе сушки бетонной футеровки необходимо удалять воду, находящуюся как в свободном состоянии, так и в связанном; в противном случае велика вероятность взрывного растрескивания при контакте с жидким металлом. Сушка, как правило, проводится при температуре до 400 °С, а режим сушки является компромиссным на основании рекомендаций производителя огнеупоров и требований потребителя к сокращению времени подготовки футерованного агрегата к работе. При этом невозможно с уверенностью сказать, что при существующей практике сушки бетонной футеровки толщиной до 350 мм происходит полное или даже достаточное удаление воды, поскольку изредка наблюдается взрывное разрушение футеровки на первой плавке либо уже после некоторого количества плавков — отслоение участков бетона. Достаточно часто визуально наблюдается выде-

ление влаги из футеровки при первых плавках (бурление металла у стенок промежуточного ковша или повышенное содержание водорода в готовом продукте — в стальной заготовке в начальный период разлива). Общепринято рекомендовать увеличение длительности сушки с выделением площадки при 200 °С, но вариантов кривых сушки для бетонной футеровки множество; каждый поставщик, исходя из своего практического опыта, дает соответствующие рекомендации.

Методика оптимизации режима термообработки футеровки при применении неформованных огнеупорных материалов должна учитывать наряду со свойствами бетона или торкрет-массы (такими, как скорость диффузии воды в материале) особенности расположения материала в футеровке, а также метод нагрева. Если используется газовая (мазутная) горелка, то сле-

дует учитывать и газодинамику процесса — это, как правило, односторонний нагрев с возможностью испарения воды только через нагреваемую поверхность.

Движущей силой диффузии воды в неравномерно нагретом твердом теле является перепад давления паров воды в его полостях, в том числе в сообщающихся порах, возникающий из-за разницы равновесного давления паров при разных температурах. При этом на начальном этапе сушки водяные пары в равной степени выделяются из тонкого наружного слоя в атмосферу и одновременно выдавливаются в более глубокие слои футеровки. С течением времени наружный слой полностью высушивается и влага из более глубоких слоев под действием перепада температур проникает все глубже и частично диффундирует к поверхности и испаряется. Таким образом, на определенном этапе (на котором зачастую процесс предварительного нагрева завершают) рабочая поверхность выглядит сухой, а при лабораторных испытаниях содержит незначительное количество влаги, в то время как глубинные слои могут иметь значительную влажность. В случае перелива жидкого

металла в ковш рабочий слой футеровки быстро прогревается, в глубинных (влажных) слоях футеровки возникает значительное давление водяных паров, которое, с одной стороны, вызывает ускоренную диффузию к поверхности, а с другой — при неблагоприятных условиях может вызывать механическое разрушение футеровки. Первый процесс как раз и ответственен за наблюдаемое бурление около стен агрегатов и повышенное содержание водорода в металле на первых плавках.

В настоящее время в Группе Магнезит внедряется методика расчета режима термообработки бетонов, основанная на лабораторном исследовании диффузии воды из материала при различных температурах и последующей математической обработке результатов. При этом проводится моделирование температурных полей, возникающих при нагреве материала, и процесса диффузии воды в полученном температурном поле. Для достоверного расчета режима термообработки создается лабораторная установка для автоматизированного испытания неформованных материалов, позволяющая практически определять температурные поля и скорость диффузии воды.

ТЕПЛОТЕХНИКА

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ВЕРМИКУЛИТА

(✉)

© Д. т. н. А. И. Нижегородов (✉)

E-mail: nastromo_irkutsk@mail.ru

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

Вспученный вермикулит является востребованным сырьевым ресурсом для производства огнеупорных, огнезащитных, тепло- и термоизоляционных материалов, но его получение — весьма энергоемкий процесс. С появлением электрических модульно-спусковых печей удельную энергоемкость обжига удалось существенно снизить. Первые такие печи были созданы в 2003–2008 гг. в Иркутске (ООО «Квалитет»). Печи были габаритными, рабочие поверхности модулей обжига длиной 910–920 и шириной 920–1265 мм были слишком велики. Поэтому в нижних частях модулей из-за ускоренного движения вспучивающихся зерен вермикулита по наклонным поверхностям резко снижалась его концентрация, а тепловое излучение электрических нагревателей не столько попадало на зерна, сколько рассеивалось в плоском незамкнутом пространстве модулей. Удельная энергоемкость обжига в первой опытной печи составляла в среднем для различных концентраций 250,1 мДж/м³. Далее была создана шестимодульная печь с короткими модулями (~0,297 м), что повысило концентрацию материала и привело к снижению средней энергоемкости до 235,4 мДж/м³. Это дополнительно уменьшило энергозатраты на 6,2 %.

Анализ этих печей показал, что на верхнем модуле 1 кВт его мощности обеспечивает максимальное снижение кажущейся плотности; во втором, третьем и последующих эффективность существенно снижается. Стало очевидно, что процессы теплоусвоения и структурообразования вермикулита наиболее интенсивны на начальном этапе обжига, энергетически эффективным является только верхний модуль, а КПД модулей уменьшаются от верхнего к нижнему. Например, для шести-

модульной печи КПД распределяется так: $\eta_1 = 0,25$; $\eta_2 = 0,052$; $\eta_3 = 0,234$; $\eta_4 = 0,0124$; $\eta_5 = 0,034$; $\eta_6 = 0,0012$.

Еще одна структурная трансформация печей — изменение порядка сопряжения модулей — дала более радикальный результат. Изменение конструкции путем переноса нижнего модуля из цепи последовательных сопряжений в параллельное сопряжение с первым (верхним) модулем привело к изменению показателей энергетической эффективности. Печь с последовательно-параллельным сопряжением модулей (ППС-печь) дала снижение энергоемкости обжига до 196,8 мДж/м³, или на 21,3 %. Дальнейшие исследования показали, что полный КПД даже у ППС-печи составляет всего $\eta_n \approx 0,43$, а это значит, что 57 % тепловой энергии, излучаемой нагревателями, несмотря на эффективную термоизоляцию модулей теряется безвозвратно.

Это обстоятельство привело к новому решению — конструкции печи с дополнительным неэлектрифицированным модулем, использующим энергию вермикулита, усвоенную им при движении по электрическим модулям, работающим в пониженном температурном режиме. Накопленная теплота за счет кондукции по пластинкам вермикулитовых зерен переносится внутрь, завершает дегидратацию и механическую работу — структурообразование глубинных слоев. Около 45 % тепловой энергии, накопленной вермикулитом в процессе теплоусвоения, остается в нагретом до 700–720 °С, но недовспученном материале. Без дополнительного модуля эта энергия рассеивалась после выхода вспученного вермикулита из печи. Если дегидратацию оставить частично незавершенной и перенести ее окончание в дополнительный модуль, то можно сэкономить электроэ-

нергию, настроив печь на пониженный температурный режим. Предварительный анализ модели теплоусвоения вермикулита с учетом этой энергии показал, что применение дополнительных модулей может повысить к. п. д. электрических печей, снизить энергоемкость обжига примерно на 12 % и довести ее до 173 мДж/м³, а эксперименты с опытной печью подтвердили этот результат (10,5 %).

ППС-печи с дополнительными неэлектрифицированными модулями могут иметь различные варианты выполнения. Например, иметь по два электрифицированных модуля, соединенных последовательно с

Г-образным, дополнительным в едином блоке, но относительно себя блоки сопряжены параллельно. После этого два параллельных потока всучиваемого вермикулита встречаются в суммирующем неэлектрифицированном модуле, где концентрация материала увеличивается вдвое, обмен тепловой эксэргией между зернами интенсифицируется, вермикулит окончательно дегидратирует и всучивается. Возможны и другие, более сложные комбинации электрифицированных и дополнительных модулей, что позволит дополнительно уменьшить энергоемкость обжига до 150–160 мДж/м³ и ниже. Исследования продолжаются.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ЖАРОСТОЙКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОГНЕУПОРНЫХ ВОЛОКОН, ФОСФАТНЫХ И МАГНЕЗИАЛЬНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

(✉)

E-mail: uralniist@mail.ru

© К. т. н. **В. А. Абызов**¹ (✉), к. т. н. **Ч. Г. Пак**², **П. И. Серов**²

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

² ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия

Теплоизоляционные материалы на основе огнеупорного волокна отличаются от штучных легковесных материалов рядом ценных преимуществ — более низкой средней плотностью и теплопроводностью, высокой энергоэффективностью теплоизоляции. Наибольшее распространение получили материалы на основе муллитокремнеземистого волокна с огнеупорной глиной, кремнезолью, органическими связующими. Органические связки в процессе высокотемпературного нагрева изделий выгорают, происходит разупрочнение, изделия на основе огнеупорной глины требуют сушки и обжига, а материалы на кремнезольях характеризуются невысокой эксплуатационной прочностью. Повысить температуру применения и улучшить физико-механические свойства изделий на основе огнеупорных волокон можно за счет использования более стабильных при высоких температурах связующих — фосфатных и магнезиальных, которые широко используют в технологии жаростойких и огнеупорных бетонов.

При проведении исследований в качестве связующих использовали сернокислый магний по ТУ 6-18-153-82 и каустический магнезит, а также алюмосиликофосфатные связки, полученные нейтрализацией 60 %-ной ортофосфорной кислоты огнеупорным волокном. В качестве волокнистого компонента при изготовлении изделий использовали муллитокремнеземистое волокно МКРР-130 и хромосодержащее волокно МКРРХ-150 по ГОСТ 23619 Сухоложского огнеупорного завода. Магнезиальное связующее применяли в виде водного раствора сернокислого магния плотностью 1,2 г/см³. На алюмосиликофосфатном связующем, муллитокремнеземистом волокне и шамоте фракции мельче 5 мм были получены изделия средней плотностью 380–420 кг/м³, их температура применения не выше 1200 °С, предел прочности изделий

при сжатии 0,6–0,8 МПа. Конечным продуктом перекристаллизации фосфатов в связке является AlPO₄ кристобалитового типа. С использованием магнезиального связующего были получены изделия средней плотностью 250–400 кг/м³ с пределом прочности при изгибе 0,2–0,45 МПа. Введение добавки огнеупорной глины позволило повысить предел прочности при изгибе до 0,6 МПа, средняя плотность изделий возросла до 500 кг/м³. Температура применения составила 1150 °С, причем использование хромосодержащего волокна повысило ее до 1300 °С. Методами физико-химического анализа установлено, что при нагревании в связующем протекают процессы дегидратации сульфата магния и формирования муллита.

Для снижения усадочных деформаций и повышения прочности изделий целесообразно также вводить огнеупорные заполнители. Введение вермикулита и каустического магнезита в изделия на магнезиальном связующем обеспечивает повышение предела прочности при изгибе до 0,5 МПа при средней плотности изделий 700 кг/м³. Использование шамотного заполнителя фракции мельче 5 мм повышает предел прочности при сжатии до 2,5–4,0 МПа, снижает усадку; средняя плотность изделий составляет 900–1100 °С.

Таким образом, использование магнезиального и фосфатного связующих в сочетании с огнеупорными заполнителями обеспечивает улучшение физико-механических показателей изделий на основе муллитокремнеземистого и хромосодержащего муллитокремнеземистого волокна. Разработаны рекомендации по составам и технологии получения волокнистых материалов на магнезиальном и фосфатном связующих; выпущены опытные партии изделий; проводятся их промышленные испытания в футеровке тепловых агрегатов с температурой применения 1200–1300 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ВЯЖУЩИЕ И ЯЧЕИСТЫЕ ЖАРСТОЙКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ
АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОТИТАНА**(✉)
E-mail: uralniist@mail.ru© К. т. н. **В. А. Абызов** (✉), **Д. А. Речкалов**, **С. Н. Черногорлов**
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

В настоящее время для высокотемпературной теплоизоляции широко используют легковесные обожженные материалы ячеистой структуры (пеношамот, пенокорунд), а также материалы на основе огнеупорных волокон со связующими. Более эффективными являются ячеистые жаростойкие бетоны на глиноземистых вяжущих и фосфатных связующих, не требующих обжига. Из таких бетонов можно изготавливать изделия крупного размера и сложной формы. В качестве заполнителей в таких бетонах используют огнеупорные материалы — шамот, корунд, глинозем, а также различные высокоглиноземистые промышленные отходы. Повысить эффективность ячеистых жаростойких бетонов и снизить их себестоимость можно за счет замены заполнителей высокоглиноземистыми шлаками алюминотермического производства ферросплавов.

В настоящее время на Ключевском заводе ферросплавов на основе шлака алюминотермической выплавки ферротитана получают продукт плавильный глиноземистый ППГ-65 (не менее 65 % Al_2O_3), а из шлака металлического хрома — ППГ-75 по ТУ 0798-069-00186482–2011. Минеральный состав ППГ-65 представлен огнеупорными соединениями — бонитом Ca_6 , Ca_2 , перовскитом и небольшими количествами шпинели. Это обуславливает высокую огнеупорность продукта в зависимости от его химического и минерального составов в интервале 1720–1770 °С. В работе был использован заполнитель из ППГ-65 фракции мельче 5 мм и вяжущее из глиноземистого цемента марки ГЦ-50 по ГОСТ 969 (производитель цемента — Пашийский цементно-металлургический завод), модифицированного добавкой ППГ-65К (разновидность, обогащенная CaO и содержащая большее количество Ca и Ca_6 по сравнению с ППГ-65).

На основе полученных заполнителей и вяжущих были разработаны ячеистые жаростойкие бетоны (газобетоны). В качестве газообразователя применяли

алюминиевую пудру марки ПАП-2 по ГОСТ 5494, для улучшения процесса вспучивания в газобетонную смесь дополнительно вводили щелочь ($NaOH$). Для улучшения прочностных характеристик вводили добавки на основе эфиров поликарбоксилатов — Melflux 1641F, Melflux 2651F. Средняя плотность газобетона 700–900 кг/м³, предел прочности при сжатии 3,0–4,0 МПа, температура применения до 1300 °С.

Использование мелкого заполнителя на основе ППГ-75 (содержание Al_2O_3 не менее 75 %) позволяет повысить предел прочности при сжатии газобетона в зависимости от средней плотности до 3,2–4,5 МПа при одновременном увеличении остаточной прочности после нагревания до 1000 °С до 70–80 %. Температура применения также возрастает до 1400 °С.

Так как плавильные продукты алюминотермического производства ППГ-65 и ППГ-75 содержат алюминаты кальция и обладают химической активностью по отношению к фосфатным связующим, они были использованы для получения ячеистых фосфатных бетонов. На основе алюмомагнийфосфатного связующего был получен газобетон, твердеющий в режиме самораспространяющейся экзотермической реакции, с температурой применения на заполнителе из ППГ-65 до 1400 °С, из ППГ-75 до 1600 °С. Средняя плотность бетона 800–900 кг/м³, а предел прочности при сжатии 4,5–6,0 МПа, что существенно выше, чем при использовании корунда. Улучшение прочностных показателей может быть объяснено взаимодействием фосфатной связи с поверхностью мелкого заполнителя, обуславливающим высокую адгезию заполнителя к фосфатному цементному камню. В дальнейшем были выпущены опытные партии изделий из разработанных жаростойких бетонов на модифицированных глиноземистых и фосфатных вяжущих и заполнителях на основе ППГ-65 и ППГ-75; проводятся испытания изделий в промышленных условиях

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**КЛЕИ И ЯЧЕИСТЫЕ ЖАРСТОЙКИЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ
И ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**(✉)
E-mail: uralniist@mail.ru© К. т. н. **В. А. Абызов** (✉), **Е. Н. Ряховский**
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия

В отличие от традиционных мертелей, приобретающих прочность в процессе обжига, материалы на основе фосфатных связующих (фосфатные цементы, клеи, растворы) отличаются низкой температурой отверждения, повышенной адгезией к огнеупору и высокими физико-механическими показателями. Однако жидкие фосфатные связующие без заполнителя плохо удерживаются в шве кладки, а их смеси с огнеупорными заполнителями характеризуются коротким сроком схватывания. Соот-

ветственно, их необходимо готовить непосредственно перед применением, что не всегда технологично. Кроме того, в качестве заполнителей обычно используют дорогостоящие дисперсные гидроксид алюминия, глинозем, корунд и их смеси. Актуальным направлением повышения эффективности клеев является снижение себестоимости при одновременном улучшении их сохраняемости (длительного сохранения свойств готового клея, в частности текучести).

В качестве заменителей глинозема и гидроксида алюминия могут быть использованы дисперсные высокоглиноземистые промышленные отходы, не содержащие вредных примесей и активные по отношению к ортофосфорной кислоте (ОФК). В данной работе были использованы диалюминия триоксид с содержанием Al_2O_3 не менее 68 % производства ЗАО «Каучук» (г. Стерлитамак) по ТУ 2123-093-16810126-2004 и высокоглиноземистые отсеивы носителя катализатора с содержанием Al_2O_3 не менее 95 % производства ОАО «Катализатор» (г. Новосибирск) по ТУ 6-68-167-99, представляющие собой продукт скоростного обжига гидроксида алюминия. На основе этих высокоглиноземистых отходов, ОФК и модифицирующих добавок, содержащих алюминаты кальция, получены жидкие фосфатные клеи, сохраняющие текучесть не менее 60 сут без заметной седиментации. Введение модификаторов обеспечивает частичный переход катионов Al^{3+} в жидкую связку, позволяя регулировать вязкость и срок схватывания. Предел прочности клея при сдвиге оценивали на шамотных образцах. После сушки при 300 °С он составлял не менее 3 МПа, после 1000 °С не менее 4,5 МПа, после нагрева до температуры применения не менее 6 МПа. Основные фазы после обжига — корунд и фосфаты алюминия в кристобалитовой и тридимитовой формах.

Изучение огнеупорных свойств показало, что фосфатный огнеупорный клей может использовать-

ся в футеровке, эксплуатируемой при 1650–1700 °С, а также в качестве обмазок с заполнителями из шамота и корунда. На фосфатный клей разработаны ТУ 1526-002-53829862-2001 «Клей огнеупорный», организовано промышленное производство. Фосфатный огнеупорный клей используют вместо мертелей при выполнении футеровки арматурной зоны промежуточных ковшей в черной металлургии, вертикальных каналов, сводов и торцевых стен мартеновских печей, а также в нагревательных печах (включая свод) на ЧТПЗ и в ОАО «Мечел». При этом межремонтный срок повышается более чем в 2 раза.

Так как обмазки и растворы на основе разработанного клея и шамота обладают высокими прочностными показателями, исследовали применение клея в качестве связующего для жаростойкого фосфатного газобетона с шамотным заполнителем (фракции <2,5 мм). Был получен газобетон, твердеющий в режиме самораспространяющейся экзотермической реакции, протекающей в сырьевой смеси из фосфатного клея, шамотного наполнителя и дисперсного металлического алюминия. Средняя плотность материала составляла 600–800 кг/м³, предел прочности при сжатии через 4 ч после изготовления 2,5–3,5 МПа, температура применения до 1500 °С. В настоящее время исследуют изменение фазового состава газобетона в процессе нагревания и его жаростойкие и физико-механические свойства.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОМПОЗИЦИОННАЯ КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

(✉)
E-mail: felix.akopov@mail.ru

© К. т. н. **Ф. А. Акопов**¹ (✉), К. т. н. **М. А. Андрианов**², К. т. н. **М. Б. Шавелкина**¹,
К. ф.-м. н. **Т. И. Бородин**¹, **Г. Е. Вальянов**¹, К. т. н. **Л. Б. Боровкова**¹, д. ф.-м. н. **Р. Х. Амиров**¹,
В. В. Ткаченко²

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

² ООО «Микробор композит», Москва, Россия

Благодаря возможности регулировать свойства высокотемпературная керамика на основе нитрида бора находит применение в ракетно-космической и авиационной технике (детали проточного тракта струйной системы), в машиностроении (сепараторы высокоскоростных подшипников, лопатки газотурбинных двигателей), стекольной промышленности (термостойкие детали керамических пресс-форм для прессования изделий из стекла). Как известно, добавки нанопорошков способствуют активации спекания керамики, понижению температуры спекания, а также улучшают механические свойства спеченного материала.

В данной работе приведены результаты исследования композиции на основе кубического нитрида бора (>70 мас. %) с нанодобавками Al_2O_3 , TiC и графенов — двухмерных кристаллов с единичной графитовой плоскостью, в которой sp^2 -гибридизированные атомы углерода образуют гексагональную решетку. Нитридборная керамика имеет большую долю ковалентных связей и, следовательно, низкие скорости диффузии, при этом уплотнение на технологических переделах обычными

методами спекания во многих случаях невозможно. Поэтому для получения плотной керамики на основе BN использовали метод жидкофазного спекания.

Для повышения трещиностойкости нитридборной керамики в ее состав вводили графены, полученные в объеме при пиролизе ацетилена в аргоновой плазме при 200 Торр в плазмоструйном реакторе. Латеральный размер графенов составлял 50–600 нм. Добавку графенов вводили в количестве 0,05, 0,5 и 1 мас. %. Исходные материалы в виде порошков смешивали в жидкой безводной среде в присутствии органических пластификаторов.

Крупноразмерные цилиндрические заготовки композита получали одноосным прессованием на промышленном гидравлическом прессе. Отпрессованные и предварительно высушенные заготовки помещали в пиррофиллитовый контейнер, предназначенный для спекания в прессах сверхвысокого давления. Термобарическую обработку композитов на основе кубического нитрида бора осуществляли при давлении не более 5,5 ГПа и температуре не ниже 1450 °С на прессе с автома-

Содержание графенов, %	$\rho_{\text{каж}}, \text{ г/см}^3$	$P_{\text{отк}}, \%$	$\sigma_{\text{изг}}, \text{ МПа}$
0	3,47–3,50	0,5–1,5	–
0,05	3,491	0,631	730
0,5	3,495	0,892	820
1,0	3,435	1,535	730

тизированной системой управления и контроля. Спеченные композиты шлифовали по плоскости, а затем разрезали на образцы для дальнейших испытаний.

Кажущуюся плотность $\rho_{\text{каж}}$ и открытую пористость $P_{\text{отк}}$ образцов определяли методом насыщения кероси-

ном, среднюю прочность — по стандартным методикам измерения предела прочности при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$. Полученные данные представлены в таблице. Композиционная керамика на основе нитрида бора, содержащая 0,5 мас. % графенов, имеет несколько более высокую прочность, чем составы с 0,05 и 1,0 мас. % графенов. Таким образом, в результате проведенных исследований установлена возможность получения композиционных материалов на основе нитрида бора, содержащих графены. Определены составы и установлены режимы получения керамики.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛИДНЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), К. Т. Н. Т. В. Ярушина², К. Т. Н. А. В. Заболотский³

¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

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

³ ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

В процессе совершенствования периклазошпинелидных огнеупоров, предназначенных в первую очередь для футеровки агрегатов внепечной обработки стали, огнеупоры марки ХПП-1 в патрубках вакууматоров RH и в нижнем строении камеры вакууматоров достигли стойкости, соответствующей стойкости огнеупоров зарубежных производителей. Впервые помимо оценки огнеупоров после службы и лабораторных исследований опирались на результаты моделирования термомеханических процессов, протекающих во внутренней футеровке патрубков, методом конечных элементов. Моделирование показало, что в условиях воздействия на плотную футеровку (из шлифованных изделий) знакопеременного температурного воздействия, когда температура рабочей поверхности варьируется от 1650–1700 °С во время обработки металла до 800–900 °С в межплавочный период, возникают увеличенные тепловые нагрузки, провоцирующие локальное пластическое разрушение. При расчете определены критические участки футеровки с точки зрения тепловой нагрузки. Как показала практика, термическое растрескивание огнеупоров наблюдается хоть и не всегда, но именно на этих участках футеровки.

Визуальным обследованием футеровки во время эксплуатации обнаружено, что зона повреждения возникает и постепенно расширяется уже в течение первых циклов вакуумирования, что значительно снижает стойкость футеровки. Одним из способов минимизации тепловых напряжений может служить сокращение времени между подогревом футеровки вакууматора и первой плавкой, а также уменьшение межплавочных периодов. Другой способ — повышение прочности при сжатии и изгибе применяемых огнеупоров в рабочем температурном диапазоне. Внедрена технология пропитки изделий растворами солей магния и алюминия с последующей термообработкой огнеупоров, позволяющая существенно улучшить прочностные свойства и тем самым минимизировать растрескивание патрубков вакууматоров на стадии разогрева. Кроме того, снижение доли проникаемых пор препятствует проникновению шлака вглубь структуры огнеупора и взаимодействию шлаковых фаз с его матрицей с образованием жидких алюминатов кальция или твердых типа шпинели $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и двухкальциевого силиката $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, с повышением плотности пропитанных участков и последующим скалыванием при остывании футеровки в межплавочные периоды.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ХРОМИТОПЕРИКЛАЗОВЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ ВЕЛЬЦ-ПЕЧИ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), К. Т. Н. Т. В. Ярушина², И. Г. Маряев², В. Л. Нечунаев³, А. Л. Андриевских³

¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

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

³ ООО «Группа Магнезит», г. Павлодар, Республика Казахстан

Выполнен комплекс исследовательских работ, направленных на повышение стойкости вельц-печей цинкового производства. Изучены факторы износа и разработана методика совершенствования структуры хромитопериклазового огнеупора, основанная на анализе процесса коррозионного воздействия реакционной шихты. Замена природной хромовой руды на периклазохромитовый

клинкер позволила получить более совершенный хромитопериклазовый огнеупор с улучшенными стабильными показателями предела прочности при сжатии (80–100 МПа), открытой пористости (<15 %) и температуры начала размягчения под нагрузкой (не ниже 1580 °С). Особенности структуры новых огнеупоров марки ГМХП-2SP — хорошее качество керамической связи между

компонентами шихты, широко развитая и равномерно распределенная шпинельная фаза, а также значительное количество вторичных хромшпинелидов, также равномерно распределенных в матрице обожженного огнеупора и предопределяющих его повышенную износостойчивость в службе.

В лабораторных условиях разработана методика моделирования процесса внедрения расплава реакционной шихты в структуру огнеупора при температуре службы футеровки. Установлено, что процесс износа периклазохромитовых огнеупоров в вельц-печи проходит по фронтальной схеме через ряд последовательных преобразований микроструктуры. Важнейшие преимущества огнеупоров ГМХП-2SP — низкие теплопроводность

и газопроницаемость структуры, а также проявление в процессе службы защитных свойств матрицы за счет образования сложных шпинелидов $(\text{Mg,Fe,Zn})(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{O}_4$ на границах зерен периклаза, предохраняющих их от коррозии. Структурные изменения огнеупора под воздействием корродиента в образцах после тестовых испытаний в лабораторной вращающейся печи корреспондируют с аналогичными структурными изменениями в образцах футеровки после промышленных испытаний хромитопериклазовых огнеупоров ГМХП-2SP. Применение огнеупоров ГМХП-2SP в футеровке реакционной зоны вельц-печи обеспечило стабильное ведение технологического процесса с высокой производительностью и увеличением межремонтного периода.

ОБРАЗОВАНИЕ МИКРОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ ПРИ КОНТАКТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО МИНЕРАЛА С РАСПЛАВЛЕННЫМ АЛЮМИНИЕМ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: davidovtrans@mail.ru

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

Неформованные алюмосиликатные огнеупоры, применяемые в виде кусковых, порошковых и волокнистых материалов, а также паст и суспензий, могут быть сухими, полусухими, пластичными и жидкотекучими. Однако присутствие остаточной воды (кристаллизационной или адсорбированной) в огнеупорном материале может вызывать химические процессы, меняющие состав как самого огнеупора, так и контактирующего с ним материала.

Цель настоящей работы — исследование модельного контактного взаимодействия необожженного алюмосиликатного минерала, содержащего кристаллизационную воду, с расплавленным алюминием. Навеску первичного алюминия (марка А0) массой 50 г плавил в алундовом тигле. При 690 °С в расплав вводили 5 г кремнеземсодержащей порошковой шихты — алюмосиликатный минерал каолинит $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, содержащий кристаллизационную воду. После введения шихты расплав выдерживали в течение 1 мин для его обработки продуктами реакции водяного пара, образующегося при термической дегидратации каолинита, с расплавленным алюминием. Затем расплавленный алюминий сливали в кристаллизатор. Структуру и химический состав закристаллизовавшегося металла регистрировали с помощью растрового электронного микроскопа JSM JEOL 6390LA, интегрированного с микрорентгеноспектральным энергодисперсионным анализатором.

Установлено, что алюмосиликатный минерал, контактируя с металлическим расплавом, выделяет кристаллизационную воду. При этом образующиеся пары воды служат источником водорода, восстанавливающегося до молекулярного состояния расплавленным алюминием: $3\text{H}_2\text{O} + 2\text{Al} = 3\text{H}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$. В результате этого в структуре металла обнаруживаются включения микрочастиц кремния, образовавшихся за счет восстановления SiO_2 расплавленным алюминием и водородом: $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} = 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$, $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2 = \text{Si} + 2\text{H}_2\text{O}$. Присутствие водорода способствует интенсивному восстановлению кремнезема и образованию в расплавленном металле большого числа микрочастиц кремния. Преобладающий линейный размер частиц кремния в матрице алюминия составляет 0,5–1,5 мкм. По результатам анализа частицы содержат около 97 % кремния и 2–3 % матричного металла. При этом общая массовая доля кремния в металле достигает 10 %.

Таким образом, в результате контактного взаимодействия расплавленного алюминия с алюмосиликатным минералом, содержащим кристаллизационную воду, образуется кремнийсодержащий металлический материал. При этом присутствие воды в исходном минерале способствует интенсивному восстановлению кремнезема и образованию большого числа микрочастиц кремния.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ КАРБОНАТА ЛИТИЯ НА СВОЙСТВА ХОЛОДОНАБИВНОЙ ПОДОВОЙ МАССЫ В КАТОДНОЙ ФУТЕРОВКЕ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: bazhin-alfail@mail.ru

© Д. т. н. В. Ю. Бажин (✉), А. В. Сайтов
ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Одним из основных показателей работы алюминиевых электролизеров является срок службы футеровки катодного устройства. Наиболее проблемным местом катода являются межблочные и периферийные швы с холодно-

набивной подовой массой (ХНПМ). Во время работы электролизера при взаимодействии криолит-глиноземного расплава с набивкой происходит диффузия натрия в открытые поры углеграфитового материала, которая вы-

зывает разрыхление и образование разрывов с микротрещинами, что в конечном итоге приводит к проникновению расплава в огнеупорную часть футеровки.

Важными свойствами подовых масс, которые могут влиять на срок службы ванны, являются уплотняемость, качество углеродного наполнителя и физико-механические свойства, такие как кажущаяся плотность, открытая пористость, предел прочности при сжатии, а также удельное электросопротивление, снижение которого позволило бы уменьшить затраты электроэнергии и падение напряжения в швах подины алюминиевого электролизера.

Улучшение свойств может быть достигнуто путем применения в холоднонабивной подовой массе модифицирующей добавки — карбоната лития (в жидком углеродном связующем). Добавка LiCO_3 обеспечивает снижение негативных эффектов, связанных с адсорбцией натрия в катодных материалах, поскольку атомы лития из-за маленького радиуса, в отличие от других щелочных металлов, способны внедряться в слои и поры угольного материала без искажения кристаллической структуры углерода. Известно, что углеграфитовые материалы имеют свойство образовывать фазы внедрения при постепенном нагреве благодаря их слоистой структуре и протеканию реакции взаимодействия (интеркаляции) в межслоевых

пространствах углерода и графита с высокой скоростью. При интеркаляции лития происходит его взаимодействие с узлами решетки графита с образованием устойчивых соединений LiC_6 , при котором изменяются структура и свойства основного наполнителя ХНПМ. Повышается также прочность массы с увеличением плотности материала на 5–6 % за счет металлизации внутренних слоев; в этом случае доля связующего возрастает при сохранении общих свойств массы.

При исследовании полученных образцов установлено, что происходит снижение удельного электрического сопротивления и пористости, а прочность швов увеличивается. По сравнению со стандартным образцом кажущаяся плотность обожженной холоднонабивной массы с добавкой карбоната лития увеличилась с 1,38 до 1,45–1,53 г/см³, открытая пористость снизилась на 2 %, а удельное электросопротивление на 30 %; при этом предел прочности при сжатии повысился от 8 до 10–12 МПа. Таким образом, использование модифицированной ХНПМ улучшает эксплуатационные свойства и повышает стойкость катода, а следовательно, увеличивает срок службы электролизера и его производительность. Это позволяет улучшить сортность получаемого алюминия при снижении удельного расхода электроэнергии.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: olimp@ism.ac.ru

РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПРЕССОВОЙ ОСНАСТКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

© К. т. н. **П. М. Бажин**^{1,2}, д. ф.-м. н. **А. М. Столин**^{1,2} (✉), **А. П. Чижиков**¹, к. т. н. **Д. В. Кузнецов**²

¹ ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН», г. Черноголовка Московской обл., Россия

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

Широкое распространение для защиты деталей и восстановления их после износа получили методы электроискрового легирования (ЭИЛ) и электродуговой наплавки (ЭП). Эти методы применяются для нанесения износостойких, коррозионно- и жаростойких покрытий, снижения коэффициента трения поверхностей, восстановления изношенных деталей и других целей. Благодаря широкой гамме материалов, которые могут быть использованы при ЭИЛ и ЭП, участию межэлектродной среды в процессе формирования поверхностных слоев можно изменять в широких пределах механические, термические, электрические и другие свойства рабочих поверхностей деталей.

Принципиально новый подход к организации технологического процесса получения электродов для ЭИЛ и ЭП открывается в связи с применением метода СВС-экструзии. Этот метод сочетает процесс горения экзотермической смеси исходных компонентов и сдвиговое деформирование горячих продуктов синтеза. Подбирая соответствующим образом компоненты твердой основы, связки и легирующие добавки, варьируя технологическими параметрами процесса СВС-экструзии, можно получать электродные композиционные и керамические материалы с требуемым набором свойств. На сегодняшний день методом СВС-экструзии получено более 50 составов электродных материалов различного функционального

назначения. Защитные покрытия, полученные из этих электродов, являются многофункциональными: повышают износостойкость, коррозионную стойкость и жаропрочность обрабатываемых деталей.

Варьированием состава исходного СВС-электрода и параметров технологических процессов можно регулировать толщину легированного слоя при ЭИЛ в интервале 5–150 мкм, при ЭП — в интервале 0,5–3 мм, шероховатостью поверхности в интервале R_z 10–160. Установлено, что процессы ЭИЛ и ЭП сопровождаются диффузионным взаимодействием материалов электрода и подложки в пограничном слое. Происходят проникновение частиц материала электрода в стальную подложку на глубину до 30 мкм, а также обратная диффузия железа в материал покрытия. Взаимная диффузия компонентов покрытия и стальной подложки обуславливает их высокую адгезионную прочность, что положительным образом сказывается на работе обработанной детали или инструмента в экстремальных условиях абразивного изнашивания.

Как показали исследования, на поверхности подложки образуется слой с микротвердостью до 14 ГПа. Микротвердость от поверхности легированного слоя к сердцевине подложки уменьшается, что указывает на наличие переходного слоя и образование на поверхности состава, примерно схожего с материалом обра-

батываемого СВС-электрода. Таким образом, это обеспечивает корреляцию физико-механических свойств электродного материала и покрытия. В результате этого микротвердость поверхности металлической основы увеличивается до 5–8 раз.

В данной работе представлены результаты исследования и применения электродных материалов, полученных методом СВС-экструзии из твердосплавных материалов, интерметаллидов, материалов на основе

МАХ-фазы и керамических материалов с наноструктурой для нанесения защитных покрытий методами ЭИЛ и ЭП на металлические подложки. Приведены результаты исследования микроструктуры и свойств формирующихся легированных и наплавленных слоев, характера взаимодействия материала подложки с СВС-электродами; сравнительные трибологические испытания упрочненных покрытий; некоторые результаты промышленных испытаний обработанных деталей.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ГОРШКОВ

(✉)

E-mail: anastasiya-balueva@mail.ru

© А. В. Балуева (✉), К. Т. Н. Н. Т. Андрианов, К. Т. Н. А. И. Захаров, К. Т. Н. А. А. Кожевников
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия

Импортозамещение является составной частью общеэкономической стратегии для технического перевооружения предприятий по производству керамической продукции, а также для повышения ее качества и расширения ассортимента.

В оптическом стекловарении для изготовления стекловаренных горшков используют лучшие сорта огнеупорных глин и каолинов. Роль компонентов для производства стекловаренных горшков определяется их высокой огнеупорностью, термостойкостью, механической прочностью, стеклоустойчивостью. Стекловаренные горшки емкостью 500 и 700 л изготавливают из массы на основе глин, каолинов и шамота. Глины и каолин способствуют связности массы, обеспечению ее формуемости, спекаемости, достаточной механической прочности изделия в сыром и спеченном состоянии. Шамот, вводимый в массу, обуславливает повышенные термостойкость изделия, стойкость к

расплаву стекла. По химическому составу все рассматриваемые материалы (часоваярская Ч-0 и латненская ЛТ1 глина, глуховецкий П-2 и еленинский КЕ-1 каолин) очень близки между собой.

В работе исследованы водопоглощение, плотность и предел прочности при изгибе образцов из отечественного сырья, обожженных при 1400, 1450 и 1500 °С. Наиболее близким по свойствам (прочности, водопоглощению и плотности) к производственному составу является состав на основе латненской глины и еленинского каолина, который может быть рекомендован для изготовления стекловаренных сосудов. При производстве стекловаренных горшков было рекомендовано уменьшить количество отошающих компонентов и увеличить количество связующего материала из латненской глины и еленинского каолина. Испытания в производственных условиях стекловаренных горшков, изготовленных из отечественного сырья, прошли удовлетворительно.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ОБОЛОЧКОВЫХ ФОРМ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НАПРАВЛЕННОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ

(✉)

E-mail: ogmet@salut.ru

© К. Т. Н. Т. Ф. Баранова¹, Д. Х. Н. Г. И. Щербакова², С. А. Валиахметов¹ (✉)

¹ АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», Москва, Россия

² ОАО «ГНИИХТЭОС», Москва, Россия

Разработан способ изготовления комбинированных оболочковых форм по выплавляемым моделям с использованием алюмоорганического связующего АЛЮМОКС для получения отливок из жаропрочных сплавов направленной кристаллизацией. Изготовление оболочек производится способом послойного нанесения огнеупорного покрытия на модельные блоки по серийной технологии: окунание – обсыпание – послойная сушка. На модель окунанием послойно наносят огнеупорную суспензию на основе пылевидного электрокорунда, каждый слой обсыпают зернистым электрокорундом. Первые два слоя наносят с применением суспензии следующего состава, мас. %: связующее АЛЮМОКС (5,9 % — хелатированный полиалкоксиалюмоксан, алифатический спирт — остальное до 100 %) 22,7, огнеупорный наполнитель (пылевидный электрокорунд) 77,3.

Огнеупорный наполнитель состоял из смеси предварительно прокаленных микропорошков электрокорунда

следующего состава: F-1000 : F-320 : F-280 — 25 : 40 : 35. Последующие шесть слоев наносили по серийной технологии с использованием суспензии из связующего на основе ГРЭС-40 с активатором спекания АСД-4 и огнеупорным наполнителем при соотношении: 21,2 : 6,5 : 72,3. При этом сушку первых двух слоев производили при 100 %-ной влажности, достигаемой поливом или плотным разбрызгиванием воды. Обеспечение 100 %-ной влажности позволяет произвести полное огеливание суспензии, как находящейся в порах высушенных слоев, так и нанесенного слоя. Последующая конвективная сушка до полного высушивания нанесенных слоев обеспечивается обдуванием воздухом в течение 2–3 ч в условиях цеха. Сушку каждого из следующих шести слоев из суспензии с ГРЭС проводили по серийной технологии в вакуумно-аммиачной камере. Модели из заготовок форм удаляли в бойлерклаве также по серийной технологии, а прокаливание форм проводили при 1200–1350 °С в течение 8–12 ч в туннельной печи.

Пористость форм 25–27 %, прочность 27–30 МПа. Апробация комбинированных форм, изготовленных с применением бескремнеземистого алюмоорганического связующего, показала, что при литье отливок экспериментальных монокристаллических лопаток из сплава ЖС26-ВИ (при перегреве расплава до 1650 °С) значительно снижается объем взаимодействия материала формы с металлургическим расплавом. Так, глубина внедренных неорганических включений (пригар) в поверхностные слои отливок составила 0,01–0,05 мм, а у серийных лопаток толщина пригара составляла

0,03–0,08 мм при применении для изготовления форм кремнеземистого связующего ГРЭТС-40. При этом пригар при легких ударах по отливке легко удалялся, что свидетельствует о хорошем разупрочнении комбинированных форм после плавки. Снизился объем механической обработки для обеспечения геометрической точности отлитых деталей. Для серийного применения разработанного способа необходимо увеличить период обсыхаемости слоев суспензии с АЛЮМОКС (сейчас он короткий и составляет 15–17 с против 27–30 с у суспензии с ГРЭТС-40). На способ получен патент.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МОДИФИЦИРОВАННОЕ ЖИДКОЕ СТЕКЛО ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

(✉)

E-mail: belog_ua@chemy.kolasc.net.ru

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

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

Введение в шихту для теплоизоляционных материалов достаточно большого количества жидкого стекла приводит к увеличению спекаемости образцов, и, следовательно, проблематично получить более низкую плотность и высокую пористость. Лигносульфонат (ЛСТ) в работе использовали в качестве модифицирующей добавки для создания композиционных материалов на жидком стекле. Он способствует регулированию размера пор и повышает однородность их распределения в объеме материала за счет нейтрализации избыточной щелочности композиции и вследствие этого снижения тепловыделения, что ведет к уменьшению теплопроводности материала и увеличению его прочности.

Получены теплоизоляционные материалы из ставролитовых сланцев на комбинированной связке из жидкого стекла с отвердителем и лигносульфоната. Химический состав ставролитового сланца, мас. %: SiO₂ 62,92, TiO₂ 1,94, Al₂O₃ 23,36, Fe₂O₃ 1,84, FeO 1,84, MgO 0,56, CaO 0,78, Na₂O 2,13, K₂O 1,8, H₂O 2,21 (MnO, S, CO₂, Ni, Cu, Co, Zn, Pb, P₂O₅) < 0. Исследованы свойства образцов из составов, состоящих из карбидизированных гранул ставролитового сланца, алюминиевой пудры и/или алюмосиликатных полых микросфер (АСПМ). Соотношение жидкое стекло : лигносульфонат 75 : 25, 70 : 30, 65 : 35, 60 : 40. Плотность жидкого стекла 1460 кг/м³. АСПМ отобраны из золотвала Апатитской теплоэлектростанции. Они обладают низкой плотностью, малыми размерами, сферической фор-

мой, высокой твердостью, температурой плавления до 1600 °С, химической инертностью и низкой теплопроводностью — порядка 0,1 Вт/(м·К).

Содержание основных компонентов шихты, %: гранулы 80–95, алюминиевая пудра 5–7, АСПМ 5–15, Na₂SiF₆ 4–6 (сверх 100 %). При подготовке к формованию часть шихты увлажняли жидким стеклом и ЛСТ, затем вводили гексафторсиликат натрия, перемешивали и заливали оставшуюся часть связки. Для прохождения процесса дегидратации связующего были выбраны следующие условия: первичная сушка при комнатной температуре в течение 3 сут, затем термообработка при 80 °С в течение 2 ч, обжиг теплоизоляционного материала при 1200–1350 °С.

После термообработки плотность образцов с гранулами из ставролитового сланца и углерода изменялась от 0,78 до 0,97 г/см³, а с гранулами из ставролитового сланца, углерода и алюминиевой пудры — от 0,81 до 0,99 г/см³. Увеличение объема образцов — от 1,10 до 1,30 % и от 1,09 до 1,21 % соответственно. Приведены зависимости плотности и изменения объема образцов от состава комбинированной связки, температурного режима обжига, количества в шихте алюмосиликатных полых микросфер и кремнефтористого натрия, состава гранул. Применение модифицированного лигносульфонатом жидкого стекла привело к уменьшению плотности образцов без использования в составе шихты порообразователей.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЩЕЛОЧНЫХ СОЛЕЙ

(✉)

E-mail: rimvydas.stonys@vgtu.lt

© Р. Борис, д. т. н. В. Антонович, д. х. н. Я. Керене, д. т. н. Р. Стонис (✉), А. Куджма

Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва

Наиболее частой проблемой при использовании энергетических котлов, работающих на древесном топливе, является преждевременное разрушение огнеупорного материала футеровки. Щелочная коррозия материала, вызванная взаимодействием с древесной золой, часто становится причиной быстрого разрушения алюмосиликатных материалов.

В данной работе с использованием методики ASTM C454-83(2007) исследована щелочная стойкость различных огнеупоров (шамотного и муллитового кирпича, традиционного и среднецементного шамотного бетона), наиболее часто применяемых в энергетических котлах, работающих на древесном топливе. Исследовали также разработанный авторами

ми среднецементный бетон с заполнителем, изготовленным из клинкера марки Gorkal-50. Установлено, что использование молотой добавки кварцевого песка значительно увеличивает стойкость такого бетона к воздействию щелочной соли (K_2CO_3) при 1100 °С.

Показано, что исследуемая добавка при щелочном воздействии способствует образованию защитного слоя, который препятствует проникновению продуктов разложения K_2CO_3 в структуру огнеупорного материала.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ



E-mail: nikbardin@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕКОВОГО КОКСА ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ НА ПРОЦЕСС ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С РАСПЛАВОМ КРЕМНИЯ

© И. А. Бубненко¹, Ю. И. Кошелев¹, А. А. Швецов², Н. Г. Бардин² (✉), д. т. н. Н. А. Макаров²

¹ АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит», Москва, Россия

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

При получении силицированных графитов, а также силицированных углерод-углеродных композитов в качестве углеродного материала для силицирования может быть использован графит, получаемый высокотемпературной обработкой (графитацией) изотропных и анизотропных пековых коксов. С технологической точки зрения важным является подбор оптимальной температуры графитации пекового кокса, обеспечивающей создание таких параметров кристаллической структуры, при которых соотношение скорости растекания расплава кремния по поверхности углеродного материала к скорости взаимодействия между ними будет оптимальным. Анализ литературных данных показал, что увеличение степени совершенства кристаллической структуры углеродного наполнителя приводит к повышению его реакционной способности по отношению к кремнию и улучшению растекания жидкого кремния по его поверхности. С другой стороны, углеродные материалы с неупорядоченной структурой также обладают высокой активностью по отношению к кремнию, но меньшей способностью к растеканию, что может приводить к быстрому перекрытию капилляра и не всегда обеспечивать хорошую смачивающую способность.

В данной работе в качестве объектов исследования были выбраны анизотропный и изотропный пековый кокс с различной температурой обработки: от 1200 до 2800 °С с шагом 200 °С. После высокотемпературной обработки и определения рентгеноструктурных параметров был проведен процесс силицирования образцов кокса. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что анизотропный и изотропный пековый кокс имеет примерно одинаковую способность к графитации, интенсивная перестройка его кристаллической структуры начинается от 2200 °С. Установлено, что главную роль в образовании карбида кремния играют высота областей когерентного рассеяния, соотношение площадей призматической и базисной плоскостей, а также значение микротекстурного параметра и уровень микродеформации кристаллической решетки углеродного материала. Кроме того, результаты фазового анализа образцов силицированного графита показали, что максимум содержания SiC для анизотропного пекового кокса соответствует температуре его обработки 2200 °С, а для изотропного — температуре обработки 1600 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ



E-mail: nikbardin@mail.ru

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗУЮЩЕГО В ИСХОДНОЙ УГЛЕРОДНОЙ ОСНОВЕ НА ПЛОТНОСТЬ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СРЕДНЕЗЕРНИСТОГО СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА

© И. А. Бубненко¹, Ю. И. Кошелев¹, А. А. Швецов², Н. Г. Бардин² (✉), д. т. н. Н. А. Макаров²

¹ АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита «НИИГрафит», Москва, Россия

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

Производство средnezернистого силицированного графита включает ряд операций, одной из которых является смешивание углеродной шихты определенного гранулометрического состава со связующим. В качестве связующего обычно используют различные эпоксидные, фенолоформальдегидные смолы, а также каменноугольный пек. Количество введенного связующего играет важную роль в формировании пористости углеродной основы и, соответственно, в степени ее пропитки расплавом кремния. Поэтому одной из наиболее важных технологических задач при изготовлении силицированного графита является подбор оптимального количества связующего в исходном пресс-порошке.

В данной работе в качестве связующего использовали пульвербакелит, представляющий собой смесь фенолоформальдегидной смолы с отвердителем уротропином. В течение процесса карбонизации углеродной основы происходит деструкция полимера пульвербакелита с образованием мелкопористого коксового остатка, равномерно распределенного между частицами графитового наполнителя и обеспечивающего их прочное сцепление. Коксовый остаток этого вида связующего схож по своей кристаллической структуре со стеклогуглеродом. Для определения влияния количества связующего на плотность и фазовый состав средnezернистого силицированного графита был получен

ряд образцов с различным его содержанием, которое варьировалось от 2,5 до 25 % с шагом 2,5 %. После пропитки образцов жидким кремнием была измерена их средняя плотность методом гидростатического взвешивания, а также определен фазовый состав гравиметрическим методом.

Установлено, что оптимальное количество связующего в исходной углеродной основе, обеспечивающее максимальную плотность и наибольшее содержание карбида кремния в углеродном материале после его силицирования, составляет 15 %. При меньшем содержании связующего, во-первых, не происходит прочного скрепления графитовых зерен, а во-вторых, образуются достаточно крупные поры, полости которых в процессе силицирования заполняются жидким кремнием.

Это предположение подтверждается результатами испытаний полученных углеродных основ для силицирования на предел прочности при сжатии, которые показали, что при содержании связующего менее 10 % этот показатель не соответствует техническим требованиям на среднезернистый силицированный графит. Когда содержание связующего в углеродной основе избыточно, то может произойти «закупоривание» его пор мелкопористым коксом, что препятствует проникновению расплава кремния вглубь углеродной основы в процессе силицирования. Это подтверждается результатами рентгеновской дефектоскопии образцов после силицирования — при содержании связующего более 17,5 % происходит неполная пропитка углеродной основы расплавом кремния.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИСКУССТВЕННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ЦИРКОНИЕВОГО СОСТАВА И КОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ

(✉)
E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru

© К. т. н. **В. А. Дороганов** (✉), д. т. н. **Е. И. Евтушенко**, к. т. н. **Е. А. Дороганов**
ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

Во всем разнообразии огнеупорных материалов, выпускаемых в настоящее время, особое место занимают материалы на основе диоксида циркония. Они отличаются высокой огнеупорностью, стойкостью к высокотемпературному испарению в вакууме и повышенной коррозионной стойкостью к различным расплавам. Благодаря своим уникальным свойствам циркониевые огнеупоры нашли широкое применение в тех областях промышленности, в которых проходят высокотемпературные процессы. Производство таких материалов сопровождается большими затратами энергии и сложным технологическим процессом. В связи с этим актуальной является разработка технологии производства циркониевых огнеупоров на основе энергосберегающих методов. Одним из перспективных методов получения этих материалов является технология производства композитов, основанная на использовании дисперсного искусственного керамического вяжущего (ИКВ) циркониевого состава в сочетании с аналогичным по составу полидисперсным наполнителем.

Были проведены синтез и исследования ИКВ циркониевого состава на основе монокристаллического диоксида циркония, стабилизированного 15 % оксида иттрия. Вяжущие получали мокрым помолотом в шаровой мельнице периодического действия с поэтапной до-

грузкой материала. В результате были получены дисперсные системы с различной объемной концентрацией — от 0,50 до 0,65 при соответствующей плотности от 3000 до 3700 кг/м³. Установлено, что синтезированные ИКВ представляют собой системы с полидисперсным распределением частиц твердой фазы, характеризующиеся высоким коэффициентом полидисперсности — до 5,2 и средним медианным диаметром, не превышающим 5,5 мкм; при этом содержание частиц размерами менее 100 нм составляет 0,6–1,7 %. Следует отметить, что эти ИКВ отличаются невысокими значениями эффективной вязкости и тиксотропно-дилатантным характером реологического поведения. Были изучены основные физико-механические характеристики отливок на основе полученных ИКВ после термообработки в интервале от 100 до 1300 °С в зависимости от концентрации твердой фазы. На основе полученных вяжущих дисперсных систем разработаны и исследованы составы циркониевых композиционных материалов, характеризующихся незначительной усадкой (до 0,5 %) вплоть до температуры 2200 °С и плотностью 4000–4100 кг/м³.

Работа выполнена в рамках РФФИ № 14-43-08046 и проектной части государственного задания № 14.2406.2014/К.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КАРБИДКРЕМНИЕВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА НИТРИДНОЙ СВЯЗКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

(✉)
E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru

© К. т. н. **В. А. Дороганов** (✉), д. т. н. **Е. И. Евтушенко**, к. т. н. **Е. А. Дороганов**
ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

Одна из основных тенденций развития мировой огнеупорной отрасли — расширение использования многофункциональных огнеупоров с длительным сроком службы. В связи с этим основными задачами огнеупорной отрасли являются повышение стойкости и сни-

жение удельного расхода огнеупоров, освоение выпуска новых типов огнеупорной продукции. Благодаря своим специфическим свойствам карбидкремниевые огнеупоры находят широкое применение. Распространение получили главным образом карбидкремниевые

огнеупоры на алюмосиликатных и нитридных связках, вводимых в исходную шихту либо синтезируемых непосредственно в ходе термообработки. Свойства карбидкремниевых огнеупоров весьма различаются, что объясняется неодинаковой природой связующих компонентов. Характерным для материалов на основе карбида кремния является невысокий ТКЛР, повышенные теплопроводность, прочность, термостойкость, коррозионная стойкость, относительно высокая температура начала деформации под нагрузкой.

В данной работе изучены особенности механохимического синтеза искусственного керамического вяжущего (ИКВ) на основе металлического кремния путем мокрого помола в шаровой мельнице периодического действия методом поэтапной догрузки материала. Полученное ИКВ имело влажность 22–23 %, плотность 1600–1700 кг/м³ и ярко выраженный тиксотропный характер поведения. Изучен зерновой состав суспензии, характеризующейся высокой полидисперсностью и присутствием частиц размерами менее 100 нм.

Отливки из ИКВ на основе металлического кремния после азотирующего обжига отличаются снижением открытой пористости, увеличением кажущейся плотности и предела прочности при сжатии по сравнению с показателями образцов после сушки. Результаты рентгенострук-

турного анализа отливок из ИКВ на основе кремния, термообработанных при 1430 °С в среде азота, показали, что в образцах наряду с нитридом кремния идет образование микроволокон оксинитрида кремния; при этом максимальная прочность образцов вяжущего достигает 160–162 МПа, а их открытая пористость составляет 30–31 %.

Установлено, что при обжиге в среде азота при 1430 °С композитов с ИКВ основе кремния происходит интенсивное образование нитридных соединений кремния. При этом наблюдается почти 25 %-ный прирост массы материала, что приводит к существенному снижению открытой пористости — до 14–15 % и кажущейся плотности — до 2370–2380 кг/м³; предел прочности при сжатии возрастает до 140–150 МПа. Анализ микроструктуры композитов показал, что нитридные соединения кремния (нитрид кремния, оксинитрид кремния) синтезируются в межзеренном пространстве в виде волокон, которые связывают между собой более крупные частицы заполнителя на основе SiC и тем самым существенно улучшают основные физико-механические характеристики карбидно-нитридного композиционного материала.

Работа выполнена в рамках РФФИ № 14-43-08046 и проектной части государственного задания № 14.2406.2014/К.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА ГРАФИТОВ НА СВОЙСТВА ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: kir77766617@yandex.ru

© К. т. н. **К. Г. Земляной** (✉), **А. Ю. Дербенев**
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Изучено влияние крупночешуйчатых графитов различных производителей: ГЭ-1 (РФ), Falke 9438 и Falke 92800 (Бразилия), +592 (КНР), +595 (Мадагаскар), FLS 896 и LFO 196 (Норвегия) и микрографитов «-196» LFO и TG MP 2 на физико-химические свойства периклазоуглеродистых изделий. Исследованы графиты различных производителей. Показано, что вид (месторождение и подготовка) графита влияет на свойства шихты уже на стадии ее подготовки в смесителе. Так, насыпная плотность периклазографитовой массы колеблется от 1,02 (с графитом ГЭ-1) до 1,16 г/см³ (с графитом +595). Керамические свойства образцов выше у шихт с использова-

нием более чистых графитов с наиболее совершенной кристаллической структурой (+595, FLS 897, Falke 9280). Использование тонкодисперсных скрытокристаллических графитов повышает уровень остаточной прочности образцов после коксования от 22–25 до 35–40 %. Окисляемость изделий также зависит от вида использованного графита. Чем более совершенный и чистый графит использован в изделии, тем меньше скорость потери массы образцом и меньше толщина обезуглероженного слоя. При этом использование скрытокристаллического, но тонкодисперсного графита «-196» LFO также повышает стойкость образцов к окислению.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИДА СВЯЗУЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ НА СВОЙСТВА ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: kir77766617@yandex.ru

© К. т. н. **К. Г. Земляной** (✉), **П. А. Подчуфаров**
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Изучено влияние связующих композиций на физико-химические свойства периклазоуглеродистых изделий. Исследованы традиционно применяемая система: связующее фенольное порошкообразное (СФП и СФПР) плюс растворитель — этиленгликоль и альтернативные композиции: на основе модифицированных фенольных смол Эгиды 4, на основе среднетемпературного пека, на основе высокотемпературного каменноугольно-

го пека, на основе полинафталинсульфонатов марки Т-22, на основе водных и спиртовых растворов природных и синтетических полисахаридов. Показано, что альтернативные связующие композиции при тех же технологиях применения и режимах термообработки позволяют получать аналогичный уровень свойств углеродсодержащих изделий: предел прочности при сжатии 35–40 МПа, кажущуюся плотность 3,00–3,15 г/см³,

открытую пористость 8–10 %. Отмечено, что использование в составе связующей композиции пеков способствует увеличению предела прочности при сжатии изделий после коксующего обжига при некотором уве-

личении открытой пористости. Использование в составе связующей композиции полисахаридов позволяет избежать эффекта разупрочнения изделий после коксующего обжига.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: elendevel@gmail.com

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СВЯЗУЮЩЕМ ПРИ СЛУЖБЕ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

© К. Т. Н. **К. И. Иконников**¹ (✉), К. Т. Н. **А. А. Кондрукевич**¹, К. Т. Н. **Н. С. Съёмщиков**¹,
Д. Х. Н. **А. В. Беляков**², К. Х. Н. **М. Л. Косточка**³

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

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

³ АНО «Центр Химических Экспертиз», Москва, Россия

В настоящее время широко изучены механизмы взаимодействия углеродсодержащих компонентов (УК) с основной фазой периклазоуглеродистых (ПУ) огнеупоров. Роль УК заключается в предотвращении инфильтрации шлака в огнеупорный материал, поскольку УК обладают низкой смешиваемостью со шлаком и способны восстанавливать оксиды железа, повышая при этом вязкость и температуру плавления шлака. Газообразные продукты окисления углерода, происходящего при достаточно высоких температурах, заполняют поры и создают противодавление, препятствуя проникновению шлака. Восстановление MgO до металла или летучих субоксидов дополнительно увеличивает давление газа в порах изделия. Вместе с тем на границе между слоем шлака и наименее измененными зонами ПУ-изделия образуется плотный слой вторичного MgO, который является продуктом окисления восстановленного металлического магния за счет реакции взаимодействия углерода с MgO. Благодаря газотранспортным реакциям магний переносится в более холодный слой ПУ-изделия, выделяется в его порах в виде MgO и образует плотный слой, препятствующий проникновению к границе с расплавом шлака кислорода воздуха. Следует отметить также, что введение графита существенно повышает термостойкость MgO–C-огнеупоров.

В процессе термообработки ПУ-материалов происходит частичное коксование УК с образованием каркаса, выполняющего роль связующего. Однако это не в полной мере отражает механизмы структурообразования в ПУ-огнеупорах. Авторами проведен комплекс исследований природы и характера физико-химических процессов, происходящих со структурообразующими и связующими компонентами, включающий качественный и количественный химический анализы, рентгенодифракционные, дифференциально-термические, петрографические, микроскопические исследования с использованием электронной растровой микроскопии. Определены пикнометрическая плотность и прочностные характеристики образцов ПУ-изделий шлакового пояса стале-

разливочного ковша, а также образцов, термообработанных при 260, 600 и 1000 °С.

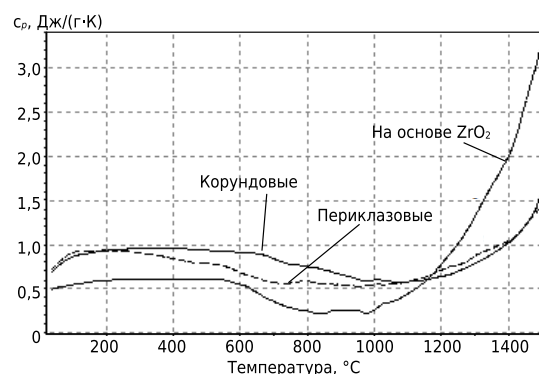
В образце, прокаленном при 1000 °С в окислительной среде в течение 3 ч, наблюдается полное выгорание чешуйчатого графита, о чем свидетельствуют данные по потерям при прокаливании и результаты рентгенофазового анализа. Предел прочности при сжатии образцов снижается на 43,8 % после термообработки при 600 °С и на 64,1 % — при 1000 °С относительно низкотемпературной прочности, что связано с увеличением пористости за счет выгорания УК. Однако следует отметить, что образцы сохраняют свою форму и разрушаются только при существенных механических нагрузках. Это свидетельствует о том, что связующее представлено не только лишь УК. По результатам петрографии и сканирующей электронной микроскопии установлено, что прокалывание образцов в интервале 260–1000 °С несущественно изменяет габитус зерен различных размеров. Наблюдается агрегирование мелких зерен (<5 мкм), как расположенных на поверхности более крупных кристаллов (>40 мкм), так и представленных самостоятельно за счет высокой удельной поверхностной энергии данной фракции, что способствует связыванию материала. Количество фракции мельче 5 мкм составляет примерно 5 мас. %.

Установлено, что связующий компонент представлен многокомпонентной системой щелочей и фосфатами, общее содержание которых составляет 0,2–0,3 мас. %. Связующее взаимодействует с тонкой фракцией периклаза, представленного твердым раствором $Mg_{1-x}(Ca,Fe)_xO$, и тонкодисперсной фракцией силикатов, представленной $(Mg_{1-x}Fe_x)SiO_4$ и $CaMgSiO_4$, содержание которых по данным рентгенодифракционных исследований составляет 3–5 мас. %. Образовавшиеся в результате химического взаимодействия соединения связывают крупные зерна основной фракции, предотвращая разрушение материала даже при его полном обезуглероживании в окислительной среде, а связующая составляющая образцов имеет природу, не связанную с УК.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРОВ
ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК**(✉)
E-mail: kir77766617@yandex.ru© Д. Т. Н. И. Д. Кашеев¹, К. Т. Н. К. Г. Земляной¹ (✉), Р. В. Дзержинский², А. В. Федотов²¹ ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия² ЗАО «Электрокерамика», дер. Трошково Раменского района Московской обл., Россия

В настоящее время импульсные поршневые установки для исследования аэротермогазодинамики летательных аппаратов, физико-химических свойств газов, кинетики химических реакций в газовых смесях и др. футеруются огнеупорами на основе диоксида циркония. Это обусловлено комплексом уникальных свойств циркониевых огнеупоров: высокой механической прочностью, трещиностойкостью, повышенной твердостью, ударной вязкостью, высокой огнеупорностью, низкой теплопроводностью, химической инертностью и высоким сопротивлением коррозии и эрозии при повышенных температурах. Но структура изделий из частично стабилизированного диоксида циркония при эксплуатации в условиях высоких температур деградирует, что отрицательно сказывается на механической прочности и термостойкости изделий в условиях частых циклов нагрева / охлаждения.

Рассмотрена возможность замены дорогих циркониевых огнеупоров на более дешевые огнеупоры на основе плавленного периклаза в импульсных газопоршневых установках. Исследованы термостойкость и теплоемкость циркониевых, периклазовых, корундовых и корундомуллитовых огнеупоров (см. таблицу и рисунок), а также микроструктура изделий до и после испытаний на термостойкость. Показано, что образцы, имеющие большее отношение площади к объему, показывают повышенную в 2 раза термостойкость по сравнению с объемными образцами. Двухфазные материалы показывают лучшую термостойкость. Такие изделия более предпочтительны для установок, работающих при переменных термических нагрузках.



Огнеупоры	Термостойкость кубов/пластин, водяные теплосмены
Корундовые:	
КГ-98	26 / 55
КСП-95	27 / 44
КС-95	33 / 46
Муллитокорундовые:	
КГ-82	57 / 102
МК-90	8 / 14
Корундомуллитокорундовые КСЦ	55 / 71
Периклазовые:	
ППЛУ-98	3 / 7
ППЛУ-98 с покрытием из ZrO ₂	6 / 11
Циркониевые ЦГБ	6 / 11

Периклазовые изделия с защитным покрытием на основе ZrO₂ показывают термостойкость, сравнимую с термостойкостью циркониевых изделий.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ
АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПРОПАНТОВ**(✉)
E-mail: kir77766617@yandex.ru

© Д. Т. Н. И. Д. Кашеев, К. Т. Н. К. Г. Земляной (✉), Е. В. Кушкина, И. А. Павлова

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

Одной из основных проблем в производстве пропантов на основе бокситизированных глин является получение плотной структуры и высокой прочности готовых материалов. Температура обжига пропантов, как правило, должна быть в пределах 1350–1400 °C. Для снижения температуры и повышения интервала спекания в шихту вводят спекающие добавки или увеличивают удельную поверхность исходной смеси для получения гранул. Введение добавок связано с образованием большого количества жидкой фазы, что фактически приведет к снижению прочности готовых материалов. В связи с этим основными направлениями исследовательской работы явились интенсификация процесса спекания керамических пропантов за счет

снижения дисперсности исходной смеси и введения оптимального количества минерализующих добавок.

В лабораторных условиях были изготовлены две шихты одинакового вещественного состава, различающиеся между собой дисперсностью. Смеси спекали в интервале 800–1400 °C. Заметное уплотнение и упрочнение материала начинается после обжига при температуре 1200 °C и выше. Следует отметить, что прочность материалов, изготовленных из более тонкодисперсной шихты, практически в 2 раза превышает прочность образцов, изготовленных из шихты с меньшей удельной поверхностью. Таким образом, температуру спекания удалось снизить от 1400 до 1250 °C.

Основанием для выбора минерализующих добавок явились прогнозируемый характер их воздействия на процессы фазообразования и спекания алюмосиликатной керамики, а также экономические соображения: их стоимость и доступность. В качестве таких добавок использовали гранодиорит, фельзит и полевой шпат. Добавки вводили в состав шихты при тонком помоле материалов в вибромельнице.

Дисперсность полученных шихт характеризовалась остатком на сите № 0063 0–5 мас. %. Вводимые добавки приводят к повышению прочности получаемых гранул и снижению температуры спекания материалов, причем действие минерализатора тем интенсивнее, чем меньше в нем исходного кварца, хотя сумма оксидов-плавней ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{R}_2\text{O} + \text{RO}$) в них практически одинакова.

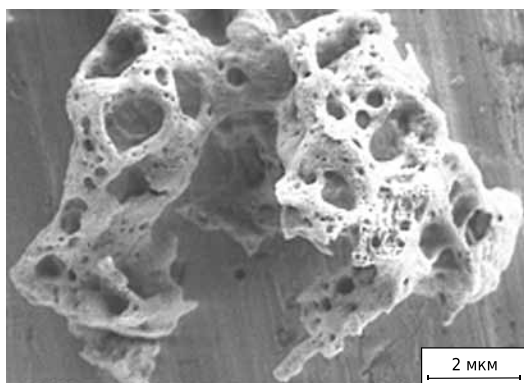
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОЛУЧЕНИЕ ПРОЧНОЙ КЕРАМИКИ СИСТЕМЫ $\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$ ИЗ ПОРОШКОВ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ СЖИГАНИЯ НИТРАТОВ

(✉)
E-mail: yikom@yandex.ru

© К. т. н. **Ю. И. Комоликов** (✉), к. ф.-м. н. **В. И. Пудов**
ФГБУН «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН», г. Екатеринбург, Россия

Порошок на основе ZrO_2 , стабилизированного 3 мол. % Y_2O_3 , синтезировали методом сжигания нитратов. В основу этого метода взят принцип «solution combustion synthesis», т. е. использование реакций горения при взаимодействии азотнокислых растворов металлов (окислитель) с органическими добавками (восстановитель) в процессе нагревания при 100–300 °С. В качестве органического топлива был выбран глицин,



который является хорошим комплексообразователем и формирует с цирконием азотнокислым и иттрием азотнокислым устойчивые комплексы. В процессе ре-

акции не происходит обильного вспенивания, а при горении объемного ксергогеля развиваются умеренно высокие температуры (700–1000 °С), что позволяет избежать чрезмерного роста кристаллитов. После сжигания раствора полученные порошки имели довольно рыхлые агломераты, их удельная поверхность составляла примерно 10 м²/г.

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии было установлено, что химический состав полученного порошка соответствует содержанию 3 мол. % Y_2O_3 . Результаты рентгенофазового анализа показали, что порошки в основном однофазные и имеют тетрагональную структуру. Перед формованием порошки подвергали механоактивации в шаровой мельнице с шарами из диоксида циркония в течение 2 ч. Образцы получали холодным изостатическим прессованием и обжигали при максимальной температуре 1350 °С. Скорость нагрева 5 °С/мин, выдержка при максимальной температуре 5 ч. После обжига линейная усадка образцов составила 28–33 %. Средний размер зерен керамики около 0,5 мкм, предел прочности при изгибе 700–800 МПа.

Таким образом, установлено, что из порошков, синтезированных методом сжигания нитратов (см. рисунок), без их глубокой механоактивации могут быть получены при температуре 1350 °С керамические материалы системы $\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$ высокой прочности.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ НАНООКСИДА ГРАФЕНА НА ГИДРАТАЦИЮ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА И СВОЙСТВА ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА

(✉)
E-mail: rimvydas.stonys@vgtu.lt

© **А. Куджма**¹, д. т. н. **Р. Стонис**¹ (✉), д. т. н. **А. Красниковс**², д. т. н. **В. Антонович**¹,
д. т. н. **Е. Шкамат**¹, д. т. н. **О. Чернашеюс**¹, д. т. н. **Е. Спудулис**¹

¹ Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва

² Рижский технический университет, г. Рига, Латвия

Исследовали влияние добавки наноксидов графена на гидратацию высокоглиноземистого цемента ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 70\%$) и свойства шамотного жаростойкого бетона на его основе. Установлено, что добавка наноксидов графена влияет на гидратацию цемента: увеличивается индукционный период и уменьшается скорость

тепловыделения. Результаты исследования свойств шамотного среднецементного бетона показали, что добавка способствует увеличению предела прочности при сжатии бетона после его обжига при 800–1200 °С примерно на 10 % и некоторому уменьшению усадки бетона.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ
ТЕМПЕРАТУРАХ**(✉)
E-mail: lukin.1938@mail.ru© Д. Т. Н. **Е. С. Лукин**¹ (✉), К. Т. Н. **Н. А. Попова**¹, **Л. Т. Павлюкова**¹, **А. В. Летов**¹,
К. Т. Н. **Ф. А. Акопов**², К. Т. Н. **С. Н. Санникова**³¹ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия²ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН», Москва, Россия³ОАО «Композит», г. Королёв Московской обл., Россия

Диоксид циркония является одним из самых высокоогнеупорных керамических материалов с температурой плавления 2700 °С. Благодаря особому сочетанию физико-химических свойств керамику и огнеупоры из ZrO_2 широко используют в различных областях техники и металлургии при 2000 °С и выше. Одной из основных проблем в технологии термостойких и прочных огнеупоров из ZrO_2 является создание заданной структуры и фазового состава. Сложность решения этих задач в том, что ZrO_2 имеет очень низкую теплопроводность — 1,5 Вт/(м·К) и высокий ТКЛР — $10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, что обуславливает его низкую термостойкость.

• Для изготовления образцов огнеупоров из ZrO_2 в качестве зернистого заполнителя использовали отходы прозрачных кристаллов фианита. Первоначально их подвергали дроблению, затем рассеву на фракции, которые использовали как зернистый заполнитель. В качестве дисперсной составляющей применяли порошок фианита, измельченный до частиц размерами 3–5 мкм. В качестве дисперсной связки использовали также порошок частично стабилизированного ZrO_2 , который получали с применением гетерофазного химического осаждения. Шихта состояла из зерен фракций 2–1 и мельче 0,2 мм и порошка связки, включающего 7,5 мас. % стабилизированного и 7,5 мас. % частично стабилизированного ZrO_2 . Образцы формовали в виде цилиндров диаметром 50 и высотой 50 мм под давлением 200 МПа и обжигали при 1630 °С с выдержкой 3 ч. Плотность образцов 4,90 г/см³, открытая пористость 16,2 %, предел прочности при сжатии 95 МПа. После 10 теплосмен 1200 °С – воздух образцы не имели ни посечек, ни трещин, их прочность уменьшилась на 30 %. Применение непрерывного зернового состава (проход через сито с размером ячейки 2 мм) при том же содержании дисперсной связки позволило получить образцы, выдерживающие более 33 теплосмен 1200 °С – воздух, их прочность при этом уменьшилась на 20 %. Рассматриваемые виды огнеупоров были разработаны для ловушек реакторов атомных станций. В Курчатовском институте специальная конструкция из этих огнеупоров прошла испытания в присутствии расплава кореума при 2500 °С.

• Перспективными для применения при температурах до 1800 °С являются высокоплотные огнеупоры из электроплавленного корунда на корундошпинельной связке. В качестве зернистого заполнителя использовали белый электрокорунд фракций 2–1 и мельче 0,2 мм и 18 % связки, состоящей из дисперсного $\alpha-Al_2O_3$ (15 мас. %) и MgO (3 мас. %). В процессе обжига изделий происходит взаимодействие MgO с дисперсным порошком Al_2O_3 с образованием алюмомагнезильной шпинели, синтез которой идет с увеличением объема. В результате наблюдаются заполнение открытых пор и уменьшение общей открытой пористости. Достигнутая плотность образцов после обжига при 1700 °С 3,30–3,35 г/см³, открытая пористость 10–12 %, предел прочности при сжатии 80–100 МПа.

• Важная проблема — создание новых теплоизоляционных материалов взамен волокнистых из Al_2O_3 для службы до 1800 °С. При таких температурах изделия из волокон Al_2O_3 имеют ограниченный срок службы. Для использования в качестве теплоизоляционного материала были изготовлены изделия размерами 250×120×40 мм путем пропитки заготовок из пенополиуретана шликером, состоящим из дисперсного (3–5 мкм) порошка Al_2O_3 с добавкой 0,3 % MgO и раствора ПВС. После сушки изделия обжигали в пламенной печи при 1750 °С. Полученные изделия пористостью 88–90 % с пределом прочности при сжатии до 2 МПа, теплопроводностью 0,3 Вт/(м·К) и температурой применения до 1800 °С использованы для теплоизоляции лабораторной печи с хромитлантановыми нагревателями на кафедре керамики в РХТУ им. Д. И. Менделеева. Футеровка печи при службе до 1700 °С работает уже более 5 лет без видимых разрушений. Футеровка из такой пористой керамики на основе Al_2O_3 оказалась очень эффективной для теплоизоляции вакуумных печей.

• Для высокотемпературного применения разработаны керамические материалы на основе дисперсного карбида кремния на связке из алюмомагнезильной шпинели. Благодаря объемному экранированию эти материалы устойчивы к окислению и абразивному износу в условиях воздействия высокоскоростного газового потока при скорости до 300 м/с в окислительной среде до 2000 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ БЕЗОБЖИГОВЫЕ ЛЕГКОВЕСНЫЕ ИЗДЕЛИЯ
НА МИКРОПОРИСТОМ АНОРТИТОВОМ ЗАПОЛНИТЕЛЕ ДЛЯ ПЕЧЕЙ
С УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИМИ СРЕДАМИ**(✉)
E-mail: ukmiio@kharkov.ukrtel.net© К. Т. Н. **В. В. Мартыненко** (✉), К. Т. Н. **Н. М. Казначеева**, Д. Т. Н. **Я. Н. Питак**, **В. Г. Дубовис**

ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

Для защиты поверхности металлических изделий от окисления при рекристаллизации отжиг металлических заготовок деталей, применяемых в автомобиле-,

моторо-, машиностроении и других отраслях промышленности, производят, как правило, в среде эндотермического газа, основным агрессивным агентом которого

является монооксид углерода. Для футеровки печей с углеродсодержащими средами используют легковесные корундовые КЛ-1,3 или муллитокремнеземистые МКРЛ-0,8 огнеупоры, устойчивые в восстановительных средах, в том числе углеродсодержащих. Кроме воздействия углеродсодержащей среды рабочий слой футеровки подвергается термоудару при загрузке и выгрузке металлических деталей в печь.

В УкрНИИО имени А. С. Бережного разработаны безобжиговые легковесные огнеупоры на микропористом анортитовом заполнителе. Изделия изготавливают методом виброформования или полусухого прессования из теплоизоляционной бетонной смеси на основе легковесного анортитового заполнителя с использованием высокоглиноземистого цемента ВГЦ-73 собственного производства и специальных добавок. При кажущейся плотности изделий не более 1,3 г/см³ их теплопроводность в 2,5 раза ниже, чем у обожженных легковесных огнеупоров КЛ-1,3, и в 1,3 раза ниже, чем у огнеупоров МКРЛ-0,8. Предел прочности при сжатии разработанных изделий после 7 сут твердения и сушки не менее 6 МПа, после термообработки при 1000 °С

не менее 5 МПа. Испытания изделий в режиме 950 °С – воздух показали, что их термостойкость более 20 теплосмен.

Проведены термодинамические расчеты и показана вероятность взаимодействия компонентов связующей части в безобжиговых легковесных изделиях с образованием анортита, устойчивого в восстановительной среде. Образование вторичного анортита подтверждено экспериментально. Установлено, что после термообработки в углеродсодержащей среде при 1200 °С с выдержкой до 80 ч прочность и кажущаяся плотность образцов безобжиговых легковесных изделий практически не изменяются. С увеличением выдержки количество вторичного анортита и степень кристаллизации его повышаются. Однако увеличения усадки безобжиговых легковесных образцов в результате спекания не наблюдается, поскольку усадочные процессы компенсируются образованием вторичного анортита, происходящим с объемным ростом. На основании полученных результатов показана возможность использования разработанных безобжиговых легковесных изделий в углеродсодержащих средах до 1200 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КЛИНКЕРОУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ К ШЛАМУ УРАЛЦЕМЕНТА

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© Л. М. Михайловская, И. Г. Маряев (✉), А. А. Платонов, О. А. Маряева
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Для определения устойчивости к шламу Уралцемента в лабораторных условиях проведен тест на клинкероустойчивость различных периклазошпинельных изделий производства Группы Магнезит. Испытания проводили в лабораторной вращающейся печи, оборудованной газокислородной горелкой, в которой образцы были подвержены воздействию высокой температуры (максимальная температура испытания 1700 °С), химическому воздействию компонентов клинкера при этой температуре, термическим ударам при циклическом режиме подъема и снижения температуры. По результатам теста оценены образование зональности в образцах, глубина и площадь пропитки огнеупоров, наличие термических трещин. Проанализировано качество и количество новообразованных фаз как в рабочей зоне пропитки, так и в холодной, наименее измененной зоне образцов.

Тестируемые периклазошпинельные изделия исследовали также до проведения теста. Полученные результаты исследований в процессе сопоставительного анализа стойкости той или иной марки изделия к клинкеру Уралцемента при указанных условиях испытаний показали, что устойчивость огнеупоров обусловлена их составом и особенностями микроструктуры. Наиболее важную и определяющую роль в устойчивости образцов к пропитке компонентами шлама играют чистота исходных периклазовых порошков, а также состав и количество примесных фаз. Самые высокие результаты показали изделия марок ПШат-1 и ПШат-2 на высокочистом периклазе. Полученные данные могут служить объективной оценкой при выборе футеровочного материала для вращающихся печей Уралцемента.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЫСООГНЕУПОРНАЯ КОРУНДОВАЯ ОСОБОПЛОТНАЯ КЕРАМИКА ИЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ГЛИНОЗЕМА

(✉)

E-mail: ukmiio@kharkov.ukrtel.net

© К. Т. н. Ю. Е. Мишнева, К. Т. н. К. И. Куценко, Ю. А. Крахмаль (✉)

ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

В различных агрегатах металлургической, машиностроительной и химической отраслей промышленности, атомной энергетики, ускорительной, лазерной и космической техники, приборостроения, медицины широкое применение находит особоплотная корундовая керамика, характеризующаяся инертностью к различным агрессивным реагентам, высокими прочностью, абразивоустойчивостью, вакуум-плотностью,

температурой начала деформации под нагрузкой, температурой плавления (~2050 °С), диэлектрическими свойствами.

Проведены исследования по применению ультрадисперсного глинозема марки MARTOXID MR 70 компании «MARTINSWERK GmbH», Германия, в технологии получения корундовой керамики методом шликерного литья в гипсовые формы. Исследованы реоло-

гические и литейные свойства шликеров (текучесть, относительная и динамическая вязкость, седиментационная устойчивость, скорость набора массы), проведен электронно-микроскопический анализ глинозема и шликеров на его основе, определены свойства отливок (кажущаяся плотность, предел прочности при сжатии) и обожженных образцов (кажущаяся плотность, открытая пористость, изменение линейных размеров). В результате проведенных работ установлены оптимальные технологические параметры шликерного литья изделий сливным и наливным способами. Разработана и внедрена технология изготовления высокоогнеупорных корундовых особоплотных керамических изделий из ультрадисперсного глинозема MARTOXID MR 70 методами шликерного литья в гипсовые формы. После обжига изделия характеризовались кажущейся плотностью 3,90–3,93 г/см³, открытой пористостью 0 %, содержанием Al₂O₃ более 99,5 %.

В соответствии с требованиями ТУ У 26.2-00190503-347:2012 УкрНИИО имени А. С. Бережного изготавливает высокоогнеупорные корундовые особоплотные изделия марки КОПМ в виде защитных чехлов и изоляторов для термопреобразователей, труб, тиглей, стержней, трубок и капиллярных бус с одним или несколькими каналами, конструкционных высокотемпературных электроизоляционных элементов различной конфигурации для электрофизической аппаратуры, электроизоляционных деталей машин в высокотемпературных системах с повышенным давлением и наличием агрессивных сред и других мест применения с температурой службы до 1850 °С, а также изделия марки КОП в виде пластин, ступок, стаканов и пестиков для тонкого измельчения проб различных материалов, кернов для производства кирпича, сопел для пескоструйных машин, наконечников для аппаратов аргоно-дуговой сварки и др.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: nasibulinaalexander@gmail.com

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПЕКА НА ПЛОТНОСТЬ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© А. В. Насибулин¹ (✉), к. т. н. Е. А. Антипов³, д. т. н. Н. Ю. Бейлина², к. т. н. Г. С. Догадин⁴,
д. т. н. Н. А. Макаров¹

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

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

³ ЦНИИСМ, г. Хотьково Московской обл., Россия

⁴ ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт (МЭИ)», Москва, Россия

Изделия из углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) применяют в высоконагруженных и высокотемпературных узлах. Один из технологических процессов производства УУКМ предусматривает сборку каркаса из углеродных стержней, изготовленных на основе углеродных волокон, и заполнение порового объема каркаса углеродной матрицей из каменно-угольных пеков (среднетемпературного и затем высокотемпературного) с последующей термообработкой под давлением до образования из пека пекового кокса и финишной обработкой при температуре выше 2200 °С. Плотность исходных каркасов находится на уровне 0,5–0,6 г/см³, а максимальный уровень плотности композита по окончании технологического процесса превышает 1,9 г/см³. То есть большую часть массы композита составляет углеродная матрица из каменноугольных пеков, которая вносит существенный вклад в работоспособность УУКМ, обеспечивая связанность армирующих углеродных структур, стойкость к высокотемпературному окислительному газовому потоку и к мощному термическому удару.

В настоящее время в технологии производства УУКМ применяют традиционно каменноугольные пеки: среднетемпературный пек марки А по ГОСТ 10200 и высокотемпературный пек по ГОСТ 1038. Одним из путей создания жаростойких и жаропрочных УУКМ нового поколения с высокими показателями является использование каменноугольных пеков с улучшенными свойствами, в том числе пеков, модифицированных углеродными наноструктурными материалами. Угле-

родные нанотрубки обладают очень высокой удельной поверхностью, которая, в свою очередь, имеет повышенную химическую активность. Увеличение прочности и жесткости углеродного материала может стать основой повышения эрозионной стойкости. По результатам ранее проведенных работ были созданы опытные образцы модифицированных средне- и высокотемпературных пеков для их применения в качестве матрицы УУКМ.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию опытно-промышленной технологии производства модифицированных пеков, наработке опытных образцов и непосредственно исследованию влияния модифицирования пека углеродными нанотрубками на плотность полученных заготовок. Установлено, что способ введения наноструктур в пек влияет на качество модифицирования. Найдены условия модификации, позволяющие при небольших добавках в пек наноструктур (0,3 мас. %) снизить выход летучих продуктов и повысить выход кокса из пека на 6,7 отн. % без существенного повышения вязкости пека, что важно для его применения при пропитке углеродных каркасов. Показано, что плотность УУКМ на основе модифицированного пека выше плотности материала, полученного на основе исходного пека. Данное утверждение справедливо для обеих технологий изготовления УУКМ — стандартной и с дополнительной стадией пироуплотнения. Это связано с более высоким выходом коксового остатка модифицированного пека.

**ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ НАНОДОБАВКИ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ
СВОЙСТВА ПЕКА**

(✉)

E-mail: nasibulinaalexander@gmail.com

© А. В. Насибулин¹ (✉), К. Т. Н. Е. А. Антипов³, Д. Т. Н. Н. Ю. Бейлина², К. Т. Н. Г. С. Догадин⁴,
Д. Т. Н. Н. А. Макаров¹, Н. Г. Бардин¹, А. А. Швецов¹, А. В. Петров²¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия² АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита
«НИИграфит», Москва, Россия³ ЦНИИИСМ, г. Хотьково Московской обл., Россия⁴ ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт (МЭИ)», Москва, Россия

Для опробования модифицированных каменноугольных пеков в технологии изготовления объемно-армированных углерод-углеродных композиционных материалов (УУКМ) была разработана опытно-промышленная технология модификации исходных пеков. Цель настоящей работы — определить, влияет ли наномодификация пека на его реологические свойства. Данная работа обусловлена использованием пека при производстве УУКМ. В процессе пропитки используется расплавленный пек, поэтому от его реологических свойств напрямую зависит качество пропитки каркасов, а в дальнейшем и эксплуатационные характеристики конечного материала (плотность, прочность и др.).

На полученных пеках проведен комплекс исследования свойств. Были изготовлены заготовки с применением исходного и модифицированного пеков,

проанализирована структура материала. Показано, что модифицированные пеки характеризуются пониженным содержанием летучих веществ по сравнению с исходными. Температура размягчения практически не меняется, а зольность модифицированных пеков возрастает. Происходит также некоторое перераспределение фракционного состава пеков в сторону увеличения содержания высокомолекулярных конденсированных структур: у модифицированных пеков возрастает содержание веществ, нерастворимых в толуоле, уменьшается содержание веществ, нерастворимых и растворимых в петролейном эфире (β- и γ-фракции) для среднетемпературного пека. Отмечено, что введение нанодобавок в пеки способствует образованию в них более конденсированных структур с более высокой термостойкостью, чем у исходных пеков.

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НАНОДОБАВОК НА СВОЙСТВА ПЕКОВОЙ
МАТРИЦЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

(✉)

E-mail: nasibulinaalexander@gmail.com

© А. В. Насибулин¹ (✉), Д. Т. Н. Н. Ю. Бейлина², К. Т. Н. Г. С. Догадин³, Д. Т. Н. Н. А. Макаров¹,
Н. Г. Бардин¹, А. А. Швецов¹, А. В. Петров²¹ ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия² АО «Научно-исследовательский институт конструкционных материалов на основе графита
«НИИграфит», Москва, Россия³ ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт (МЭИ)», Москва, Россия

К настоящему времени получен значительный объем экспериментальных данных, свидетельствующий о положительном влиянии добавок углеродных наноматериалов, прежде всего на механические свойства углеродных и углерод-углеродных композиционных материалов (УКМ и УУКМ). Одной из ключевых задач обеспечения производства техники, работающей при повышенных нагрузках, является создание жаростойких и жаропрочных УУКМ нового поколения. Механические, тепловые и физико-химические показатели УУКМ определяются не только свойствами армирующих углеродных волокон, тканей, нитей, жгутов, стержней, коксов, но и свойствами и эксплуатационными характеристиками термопластичного связующего. Свойства связующего определяются компонентным и молекулярным составами. Его собственные свойства и характер взаимодействия с поверхностью армирующего наполнителя формируют после термообработки структуру элементарных текстурных фрагментов матрицы, степень их упорядочения в композите и во многом определяют его теплофизические и прочностные характеристики.

Одним из возможных путей улучшения эксплуатационных характеристик матрицы УУКМ является введение углеродных наночастиц в состав связующего для композита. Наногуглеродные структуры получили широкое распространение во многих областях прикладной

науки и технологии благодаря уникальному сочетанию физико-химических свойств (низкая плотность, высокая удельная поверхность, высокий модуль упругости).

Цель настоящей работы — исследование влияния различных нанодобавок на свойства пека. В качестве наноструктурных добавок использовали малослойные и многослойные углеродные нанотрубки, материал Таунит, углеродные нановолокна. Приведено описание нескольких методов модификации пека с использованием различного оборудования для смешения добавки с материалом, в частности смешение в герметичных пластиковых формах в смесителе без участия мелющих тел, применение планетарной мельницы и виброистрателя горизонтальной загрузки.

Было показано, что с увеличением в смеси концентрации наноструктурных частиц различной морфологии в интервале 0,5–1,0 мас. % повышаются коксуемость углеродной пекковой матрицы и, соответственно, спекающая способность пека по отношению к наполнителям различной природы. При введении малослойных нанотрубок спекающая способность возрастает практически в 2 раза, для многослойных до 30 %. Наблюдается тенденция к увеличению показателя коксового остатка и критерия спекаемости вне зависимости от исследуемого типа добавки.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИЦИДМОЛИБДЕНОВЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ
ВНУТРЕННЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**(✉)
E-mail: olimp@ism.ac.ru© Н. И. Новохатская¹, д. ф.-м. н. А. М. Столин² (✉), к. т. н. П. М. Бажин², С. Т. Милейко¹¹ ФГБУН «Институт физики твердого тела РАН», г. Черноголовка Московской обл., Россия² ФГБУН «Институт структурной макрокинеки и материаловедения РАН», г. Черноголовка Московской обл., Россия

Показана принципиальная возможность использования метода внутренней кристаллизации, применяемого обычно для кристаллизации оксидных волокон в молибденовой матрице, для получения силицидмолибденовых композитов. В отличие от традиционного метода внутренней кристаллизации процесс пропитки расплавом осуществлялся бестигельным образом. При этом взаимодействие расплава в исходном состоянии — MoSi_2 (температура плавления 2020 °С) с молибденовой матрицей зависит от температуры и времени контакта (скорости перемещения образца в холодную зону). После пропитки заготовка перемещается в холодную зону печи с заданной скоростью. Демонстрация указанной возможности выполнена в серии экспериментов, в результате которых получены композиты с молибденовой матрицей и волокнами на основе Mo_3Si .

Исходный порошок дисилицида молибдена был получен методом СВС, особенностью которого является возможность организации реакции в узкой зоне, перемещающейся по всей заготовке за счет теплопередачи после локального кратковременного инициирования в исходной смеси реагентов. Метод использован в сочетании с процессом высокотемпературного сдвигового деформирования синтезированного материала в усло-

виях свободного СВС-сжатия из исходных элементов молибдена и кремния с последующим механическим диспергированием порошка дисилицида молибдена. Во время свободного СВС-сжатия материал подвергается сдвиговому деформированию, возможность которого базируется на способности горячей массы синтезированного продукта к макроскопическому течению. Использование процесса пластического деформирования приводит к более полному фазообразованию в материале, при этом не наблюдаются непрореагировавшие объемы исходных порошков. Полученный материал после свободного СВС-сжатия подвергался дальнейшему механическому диспергированию и просеиванию через сита с ячейками размерами менее 250 мкм.

Полученные композитные образцы характеризуются структурой, типичной для волокнистых композитов, с некоторыми различиями, связанными с особенностями выбранной системы волокно – матрица. Композиты характеризуются высокими величинами крипоустойчивости до 1400 °С. Результаты указывают перспективы на пути конструирования реальных высокожаропрочных композитов с металлической матрицей.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 14-08-01254.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОКАЛИНОУСТОЙЧИВОСТЬ АНДАЛУЗИТОВЫХ БЕТОНОВ**(✉)
E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын (✉), А. М. Гороховский, М. Н. Дунаева

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

Одним из главных видов износа подины нагревательных и методических печей прокатного производства является химическая коррозия расплавленной окалиной. Окалина, образующаяся при окислении различных марок стали, имеет переменный состав, включающий оксиды железа, а также продукты окисления легирующих элементов и модифицирующих добавок. Минеральная основа окалины (в скобках — температура плавления, °С): магнетит Fe_3O_4 (1590), гематит Fe_2O_3 (1620) и вюстит FeO (1375). При равном содержании этих соединений средняя расчетная температура плавления около 1530 °С. В связи с наличием собственных химических и механических примесей теоретическая температура перехода в жидкотекучее состояние

может снижаться на 200–250 °С и более (при наличии CaO , Al_2O_3 , SiO_2).

В Инженерном центре ОАО «Динур» выполнено комплексное сравнительное исследование относительной коррозионной стойкости низкоцементных высокоглиноземистых бетонов. Для изготовления образцов использованы андалузитовые концентраты КНР, ЮАР, Перу и Франции, а также спеченные муллиты производства КНР и фирмы «Nabaltec», Германия. Ниже приведены химический и минеральный составы, а также главные свойства бетонов до испытания на окалиноустойчивость. Исходные образцы были предварительно подвергнуты термообработке при 1400 (в течение 5 ч) и 1550 °С (в течение 2 ч). Минеральный состав и свойства образцов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Минеральный состав образцов бетонов до испытаний на окалиноустойчивость

Минерал	Образцы после термообработки при 1400 °С					Образцы после термообработки при 1550 °С				
	СМ	КМ	Д	П	ДП	СМ	КМ	Д	П	ДП
Корунд	3–4	3–4	3–4	3–4	3–4	1–2	1–2	1–2	1–2	1–2
Муллит	60–65	55–60	45–40	65–70	55–60	80–85	75–80	70–75	80–85	75–80
Стеклофаза	3–5	2–3	1–2	3–4	2–3	2–3	3–5	3–5	4–6	4–5
Кристаллит	Σ 1–2	Σ 1–2	Σ 1–2	–	1–2	2–3	3–4	2–3	1–2	1–2
Кварц	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Рутил + гематит	~1,0	1,0–1,5	1,0–1,5	1,5–2,0	~1,0	<0,5	1–2	1–2	1–2	~1,0
Анортит	5–6	5–6	5–6	5–6	5–6	3–5	3–5	3–5	3–5	3–5
Андалузит	15–20	25–30	35–40	10–15	20–25	5–7	7–9	10–12	2–3	5–8

Таблица 2. Свойства образцов бетонов после термообработки при температуре 120 / 1000 / 1400 °С

Свойства	Образец Д	Образец П	Образец ДП	Образец КМ	Образец СМ
$\sigma_{сж}$, МПа	49,1 / 71,2 / >100	52,3 / 69,5 / 87,8–100	48,9 / 78,2 / >100	56,5 / 96,6 / >100	51,3 / 82,5 / >100
$\rho_{каж}$, г/см ³	2,67 / 2,64 / 2,61	2,68 / 2,65 / 2,63	2,68 / 2,66 / 2,62	2,63 / 2,60 / 2,58	2,67 / 2,69 / 2,66
$P_{отк}$, %	8,8 / 14,7 / 12,6	7,6 / 13,5 / 10,9	9,2 / 15,3 / 13,8	12,7 / 15,0 / 13,3	7,6 / 12,3 / 10,2
$\pm \Delta V$, %	0,36 / 0,4 / 0,4	0,1 / 0,2 / 0–0,06	0,32 / 0,2 / 0,3	0,2 / 0,4 / 0,1–0,2	–0,2 / –0,1 / 0,0

Определение окалиноустойчивости выполняли статическим (тигельным) методом с использованием окалины ($\Sigma[FeO + Fe_2O_3 + Fe_3O_4] \sim 95\%$). Температура плавления окалины ниже 1350 °С. Продолжительность испытания 18 ч при температуре 1400 °С в окислительной атмосфере (воздух).

Как показало детальное минералогическое петрографическое исследование, в бетонах при испытании происходили две группы фазово-структурных превращений: внутренние (формирование керамической структуры) и массообменные (химическое взаимодействие бетона с окалиной). Главными внутренними процессами являются: полное перерождение андалузита в муллит, стеклофазу и кристобалит, а также синтез анортита в матрице бетонов в связи с наличием высокоглиноземистого цемента. Продуктами массообменных реакций с окалиной являются герцинит $FeAl_2O_4$, феррокорунд $(Al, Fe^{3+})_2O_3$, гематитовый твердый раствор $(Fe^{2+}, Al)_2O_3$ и высоковязкая стеклофаза сложного состава $CaO \cdot FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$.

Установлена повышенная химическая агрессивность расплавленной окалины по отношению к муллиту, но исключительно в тонком реакционном (поверхностном) слое толщиной 1–3 мм. Химическое взаимодействие главного минерала бетонов — муллита с расплавом окалины происходило по схеме: $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + [FeO + Fe_2O_3 + Fe_3O_4] \rightarrow$ Реакционный расплав $\rightarrow$ Охлаждение расплава $\rightarrow$ Кристаллизация расплава $\rightarrow (Al, Fe^{3+})_2O_3 + (Fe^{2+}, Al)_2O_3 + FeAl_2O_4 + CaO \cdot FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$. Окалиноустойчивость образцов снижается в ряду: ДТ > СМ, ДП > Д > КМ > КМ1 > КМ2. Устойчивость бетонов к расплавленной окалине определяется целым рядом факторов: чистотой исходных компонентов, содержанием Al_2O_3 и муллита, степенью и скоростью перерождения андалузита, капиллярной пористостью образца, природой муллита и андалузита. Установлено, что природный андалузит по окалиноустойчивости не уступает, а в чистых разновидностях даже превосходит устойчивость к окалине спеченного муллита, несмотря на значительное меньшее содержание Al_2O_3 .

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ХАРАКТЕР ИЗНОСА ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ, РАБОТАЮЩИХ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© А. А. Платонов, И. Г. Марясов (✉)

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

Как известно, альтернативные виды топлива резко повышают содержание оксидов щелочей и щелочноземельных металлов в газовой фазе, что становится причиной ускоренного разрушения футеровки печей. На основании анализа огнеупорных материалов после службы в условиях использования альтернативного топлива с помощью различных (в первую очередь микроскопических и рентгенофазовых) исследований установлено формирование зональности в изделиях. Разработан механизм разрушения огнеупоров через возникновение новых фаз в процессе эксплуатации вращающихся печей производства цемента и известковой печи. Отмечены интересные данные, зафиксированные в известковой печи: холодный край изделия подвергается не менее интенсивной пропитке компонентами шихты, как и горячие поверхности; в неизменном виде сохраняются только центральные зоны изделия. Конструкционные осо-

бенности теплового агрегата — наличие канала между основным и арматурным слоями футеровки, в который проникают пылевые потоки из основного рабочего объема печи — становятся дополнительным существенным фактором, влияющим на стойкость изделия.

Дана оценка причин низкой стойкости рядовых периклазошпинельных изделий во вращающихся печах. Выделено влияние глубокой, часто сквозной пропитки солями поровой структуры огнеупоров. В зонах пропитки отмечается разупрочнение микроструктуры с разрушением практически всех связей, кроме связей алюмомагнезимального состава. Проведен ряд испытаний изделий производства Группы Магнезит на устойчивость к цементным клинкерам с добавкой сульфата калия в лабораторной вращающейся печи. По результатам комплекса испытаний разработаны рекомендации по выбору наиболее стойких к данным конкретным условиям службы огнеупорных материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СУХАЯ КОРУНДОВАЯ СМЕСЬ С ОБРАЗОВАНИЕМ РЕАКЦИОННО-СПЕЧЕННОГО ГЕКСААЛЮМИНАТА КАЛЬЦИЯ В ПРОЦЕССЕ СЛУЖБЫ

(✉)

E-mail: ukmiio@kharkov.ukrtel.net

© Д. Т. Н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко (✉), к. т. н. Л. А. Бабкина, к. т. н. И. В. Хончик, Л. М. Щербак

ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

В УкрНИИО имени А. С. Бережного проведены исследования процессов образования реакционно-спеченного гексаалюмината кальция в образцах из сухой корундо-

вой смеси. Установлено, что использование в составе сухой корундовой смеси добавки высокоглиноземистого цемента, а в качестве тонкомолотой составляющей

глинозема обеспечивает в процессе службы смеси образование реакционно-спеченного гексаалюмината кальция. Это приводит к повышению прочности образцов из этой смеси после высокотемпературного обжига примерно в 2 раза (от 12 до 23 МПа) и их устойчивости к воздействию расплава кислого шлака (примерно на 40 % по сравнению с образцами исходного состава).

Показатели сухой корундовой смеси разработанного состава и образцов, изготовленных из нее: хими-

ческий состав — Al_2O_3 не менее 97,0 %, SiO_2 не более 0,5 %, Fe_2O_3 не более 0,5 %, CaO 1,0–2,0 %; зерновой состав — <3 мм; предел прочности при сжатии после обжига при 1580 °С 23,0 МПа. В институте освоено изготовление сухой корундовой смеси с образованием реакционно-спеченного гексаалюмината кальция. Разработанная сухая смесь рекомендуется для футеровки индукционных тигельных печей с температурой службы выше 1580 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ УСТАНОВОК ВЫРАЩИВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ

(✉)

E-mail: ukmiio@kharkov.ukrtel.net

© Д. Т. Н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко (✉), к. т. н. И. Г. Шулик, к. т. н. Т. Г. Гальченко

ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного», г. Харьков, Украина

При выращивании монокристаллов особое внимание уделяется чистоте атмосферы, в которой происходит рост кристаллов, так как привнесение малейших посторонних примесей в вакуумную среду неизменно приводит к ухудшению свойств выращиваемого монокристалла, и в первую очередь, его оптических характеристик. Использование изделий из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, отличающихся высокой огнеупорностью, низкой теплопроводностью, устойчивостью к сублимации вплоть до 2500 °С, позволяет обеспечить высокое качество выращиваемых монокристаллов, значительно уменьшить затраты электроэнергии, потребляемой установками, за счет низкой теплопроводности футеровки.

В УкрНИИО имени А. С. Бережного разработана технология и освоено производство высокоогнеупорных изделий из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, различной конфигурации и размеров. Для установок нового поколения выращивания монокристаллов исследовано влияние максимального раз-

мера зерна заполнителя, новых пластифицирующих добавок, количества добавки моноклинного диоксида циркония и спекающих добавок на свойства изделий, в результате чего разработана технология и освоено производство изделий из диоксида циркония, стабилизированного примерно 10 % Y_2O_3 , марки ЦИС-1Т. Ранее такие изделия в институте не производились.

Показатели свойств изделий (ТУ У 23.2-00190503-405:2015): массовая доля ($\text{ZrO}_2 + \text{HfO}_2$) 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 35 МПа; термостойкость (1300 °С – вода) не менее 3 тепломен. Изделия успешно служат в высокотемпературных установках выращивания монокристаллов на предприятиях Украины, Российской Федерации, Республики Беларусь, Канады, Кореи, обеспечивая при выращивании высококачественных монокристаллов александрита, корунда, форстерита, алюмомагнезиальной шпинели, лейкосапфира длительный срок службы изделий в вакууме при 2200 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА КАРБИДА ТИТАНА

(✉)

E-mail: festurvp@mail.ru

© К. Т. Н. В. П. Рева¹ (✉), А. Э. Филатенков¹, к. х. н. В. Г. Курявый², Д. А. Гулевский¹, В. Ю. Ягофаров¹, д. т. н. Ю. Н. Мансуров¹

¹ ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

² ФГБН «Институт химии Дальневосточного отделения РАН», г. Владивосток, Россия

В последнее время все большее применение при производстве композитных систем различного назначения находят карбид титана, используемый в технологиях как порошковой металлургии, так и традиционной. Одним из перспективных методов синтеза карбида титана является высокотемпературный механохимический синтез, позволяющий получать продукты с низким содержанием вредных примесей. Известно, что для механохимического синтеза карбида титана с низким содержанием серы перспективно использование модификаций углерода из растительного сырья и природного графита. Синтез карбида титана проводили на варио-планетарной мельнице.

В настоящем исследовании синтез карбида титана осуществляли на энергонапряженной вибрационной

мельнице, что позволило выявить новые аспекты механохимической технологии. В качестве исходных материалов использовали различные виды возобновляемого растительного сырья, а также сажу марки ПМ-15 и природный графит различной зольности. Активацию исходных компонентов и механохимический синтез карбида титана осуществляли в герметичном механореакторе вибромельницы при частоте колебаний механореактора 750 мин⁻¹ и амплитуде 90 мм. О прохождении синтеза судили по скачкообразному повышению температуры в механореакторе, измеряемой на его внешней стенке с помощью инфракрасного лазерного пирометра, после чего вибрационная обработка прекращалась. Влияние углеродных агентов на условия реализации механохимического синтеза карбида титана оценивали по дли-



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ



Российский госстандарт времени входит в группу лучших мировых эталонов, его относительная погрешность не превышает $5 \cdot 10^{-11}$, т.е. 0,000000000000005 сек, что позволяет накопить погрешность не более 1 секунды за полмиллиона лет

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

ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЯЕТ КАЧЕСТВО

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ» - СТАРШИЙ ПРЕДПРИЯТИЕ ОТРАСЛИ, ВЫПУСКАЮЩЕЕ БОЛЕЕ 300 ТЫС. ТОНН ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И 250 ТЫС. ТОНН ПРОПАНТОВ В ГОД. ПРЕДПРИЯТИЕ РАСПОЛАГАЕТ ЗАПАСАМИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ, ИМЕЕТ СОВРЕМЕННУЮ ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ И НАУЧНУЮ БАЗУ, АККРЕДИТОВАННУЮ В СИСТЕМЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ ИСПЫТАТЕЛЬНУЮ И МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ЛАБОРАТОРИИ, КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КАДРЫ.

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

WWW.AOBKO.RU

РЕКЛАМА

тельности задержки механохимического синтеза — время от начала механоактивации исходных компонентов до момента скачкообразного повышения температуры стенок механореактора.

Первоначально были получены модификации углерода с аморфной и аморфно-кристаллической структурой из возобновляемого растительного сырья (отходы с/х культур) при температуре пиролиза 950–1500 °С. Данные модификации углерода использовали в качестве углеродсодержащего компонента для проведения механохимического синтеза карбида титана. Установлено, что структура модификаций углерода, сформированная при различных температурах пиролиза растительного сырья, влияет на длительность задержки механохимического синтеза карбида титана. Наиболее перспективно применение углеродного сырья, имеющего аморфное строение. Вид растительного сырья также значительно влияет на время задержки механохимического синтеза карбида титана. Содержание серы и свободного углерода в карбиде титана, синтезированном с использованием модификаций углерода, полученных

пиролизом растительного сырья, меньше, чем в карбиде титана, синтезированном с применением сажи ПМ-15, от 2 до 17 раз. Применение серебристого графита с низкой зольностью в качестве углеродного агента для проведения механохимического синтеза карбида титана позволяет снизить энергетические затраты при одновременном повышении качества синтезируемого продукта.

Таким образом, структура углеродных компонентов является лимитирующим фактором при проведении механохимического синтеза карбида титана в условиях вибрационной обработки. Карбид титана, синтезированный с использованием модификаций углерода из растительного сырья, обладает химическим составом с низким содержанием серы и свободного углерода, что предпочтительно для использования в производстве дисперсно-упрочненных сталей, огнеупорных материалов, а также в технологии порошковой металлургии. Определяющим фактором реализации механохимического синтеза карбида титана в присутствии графита является его зольность.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: vskurihin@aobko.ru

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ФУТЕРОВКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ И ЦЕМЕНТА

© К. Т. Н. А. В. Сакулин¹, К. Т. Н. В. В. Скурихин¹ (✉), К. Т. Н. А. П. Маргишвили²,
О. С. Кузнецова¹, А. Н. Иксанова¹, В. В. Булин¹

¹ АО «Боровичский комбинат огнеупоров», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

² ООО «Торговый дом БКО», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Широкий спектр выпускаемой продукции позволяет обеспечивать огнеупорами не только металлургическую отрасль, но и неметаллургическое производство. Успешно применяют разработанные огнеупорные материалы для футеровки различных зон печей и запечных устройств вращающихся печей обжига извести и цементного клинкера. При выпуске огнеупорных изделий Боровичский комбинат огнеупоров (БКО) использует как традиционное сырье, так и природное алюмосиликатное сырье с уникальными свойствами. Использование огнеупоров из андалузита обосновано высокой чистотой, достаточной стабильностью объема, низкой пористостью, активной муллитизацией и низкой теплопроводностью.

В настоящее время разработан и успешно реализуется проект энергосберегающей двухслойной футеровки вращающейся печи обжига извести в Северстали и подготовлен проект для НЛМК с использованием в зоне обжига андалузитовых изделий производства БКО. Андалузитовые огнеупоры обладают рядом преимуществ: высокой термостойкостью, низким ТКЛР, мелкопористой структурой, повышенными показателями механической прочности, абразивной и коррозионной устойчивости, которые позволяют успешно использовать огнеупоры в зоне спекания

вращающихся печей. При этом экономия энергоносителей за счет снижения теплотерь через футеровку, а также повышенная стойкость материала позволяют добиться максимального экономического эффекта вплоть до вывода футеровки в режим саморемонтируемости.

Использование природного материала — андалузита, содержащего примеси железа, титана и оксидов щелочных и щелочноземельных металлов, может привести к образованию таких дефектов внешнего вида изделий, как выплавки, выступы, образовавшиеся в результате роста зерна андалузита, пятна на поверхности и изменение цвета изделий. В научно-исследовательском центре БКО проведены исследования поведения андалузитового сырья при воздействии высоких температур, а также влияния дефектов внешнего вида изделий после обжига на их эксплуатационные характеристики. В частности, проведены испытания огнеупорных изделий с выплавками и прострелами на рабочей поверхности на устойчивость к воздействию извести при контакте в течение длительного времени и высокой температуры. По результатам исследований определены требования к исходному андалузиту, по которым рекомендованы предпочтительные марки и поставщики.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО СОСТАВА
АЛЮМОХРОМСОДЕРЖАЩИХ ОГНЕУПОРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС**(✉)
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. СатбаевРГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан»,
г. Астана, Республика Казахстан

Проведение комплексного физико-химического исследования свойств и процессов, происходящих при различных температурах в исходных компонентах огнеупоров и их смесях, позволяет создать научно обоснованный подход к выбору условий синтеза новых огнеупорных материалов с заданными свойствами. В настоящее время Астанинским филиалом РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» разработаны новые виды высокоэффективных керамических защитно-упрочняющих СВС-покрытий, торкрет-масс и обмазок нового поколения для футеровки металлургических агрегатов, а также современные технологии нанесения их на футеровку. В основу получения таких материалов положен подход, основанный на использовании термохимического процесса СВС, протекающего с выделением тепла в автоволновом режиме типа горения и приводящего к образованию твердых продуктов.

В наших исследованиях изучали частичную замену хромсодержащего заполнителя в разработанных композициях на алюминийсодержащий компонент для их удешевления и придания им дополнительной химической стойкости. Состав заполнителя, %: отход производства, представляющий собой шлак феррохрома с повышенным содержанием оксида алюминия (Al_2O_3 50 %, MgO 20 %, CaO 18,9 %, дисперсность не более 0,1 мм) 33–45; хромитовый концентрат (Cr_2O_3 54,1 %, MgO 16,5 %, Al_2O_3 8,0 %, FeO 7,5 %, Fe_2O_3 6 %, SiO_2 4,8 %, CaO 0,4 %) 19–31 %; алюминий марки ПА-4 (дисперсность не более 200 мкм) 13–16; природный сульфат магния $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (дисперсность не более 200 мкм) 20–23. Предлагаемый оптимальный фракционный состав создает полное протекание процесса самоспекания и оптимальное заполнение пространства между компонентами смеси, обеспечивая тем самым получение химически стойкого, плотного и прочного материала. Предложенное соотношение компонентов заполнителя подобрано экспериментально и позволило получить изделия со следующими характеристиками: огнеупорность 2000–2050 °С; химическая стойкость: 97,8–98,8 % (HCl 35 %-ная),

96,9–98,0 % (H_2SO_4 конц.); предел прочности при сжатии 163–170, при изгибе 22–24 МПа; термостойкость 1300 °С – вода (5–25 °С) до появления трещин 17–19 теплосмен, до разрушения 22–23 теплосмены.

Формирование структуры огнеупора происходит с появлением соответствующих расплавов и образованием высокоплотных и высокопрочных соединений, приводящих к цементации, уплотнению и омоноличиванию частиц шлака феррохрома и, следовательно, более прочного алюмохромового конгломерата с повышенной химической стойкостью и механической прочностью; огнеупорность конгломерата выше 2000 °С. При введении компонентов смеси в указанных соотношениях и при соответствующем фракционном составе обеспечиваются условия более плотного заполнения пространства между частицами смеси и получения однородной массы.

Самоспекание состава происходит за счет экзотермической реакции между восстановителем — алюминием и окислителем — сульфатом магния. Установлена зависимость скорости горения хромоалюминиевого термита от крупности порошка алюминия. Произведен расчет необходимой температуры подогрева для устойчивого горения хромитовой руды с алюминием в зависимости от содержания алюминия. Расчетный максимум температуры горения 1172 °С при содержании воспламенителя 15,5 %. Экспериментальная температурная кривая соответствует рассчитанной для реакций полного восстановления оксидов хрома без учета энергии взаимодействия между простыми оксидами.

Таким образом, выбор оптимального состава алюмохромсодержащих огнеупоров проведен по результатам комплексного исследования основных физико-химических и эксплуатационных свойств синтезированных материалов. Благодаря уникальному сочетанию таких свойств, как высокие химическая стойкость, огнеупорность, механическая прочность, твердость, износостойкость, разработанные материалы могут успешно применяться для изготовления химически стойких огнеупорных изделий, футеровки, замазок и бетонов для различных отраслей промышленности.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**СОЗДАНИЕ МУЛЛИТОКОРУНДОВЫХ МАТРИЦ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ
НАНОЧАСТИЦАМИ β -SiC**(✉)
E-mail: sgd.ceram@mail.ru© Д. Т. Н. **Г. Д. Семченко**¹ (✉), д. т. н. **Э. С. Геворкян**², к. т. н. **И. Ю. Шутеева**¹, **М. В. Кислица**²,
А. А. Васюк¹, **Л. В. Руденко**¹¹ Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина² Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков, Украина

Создание эффективных теплоизоляционных материалов специальных тепловых установок и конструктивных материалов, в том числе для изготовления ре-

жущих инструментов для машиностроения, на основе муллитокорундовых матриц, повышение их стойкости к перепадам температур — актуальная задача. Про-

блема создания плотноспеченных муллитокорундовых матриц, армированных наночастицами бескислородных соединений, тесно связана с взаимодействием на границе раздела фаз. Корундовые материалы улучшают свои физико-механические свойства при введении в их состав добавок ZrO_2 и SiC . Добавка ZrO_2 улучшает физико-механические свойства корундовых материалов в результате объемных изменений при полиморфных превращениях ZrO_2 . Введение небольших количеств SiC в матрицу корундовых материалов и равномерное его распределение затруднительно, поэтому использована идея самоармирования корундовой матрицы наночастицами SiC , образующегося в результате механохимического синтеза при модифицировании корундового порошка тетраэтоксисиланом (ТЭОС) при измельчении. Использование золь-гель процесса и механохимического синтеза позволяет синтезировать при более низких температурах тугоплавкие соединения, в том числе бескислородные, и создавать из них нанокомпозиционные материалы, регулируя процессы наноструктурирования на молекулярном уровне. При модифицировании наполнителей разных тугоплавких соединений добавкой ТЭОС в процессе измельчения порошка наблюдается механохимический синтез наноразмерного β - SiC . Дифракционные пики β - SiC не налагаются на дифракционные пики α - Al_2O_3 , механохимический синтез SiC подтвержден результатами рентгенофазового анализа. Дифрактограмма электрокорунда, модифицированного ТЭОС, содержит 7 пиков механохимически синтезированного β - SiC .

Использование механохимического синтеза для получения наночастиц β - SiC в корундовой матрице режущего инструмента для ее самоармирования дает возможность улучшить механические свойства материала на основе корундового наполнителя, модифицированного ТЭОС. При механохимических и термических превращениях ТЭОС и геля на его основе образуется органо-неорганический комплекс $(-CH_3)-(SiO_2)_n$. Именно эти комплексы являются прекурсорами атомарного углерода и паров монооксида кремния для синтеза β - SiC при низких температурах в системе $Si-O_2-C$. Механизм превращения ТЭОС в процессе механохимической акти-

вации и самоорганизации компонентов системы $Si-O_2-C$ для низкотемпературного синтеза SiC заключается в следующем: $Si(OC_2H_5)_4 \rightarrow SiO_2 + 2C_2H_4 + 2H_2O$, $Si(OC_2H_5)_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 4C_2H_5OH$, $C_2H_5OH \rightarrow CH_4 + H_2 + CO$, $C_2H_4 \rightarrow CH_4 + C$, $(-OC_2H_5) \rightarrow (-CH_3)$. В результате вышеперечисленных превращений наблюдается создание органо-неорганического комплекса $(-CH_3)-(SiO_2)_n$. При нагревании происходят следующие его превращения, сопровождающиеся образованием атомарного углерода и паров монооксида кремния: $SiO_2 + CH_4 \rightarrow SiO + CO + 2H_2$, $SiO_2 + H_2 \rightarrow SiO + H_2O$, $SiO + H_2 \rightarrow Si + H_2O$, $2(-CH_3) \rightarrow 2C + 3H_2$. В результате взаимодействия атомарного углерода и монооксида кремния в модифицированном корундовом порошке синтезируются наночастицы β - SiC_{TB} в точках соударения мелющих тел при его измельчении с добавкой элементоорганического вещества, где наблюдается повышение температуры до $760^\circ C$: $2C_{TB} + SiO_f \rightarrow \beta-SiC_{TB} + CO$, $2C_{TB} + 2SiO_f \rightarrow 2\beta-SiC_{TB} + CO$, $3C_{TB} + SiO + Si \rightarrow 2\beta-SiC_{TB} + CO$.

Низкотемпературный синтез β - SiC подтвержден термодинамическими расчетами взаимодействия компонентов по диаграмме состояния системы $Si-O_2-C$ при $P_{CO} / P_{CO_2} = 9 : 1$ при различных значениях P_{SiO} . Установлена зависимость температуры начала образования SiC от P_{CO} / P_{CO_2} и P_{SiO} , равном 10^{-2} , 10^{-4} , 10^{-6} , 10^{-8} , 10^{-12} и 10^{-19} ат. Установлено, что при уменьшении парциальной доли P_{SiO} на каждые два порядка температура начала синтеза SiC снижается почти на $200^\circ C$. Синтез SiC из монооксида кремния и углерода ниже $530^\circ C$ возможен при парциальной доле P_{SiO} , равной 10^{-19} ат, при разных соотношениях P_{CO} / P_{CO_2} . При $P_{SiO} = 10^{-19}$ ат температура синтеза равна $487^\circ C$. Таким образом, если в системе $Si-O_2-C$ одним из газовых компонентов среды является монооксид кремния SiO , то начало реакции синтеза SiC снижается на несколько сотен градусов, что происходит в соответствии с триангуляцией концентрационного треугольника $Si-O_2-C$.

Материалы на основе корундового наполнителя, механохимически активированного ТЭОС, после обжига при заданных температурах и особенно при использовании нетрадиционных способов спекания имеют высокие физико-механические свойства и термостойкость.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: sgd.ceram@mail.ru

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ ИЗ МАСС НА ОБЫЧНЫХ И ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СВЯЗУЮЩИХ

© Д. Т. Н. Г. Д. Семченко (✉), В. В. Макаренко, К. Т. Н. И. Ю. Шутеева, Е. Е. Старолат, Ю. В. Пермяков, К. Т. Н. Н. С. Чопенко

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина

Исследование структурно-механических свойств масс для изготовления изделий сложной конфигурации и создания самотвердеющих многослойных покрытий представляет большой практический интерес. Известно, что сложные коллоидно-химические и физические процессы под воздействием вводимых добавок влияют на структурообразование и свойства твердеющих масс. При изготовлении изделий сложной конфигурации и многослойных покрытий на основе корундового наполнителя и самотвердеющих золь-гель композиций важны оптимизация структуры этого материала с учетом

поверхностей раздела между зёрнами наполнителя и слоями, а также выбор способа снижения повреждаемости контактов между ними с помощью различных технологических приемов.

Принципы физико-химической механики указывают на возможность выбора способов соответствия параметров технологических воздействий на физико-механические процессы, происходящие в массах на золь-гель связующих. Золь-гель композиции со стехиометрическим или большим количеством воды для гидролиза этилсиликата являются более технологич-

ными при использовании как корундового плавного заполнителя, так и тонкомолотых порошков бескислородных соединений. Для изготовления покрытий и пропитывающих композиций использовали различные золь-гель композиции для разных слоев: первый — для барьерного слоя, второй — для основного. Для нижнего слоя использовали корундовый наполнитель с зерном менее 1 мкм, модифицированный добавкой тетраэтоксисилана (ТЭОС), основной слой изготавливали из корунда с размером зерна менее 63 мкм. Литые изделия на разных наполнителях изготавливали с использованием модифицированных золь-гель связующих. Для изготовления прессованных большемерных изделий сложной конфигурации на основе тонкомолотого корунда и разных видов волокна использовали пластифицированные связующие на основе парафина и гидролизата этилсиликата.

Создание структуры при твердении самотвердеющей массы сопровождается уплотнением, которое происходит до тех пор, пока действующие напряжения в коагуляционной системе будут превышать прочность формирующейся структуры. Прочность самотвердеющих масс в процессе твердения возрастает со временем вследствие поликонденсации золя и образования геля, склеивающего зерна наполнителя. Прочность материалов на золь-гель связующих после твердения на воздухе составляла 17–21 МПа.

Исследованы структурно-механические свойства материала для изготовления изделий сложной конфигурации на основе корунда и пластифицированного связующего. Массы без пластификатора, на одном

золь-гель связующем относятся к нулевому структурно-механическому типу и характеризуются наибольшей быстрой эластической деформацией, наименьшей пластической деформацией, а также максимальным периодом истинной релаксации. Для этого структурно-механического типа характерны хрупкое разрушение структуры и дефектность структуры при формировании. При использовании только пластификатора в качестве связующего массы переходят в четвертый структурно-механический тип, для которого характерна склонность к пластическому разрушению. И только при использовании связующего, пластифицированного золь-гелем, значения обратимой и необратимой пластической деформации сближаются, уменьшаются пластическая вязкость и период истинной релаксации, что улучшает характеристики технологического процесса изготовления изделий сложной конфигурации, в том числе для новой техники. Чем тоньше слой связующего между зернами заполнителя, тем выше качество изделий и покрытий, тем больше срок их эксплуатации.

При использовании в качестве связующего смесей парафина с золь-гель композициями методом прессования изготовлены изделия сложной конфигурации. Установлено влияние параметров технологических факторов (количество модификатора, способ его нанесения на волокно, содержание парафина, температура обжига и среда) на получение композиционного материала пористостью не более 2 % с пределом прочности при сжатии 910 МПа при использовании поликристаллического Al_2O_3 -волокна и соответственно 10 % и 350–570 МПа при использовании каолинового волокна.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПОДЛОЖКИ НА ОСНОВЕ КОРУНДА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНЫХ МЕМБРАН МОДУЛЕЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

(✉)
E-mail: snnmarina@rambler.ru

© М. О. Сенина (✉), К. Т. Н. Д. О. Лемешев, К. Х. Н. О. В. Яровая, Е. В. Журба

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия

В последние годы на первое место в технологиях грубой очистки природных и сточных вод выходят мембранные методы разделения — микрофльтрация, ультрафльтрация, нанофльтрация и обратный осмос. В этих методах, а также в электродиализе отделение воды от различных примесей осуществляется с помощью селективно-проницаемых перегородок — мембран. Материалом, широко используемым для изготовления фильтров, мембран и катализаторов, является керамика на основе нанопорошков термообработанного корунда. Уникальные свойства пористых корундовых материалов позволяют использовать их в широком диапазоне pH и в любых растворителях, в том числе проводить регенерацию практически всеми видами кислотных и щелочных сред. Керамика на основе корунда имеет высокую температуру спекания (1550–1850 °C), и снижение этой температуры является актуальной проблемой.

Цель данной работы — изучить теоретическую базу и осуществить практическую часть работы, т. е. разработать технологию получения дисковых пористых подложек керамических мембран на основе корунда; исследовать составы композиций, грануломе-

трический состав, режимы сушки и термообработки; создать изделия открытой пористостью более 40 % с диаметром пор менее 1 мкм. В ходе эксперимента был использован порошок электроплавного корунда со средним размером частиц 9,3 мкм (маркировка — М5 по ГОСТ 3647, F600 по FEPA-42D). В качестве связующего компонента использовали глину Дружковского месторождения, соотношение корунд : глина 95 : 5. Для снижения температуры спекания вводили добавку эвтектического состава $MnO \cdot TiO_2$, имеющую температуру плавления 1290 °C, в количестве 1, 3, 5, 7 и 10 мас. %. Заготовки формовали методом полусухого прессования под давлением 10 МПа. Температура обжига варьировалась от 1100 до 1300 °C. В ходе работы были получены образцы, обладающие высокими механической прочностью ($\sigma_{изг} = 20 \div 40$ МПа) и открытой пористостью ($P_{отк} = 40 \div 45$ %), преимущественно с открытыми канальными порами размерами около 1 мкм.

В последнее время получают мембраны, которые наряду с разделительной способностью обладают также каталитической и биореакционной способностями, для чего на поверхность подложки наносят последо-

вательно промежуточные (для лучшей адгезии) и селективные слои на основе различных соединений. В настоящей работе на полученные образцы наносили селективные слои на основе соединений кобальта по золь-гель технологии. Поскольку были получены подложки по размеру пор, удовлетворяющие уровню микрофльтрации, то нанесение производили без

предварительного получения промежуточного слоя на подложке. Подложки с нанесенным слоем сушили на воздухе, затем термообработывали при 400 и 600 °С со скоростью нагрева 1 °С/мин и выдержкой при конечной температуре 1 ч. Были получены мембраны с развитой поверхностью за счет того, что слой покрывал стенки каналов пор, не перекрывая их.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПРОПИТКА ФОСФАТАМИ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

(✉)

E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

© К. т. н. **В. В. Словицкий**, **А. В. Гуляева** (✉)

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

Известно, что эксплуатационные свойства огнеупорных изделий можно улучшить с помощью различных пропиток. Авторы в качестве пропитывающего реагента использовали следующие однозамещенные фосфаты: алюмохромфосфатную связку (АХФС) и алюмофосфатную связку (АФС) плотностью 1,56–1,57 г/см³, ортофосфорную кислоту (H₂PO₄). Образцы изделий марки ПХСО погружали в фосфат и выдерживали до получения постоянного веса. Исследования показали, что максимальной пропитывающей способностью обладает АХФС, а минимальной — АФС. Оптимальная продолжительность пропитки 0,5 ч. Пропитанные образцы для удаления влаги, входящей в состав фосфатной связки, прокачивали при 850–900 °С. Исследования некоторых физико-механических свойств образцов, пропитанных фосфатами, показали, что плотность их возрастает, а пористость понижается, температура начала деформации под нагрузкой 0,2 МПа у них выше, термостойкость повышается в 3 раза.

По предложенной в настоящей работе технологии на Кировградском медеплавильном комбинате были изготовлены желобки из кирпича периклазохромитового состава для устройства фурм горизонтального конвертера. Затем изделия были пропитаны АХФС. После сушки и прокачивания опытной футеровки с подъемом температуры со скоростью 56 °С/ч в течение 16 ч конвертер был запущен. Эксплуатация такого конвертера показала, что стойкость футеровки фурменного пояса возросла на 15–20 %.

Подобные изделия желобчатого типа, пропитанные АХФС, использовали для оформления шпурового узла электропечей для плавки олова на Новосибирском оловянном комбинате. Стойкость футеровки из пропитанных изделий возросла в 2,0–2,5 раза. Расход АХФС составил 3–4 % от массы футеровки, что не привело к резкому подорожанию кладки. Процесс пропитки огнеупорных изделий АХФС можно осуществлять непосредственно на металлургических предприятиях, что тоже удешевляет процесс при его большой эффективности.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СИЛИКАТНЫЙ БЕЗАВТОКЛАВНЫЙ КИРПИЧ И ЦВЕТНЫЕ ОТДЕЛОЧНЫЕ ПЛИТКИ ИЗ ОТХОДОВ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(✉)

E-mail: sersok_07@mail.ru

© Д. т. н. **В. Н. Соков** (✉), к. т. н. **С. Д. Сокова**

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Практическому использованию отходов огнеупоров на месте их образования способствуют два обстоятельства: необходимость утилизации отходов и улучшения экологии, а также возможность организации производства различных строительных материалов. В настоящих исследованиях использовали следующие сырьевые материалы: кека, шлик-порошок, бой гипсовых форм и негашеную известь. Для целенаправленного составления комплексного вяжущего установлена взаимосвязь между ними и рассмотрено влияние каждого ингредиента на свойства изделий. Это позволило обоснованно назначить их интервалы варьирования при планировании эксперимента. Исследования показали, что на свойства изделий существенно влияют взаимодействия каждого компонента смеси и режимов тепловой обработки.

Изготовление силикатного кирпича осуществлялось варьированием состава компонентов и соотношением вяжущее : мелкий заполнитель, изменением влажности шихты и давления прессования. Принята

формовочная смесь следующего состава: вяжущее — кека 45 %, негашеная известь 30 %, двухводный гипс 5 %, шлик-порошок 20 %. Соотношение вяжущее : заполнитель варьировалось от 1:1 до 1:3. Заполнитель — бой гипсовых форм с модулем крупности $M_{кр}$ (характеризует гранулометрический состав заполнителя) 0,8–1,2, размер зерен 0,63–2,5 мм. Влажность шихты изменяли от 8 до 12 %, давление прессования от 5 до 20 МПа. Тепло-влажностную обработку вели в пропарочной камере по следующему режиму: 2 ч — подъем температуры, 8 ч — изотермическая выдержка, 2 ч — охлаждение; максимальная температура (90±20) °С.

Наиболее высокие прочностные показатели кирпича получены при соотношении вяжущее : заполнитель 1:2. Уменьшение этого соотношения до 1:1 или его увеличение до 1:3 приводит к снижению предела прочности изделий при сжатии. Благоприятная формовочная влажность данного состава примерно 11 %. Увеличение этого показателя приводит к растрескиванию изделий,

а снижение до менее 10 % — к плохой формуемости массы и низкому пределу прочности материала при сжатии. Водопоглощение кирпича достигает 13 %. В сравнении с силикатным кирпичом автоклавного твердения на основе известково-песчаного вяжущего оно несколько выше. Однако исследования показали, что при введении заполнителя с более высоким модулем крупности можно добиться снижения водопоглощения до 8–9 %. Силикатный кирпич выдерживает 35 циклов переменного замораживания и оттаивания. Наибольшей морозостойкостью обладают изделия с $M_{кр} = 1,2$. Снижение $M_{кр}$ до 0,8 приводит к уменьшению морозостойкости, что, по-видимому, связано с характером порового пространства. Карбонизационную стойкость силикатного кирпича изучали при хранении его в помещении с постоянными температурно-влажностными параметрами: температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, относительная влажность $(60 \pm 5)\%$. Через постоянные промежутки времени измеряли массу образцов и их длину. При достижении постоянных значений этих показателей определяли предел прочности при сжатии и изгибе образцов, усадку и степень карбонизации. Усадочные деформации образцов после естественной карбонизации в зависимости от технологических факторов составляют 0,27–1,20 мм/м.

Применение комплексного вяжущего для получения кирпича марок 100 и 150 позволяет снизить рас-

ход извести от 60 до 30 % и, что самое главное, отказаться от автоклавной обработки, свойственной при изготовлении традиционного силикатного кирпича известково-песчаного состава. Это открывает возможность организации конвейерной технологии изготовления изделий с пропариванием в туннельных или щелевых камерах.

По свойствам состав используемых ингредиентов не уступает белому цементу марки М150. С учетом высокой белизны вяжущего (белизна по BaSO_4 65–70 %), дефицита белого и цветного цемента, высокой потребности строительства в отделочных материалах были проведены исследования по изготовлению из них отделочных плиток. Шихта состояла из заполнителя (50–70 %) и комплексного вяжущего (50–30 %). Содержание в вяжущем негашеной извести составляло 20–30 %, гипса 4–7 %, кека 76–70 %. Вяжущее и заполнитель подавали в бетономешалку, смесь перемешивали с водой в течение 5 мин. Влажность полученной массы изменялась от 12 до 15 %. После укладки в форму массу вибрировали и после предварительной выдержки пропаривали. Из массы изготавливали отделочные плитки для жилищного строительства размерами $500 \times 500 \times 35$ мм и параллельно образцы-кубы для определения предела прочности при сжатии. Наиболее удачными получились плитки, отформованные на гладкой поверхности «лицом» вниз.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: olimp@ism.ac.ru

СИНТЕЗ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

© Д. ф.-м. н. **А. М. Столин**^{1,2} (✉), к. т. н. **П. М. Бажин**^{1,2}, к. т. н. **Д. В. Кузнецов**²,
А. С. Константинов¹, **З. Г. Турганов**², **Н. Б. Есболов**²

¹ ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН», г. Черноголовка Московской обл., Россия

² Научно-исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

Известно, что для улучшения формовочной способности, повышения эффективности распределения мелких частиц и заполнителей, обеспечения высокой плотности огнеупоров, улучшения их реологических и механических свойств широко используют модифицирующие добавки. К ним можно отнести твердосплавные частицы SiC , TiC , Al_2O_3 , TiB и др. Материалы на основе TiB , TiC , TiB_2 показывают выдающиеся свойства, такие как высокая твердость, отличная химическая и термодинамическая стабильность, хорошая износостойкость и теплоустойчивость. Эти свойства указывают на перспективность использования тугоплавких частиц в качестве модифицирующих добавок для футеровки высокотемпературных агрегатов, например таких, как плавильные печи, ковши и тигли для выплавки, обработки и транспортировки различных металлов.

С использованием методов, сочетающих процессы горения в режиме СВС и последующего высокотемпературного деформирования (СВС-экструзии, свободного СВС-сжатия, СВС-измельчения), можно за десятки секунд за одну технологическую стадию синтезировать тугоплавкие материалы на основе TiB , TiC , TiB_2 . Установлено, что механические воздействия при СВС-измельчении приводят к перемешиванию зарож-

дающейся мелкодисперсной структуры и подавляют развитие процессов кристаллизации и рекристаллизации. Реализация метода базируется на способности горячей массы синтезированного продукта к макроскопической деформации. После окончания химической реакции в продукте СВС протекают различные физико-химические постпроцессы. Горячий пористый материал уплотняется под действием внешнего давления, из отдельных частиц образуется структурный каркас, в материале интенсивно идет спекание и затвердевание продуктов горения, связанное с остыванием. Кроме того, в материале происходят структуро- и фазообразование, кристаллизация и рекристаллизация. Соприкасающиеся зерна кристаллического вещества при достаточном нагреве, как правило, образуют общую границу. Межзеренный контакт расширяется, иначе говоря, развивается процесс срастания зерен.

Эксперименты показали, что при синтезе деформационные параметры сильно влияют на структурообразование материала: изменение размера зерна, его форму и параметры кристаллической решетки. Меняя технологические параметры синтеза в широком диапазоне, можно изменить качество получаемого порошка и его морфологию. В условиях эксперимента возможна

реализация различных механизмов спекания: спекание в условиях действия только внутренних сил (действует до начала приложения внешнего давления) и спекание в условиях приложенного внешнего давления (от начала измельчения до конца процесса). Установлено, что при механическом воздействии на синтезируемый материал его фазообразование протекает более полно,

чем в материале, полученном при СВС без механических воздействий. Таким образом, при использовании методов, сочетающих процессы горения в режиме СВС и последующего высокотемпературного деформирования, были получены порошки на основе тугоплавких материалов TiB, TiC, TiB₂ с различной дисперсностью и морфологией.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

РАЗРАБОТКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ СМЕСЕЙ

(✉)

E-mail: spbgiti-suvorov@yandex.ru

© Д. т. н. **С. А. Суворов**¹ (✉), к. т. н. **Е. А. Вихров**², к. т. н. **В. В. Козлов**¹

¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

² ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Одной из наиболее значимых функций шлакообразующих смесей (ШОС) для непрерывного литья стальных заготовок на МНЛЗ является смазка слитка расплавом ШОС. Некачественная смазка приводит к возникновению различных дефектов и проблем: образованию поперечных и продольных трещин, прорывам жидкой стали в результате прикипания коры слитка в кристаллизаторе, появлению глубоких следов от качания кристаллизатора. Оптимизация характеристик плавления и кристаллизации, а также их прогнозирование важны для разработки и применения ШОС, снижения аварийности разлива стали.

Исследовано влияние химического состава рецептурных многокомпонентных смесей (карбонат кальция, портландцемент, кварцевый песок, сиенитовый концентрат, концентрат плавикового шпата, кальцинированная сода, периклаз, оксид железа и др.) на температуру начала плавления ШОС. Наиболее значительному изменению температуры плавления способствуют повышение основности, содержание оксида железа и оксида магния. Предложено уравнение зависимости температуры начала плавления от химического состава, позволяющее расчетным методом оценить температуру начала плавления ШОС: $T_{\text{нач. пл}} = 1185^\circ\text{C} + 147(w(\text{CaO})/w(\text{SiO}_2) - 8,1 \cdot w(\text{Fe}_2\text{O}_3) - 12,1 \cdot w(\text{MgO}) - 6,2w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - 8,0w(\text{F}))$, где $w(i)$ — содержание компонента, мас. %. Определено влияние химического состава многокомпонентных ШОС на температуру кристаллизации шлакового расплава. Выведено уравнение для оценки температуры кристаллизации шлакового расплава: $T_{\text{крист. распл}} = 775^\circ\text{C} + 5,65 \cdot w(3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{CaF}_2)$, где $w(3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{CaF}_2)$ — расчетное содержание купсида в ШОС, мас. %. С повы-

шением основности охлажденного расплава ШОС от 0,85 до 1,15 происходит увеличение размера кристаллов купсида от 0,1–0,5 до 4–7 мкм. При основности 0,70 охлажденный шлакообразующий расплав представляет собой преимущественно аморфную фазу.

Исследовано влияние расчетных параметров химического состава ШОС на температуру кристаллизации шлакового стекла. С ростом основности ШОС при неизменном содержании остальных компонентов и повышении NBO/T (отношение молярных долей ионов кислорода, не обладающих соединительной функцией, к атомам кислорода, участвующим в образовании полимерных анионов) происходит снижение температуры кристаллизации шлакового стекла: $T_{\text{крист. стекла}} = 991^\circ\text{C} - 127,5 \cdot \text{NBO/T}$.

Разработан программный продукт, позволяющий на основе данных химического состава прогнозировать ключевые физико-химические свойства ШОС (вязкость расплава, основность, NBO/T, содержание купсида) и устанавливать соответствие ШОС марочному сортаменту стали.

Установлены технологические параметры производства гранулированных ШОС с критерием однородности $(16-177) \cdot 10^{-3}$, с относительной продолжительностью гомогенизации 12–360, с температурным интервалом начала и полного расплавления не выше 20 °C, с нормируемыми значениями химического состава, температур кристаллизации шлакового расплава и шлакового стекла, вязкости расплава, с влажностью не более 0,5 мас. %, с массовой долей разрушенных под давлением 3 МПа гранул не более 4,5 мас. % (округлость 0,80–0,90, фракции 0,7–1,0 мм более 90 %).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ АГРЕГАТОВ ОБРАБОТКИ ЧУГУНА

(✉)

E-mail: spbgiti-suvorov@yandex.ru

© Д. т. н. **С. А. Суворов**¹ (✉), к. т. н. **А. П. Дука**², к. т. н. **Н. В. Арбузова**¹

¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

² ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Разработаны компонентный и фазовый состав корундовых карбоксилированных огнеупоров и параметры технологических операций, предотвращающих образование легкоплавкой кордиеритовой фазы при взаимодействии с расплавом шлака. Карбоксилированные

корундовые огнеупоры с содержанием Al₂O₃ более 70 мас. % предлагают изготавливать на основе плавящего корунда, обожженного боксита, карбида кремния, электроплавленной шпинели, чешуйчатого графита и функциональных добавок — металлических порошков

алюминия и кремния. В среде воздуха, замкнутого в порах огнеупора, устойчивыми фазами являются корунд, шпинель, карбид кремния в интервале 298–2100 К. При взаимодействии с воздушной средой в поверхностном слое карбоксилированного огнеупора протекает окислительный процесс и возникает опасность образования кордиеритовой фазы. Из-за участия периклаза в образовании кордиерита и высокой смачиваемости его доменным шлаковым расплавом ($\text{CaO/SiO}_2 < 1,04$) содержание в огнеупоре фазы в виде свободного MgO должно быть ограничено до 3 мас. %. Краевой угол смачивания доменным шлаком при 1000 °С периклаза 70°, корунда 103°, корунда + 8 мас. % С 120°, шпинели 120°.

Разработан подход, позволяющий экранировать зерна карбида кремния тонким слоем графита и корунда. Корунд при окислении SiC вступает в реакцию с SiO_2 , образуя муллит, который может трансформироваться в кордиерит в присутствии в огнеупоре фазы MgO (энергия Гиббса реакции равна –636,8 кДж/моль). Разрушающее действие расплава на карбоксилированный огнеупор проявляется в зоне обезуглероживания (шлак – огнеупор – воздушная среда). Пропитка карбонированного огнеупора расплавом доменного шлака определяется глубиной выгорания графита и возрастает пропорционально образующемуся пористому слою огнеупора. Роль функциональных добавок Al и Si в составе карбоксилированного огнеупора состоит в том, что они

участвуют в химических реакциях, связывая углерод в карбиды (Al_4C_3 , SiC) и оксикарбидные соединения (Al_2OC , $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$), что уменьшает газификацию углеродистой составляющей огнеупора.

В структуре огнеупора преобладают поры размерами менее 5 мкм, но имеются также поры размерами 5–20 и 20–100 мкм. После коксующего обжига наблюдается увеличение на 17–20 % пор размерами менее 5 мкм. Приrost пористости за счет пор размерами менее 5 мкм обусловлен коксованием фенольной смолы и удалением летучих компонентов. Введение шпинели в состав огнеупора в 1,5–3,0 раза повышает термостойкость карбоксилированного корундового огнеупора, причем термостойкость в большей мере возрастает с увеличением содержания зерен шпинели стехиометрического состава. Замена плавленного корунда на спеченный боксит в карбоксилированном огнеупоре повышает его термостойкость в 1,2–1,5 раза, однако снижает температуру деформации под нагрузкой.

Физико-химические показатели корундовых карбоксилированных огнеупоров постановочной опытной партии промышленного выпуска: предел прочности при сжатии 69–78 МПа, открытая пористость 4,9–5,5 %, предел прочности при изгибе при 25 °С 25–27 МПа, при 1300 °С на воздухе 13–14 МПа, термостойкость (1300 °С – вода) не менее 50 теплосмен, температура деформации под нагрузкой 1710–1720 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ ФАЗ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКАХ СИСТЕМЫ $\text{CaO-MgO-FeO(Fe}_2\text{O}_3\text{)-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

(✉)

E-mail: spbgiti-suvorov@yandex.ru

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

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

Затраты на формованные и неформованные огнеупорные материалы, включая массы для горячего ремонта футеровки, составляют заметную долю в себестоимости продукции черной металлургии. При этом до 60 % затрат на огнеупоры приходится на сталеразливочные ковши. Разрушение футеровки сталеразливочного ковша включает следующие процессы:

- механический износ, которому в наибольшей степени подвергается «бойная» зона дна ковша; механическую эрозию футеровки вызывает также интенсивное движение жидкой стали при заполнении ковша и выпуске металла;

- термический износ — обусловлен термическими напряжениями, возникающими вследствие циклической работы (нагрев и охлаждение) агрегата и значительного градиента температуры по толщине футеровки;

- химический износ — обусловлен в первую очередь шлаковой коррозией огнеупора, которая определяется окислением углеродной составляющей огнеупора жидким или газовым окислительным реагентом и миграцией оксидной составляющей огнеупора (MgO) в шлаковый расплав.

Главные причины окончания кампании сталеразливочных ковшей — опережающий износ футеровки

шлакового пояса, а также образование вертикальных трещин и сколов в рабочем слое футеровки. Растрескивание и скалывание футеровки происходит вследствие как термических напряжений 1-го рода, так и термических напряжений, возникающих из-за формирования новых фаз, образующихся при фильтрации шлака в футеровку. Причина возникновения крупных вертикальных трещин — опасные тангенциальные напряжения, вызываемые перепадом температур.

Шлаковая коррозия является главной причиной опережающего износа футеровки шлакового пояса сталеразливочного ковша. Ключевой фактор, определяющий динамику шлаковой коррозии огнеупора, — степень ненасыщенности шлакового расплава огнеупорной фазой (MgO). Иначе говоря, скорость коррозии определяется разницей между реальной концентрацией и концентрацией насыщения огнеупорного оксида в шлаке. На основе этого принципа реализуется метод оптимизации шлакового режима — введение магнезиальных шлакообразующих компонентов для повышения ресурса периклазоуглеродистой футеровки шлакового пояса сталеразливочного ковша.

На кафедре ХТТИиСМ СПбГИ (ТУ) разработано программное решение для комплексной оптимизации шлакового режима для минимизации потенциала шла-

ковой коррозии огнеупора, определения гомогенного или гетерогенного состояния шлакового расплава для сохранения его текучести и высокой рафинирующей способности. Принцип определения вязкости и состояния шлакового расплава, растворимости в нем огнеупорной фазы заключается в расчете активности и термодинамически равновесной активности компонентов шлака на основе современных представлений о субсо-

лидном строении многокомпонентных оксидных систем и термодинамическом равновесии твердая фаза – расплав. Расчетная методика калибруется с помощью разработанного на кафедре экспериментального метода измерения температурного интервала плавления многокомпонентных оксидных систем, основанного на построении температурной кривой электрического сопротивления опытного образца.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФУНКЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО АЛЮМИНИЯ В СОСТАВЕ ПЕРИКЛАЗОВОГО КАРБЕНИРОВАННОГО ОГНЕУПОРА

(✉)
E-mail: spbgti-suvorov@yandex.ru

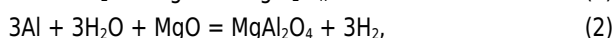
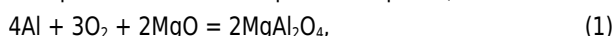
© Д. Т. Н. С. А. Суворов (✉), д. х. н. А. А. Слободов, к. т. н. В. В. Козлов, к. т. н. Н. В. Арбузова
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

На основе принципов минимизации энергии Гиббса осуществлены моделирование и расчет химических и фазовых превращений, происходящих в периклазовых карбенированных огнеупорах в присутствии порошка металлического алюминия. Проанализированы физико-химические трансформации в системе $MgO-C-Al-H_2O$ –воздух при 298–2400 К, рассмотрена эволюция состава газовой фазы в поровом объеме огнеупора в зависимости от температуры, спрогнозировано участие добавки алюминия в устранении окисления углерода в огнеупоре. В качестве термодинамических условий принято, что физико-химические превращения могут протекать обратимо и система на различных стадиях находится в состоянии равновесия или близком к нему. Моделирование и расчет фазовых и химических превращений осуществлены в программно-целевой системе, включающей компьютерную реализацию методов решения поставленной задачи и соответствующую базу стандартных термодинамических данных. Применяемый математический алгоритм не рассчитывает отдельные взаимодействия, а рассматривает весь комплекс взаимосвязанных реакций веществ в зависимости от параметров состояния (температура, давление, состав).

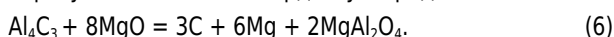
За основу взят типичный состав огнеупора, включающий 90 мас. % MgO и 10 мас. % C . Учтена влажность материала — 0,4 мас. % H_2O . Для рассмотрения процессов окисления дополнительно введено 3 мас. % Al . Газовой средой служил воздух. Его объем варьировали от 10^{-5} до 10^{-1} м³/кг материала, что соответствует возможному объему воздуха, содержащегося в порах огнеупора (10^{-5} м³/кг), а 10^{-1} м³/кг учитывает возможное поступление воздуха в объем огнеупора из внешней среды. Исследованный температурный интервал 298–2400 К.

Анализ результатов моделирования и расчета показал, что в зависимости от температуры в системе протекают существенно различающиеся и весьма сложные фазовые и химические превращения. При этом наличие антиокислителя — алюминия во многом определяет протекающие процессы. Температура 2124 К является предельной для совместного присутствия в композите твердых фаз MgO и C . Нагрев до более высокой температуры приводит к полному переводу углерода в газовую фазу и частичному переводу MgO в газообразный магний.

Высокая химическая активность алюминия обуславливает его взаимодействие как с твердыми компонентами (MgO , C), так и с атмосферой, заключенной в объеме пор, что приводит к образованию фаз в газообразном и твердом состоянии на основе MgO , C , N , O . В интервале 350–1223 К протекают реакции



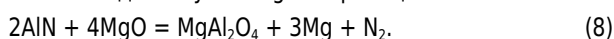
Метан при 824 К становится неустойчивым и диссоциирует с регенерированием углерода. Последующее повышение температуры (>1232 К) мало влияет на стабильность системы, и лишь при 1804 К происходит взаимодействие Al_4C_3 с MgO , в результате чего образуются магний и твердые углерод и шпинель:



Выше 1804 К происходит газификация оставшейся части углерода после реакций (5) и (6) вследствие взаимодействия с MgO и при 2124 К углерод полностью переходит в окисленную газообразную форму CO :



Более устойчивым по сравнению с карбидом алюминия является нитрид алюминия. Однако при 2070 К он взаимодействует с MgO по реакции



Увеличение количества вводимого в систему воздуха приводит к связыванию Al в нитрид и шпинель и, как следствие, к уменьшению содержания образующегося карбида алюминия; тем самым уменьшается и расход углерода. Выше 1748 К поступившие в поровый объем с воздухом O_2 и N_2 связываются соответственно в MgO и AlN по реакции



Вторичный MgO , образующийся по реакции (9), возникает также при непосредственном взаимодействии Mg в газообразном состоянии с кислородом воздуха при высоких температурах (>1800 К) по реакции



В периклазоуглеродистом огнеупоре без введения металлического алюминия газообразные формы углерода начинают появляться при 700 К вследствие окисления углерода кислородом воздуха. Содержание магния и углерода в газовой фазе повышается с ростом температуры вследствие протекания реакции (7) и при 2124 К углерод полностью переходит в газовую фазу.

При введении кислорода в систему $MgO-C-Al$ появление газообразных форм углерода и магния задерживается до 1743 К из-за связывания кислорода алюминием и перехода образовавшегося Al_2O_3 в шпинель по реакции (1). При 1743 К происходит образование газообразного магния в количестве, на несколько порядков превышающем содержание паров магния в системе $MgO-C$, вследствие реакции карбида алюминия с MgO . Это интенсифицирует протекание реакции взаимодействия углерода с MgO с образованием монооксида углерода, содержание которого в интервале 1743–2000

К значительно ниже, чем в системе $MgO-C$ при тех же условиях.

Увеличение количества введенного в систему $MgO-C$ окислителя (O_2) приводит к повышению содержания в газовой фазе в интервале 700–2100 К как углеродсодержащих соединений, так и магнийсодержащих. Образующиеся в большом количестве в результате реакций газообразные продукты углерода (CO , CH_4 , C_2H_4 и др.), алюминия (Al , Al_2O , AlH_2 и др.), магния (Mg , MgO , MgH и др.) могут оказывать сдерживающее влияние на проникновение агрессивных сред в объем огнеупора. Металлический алюминий с позиций термодинамики является, по существу, одноразовым антиокислителем и перестает выполнять защитную функцию после достижения системой температуры 1743 К. Металлический алюминий, введенный в огнеупор, предохраняет углеродистую матрицу от окисления кислородом воздуха, как заключенным в порах огнеупора, так и поступающим из внешней среды, лишь до температуры 1743 К.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: deemalfy@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА И ФОРМЫ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВ ЭЛЕКТРОКОРУНДА НА ИХ АУТОГЕЗИЮ

© К. Т. Н. В. П. Тарасовский^{1,2}, Д. Т. Н. Б. Л. Красный², Д. Ф.-М. Н. В. И. Кошкин³, К. В. Малютин¹,
А. В. Резниченко¹, Р. А. Новосёлов¹ (✉)

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», Москва, Россия

² ЗАО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка, Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия

Порошки широко применяют в различных промышленных производствах. Транспортировка, хранение, грануляция, псевдоожижение, фильтрация и другие технологические процессы являются основными или сопутствующими в химических, металлургических и других производствах. Большое значение в практике использования порошков приобретает аутогезия, т. е. взаимодействие между частицами порошка. Аутогезия в значительной степени обуславливает характер течения порошка, возможность его переработки и использования. Величина аутогезии обусловлена рядом факторов, к числу которых следует отнести природу и размер частиц, уплотняющую нагрузку и влажность материала. Таким образом, аутогезия представляет собой явление, важное для значительной части производств. Между тем влияние ее либо вообще не учитывают, либо учитывают лишь косвенно с помощью вспомогательных параметров. Часто взаимодействие между частицами сводят лишь к прочностным показателям. В механике сыпучих тел, например, аутогезию между частицами сводят к вопросам трения.

В середине 2000-х годов разработан прибор марки Revolution, США, для изучения свойств порошков во

вращающемся цилиндрическом контейнере по анализу изображений. С помощью этого прибора можно исследовать процесс течения порошков, измеряя характеристики течения порошка в зависимости от таких факторов, как гранулометрический состав, плотность, влажность и химический состав порошка. Цель настоящего исследования — измерение характеристик течения стандартных промышленных порошков и их сравнение. В представленной работе определены динамические и статические реологические характеристики двух типов порошков: тип 1 — порошки электрокорунда F240 (компания «Бокситогорский глинозем», РФ) и F240 SWSK (фирма «Treibacher Schleifmittel GmbH», Австрия) с одинаковым размером частиц разной формы и тип 2 — порошки электрокорунда с одинаковой формой частиц разного размера (–3 + 0,5 и –0,5 + 0 мм).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ [Соглашение № 14.577.21.0009; уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0009] на оборудовании ЦКП «НТМ».

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: dr_ewais@hotmail.com

ПРОЧНОСТЬ НА ИЗГИБ НОВОГО ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОГО МАТЕРИАЛА ЦИРКОНОМУЛЛИТОВАЯ КЕРАМИКА / ОКСИД АЛЮМИНИЯ

© Имад М. М. Эвайс (✉), Дина Х. А. Бесиса

Центральный металлургический R & D институт (CMRDI), г. Каир, Египет

Новый слоистый функционально-градиентный материал циркономуллитовая керамика / оксид алюминия (FGZM / A) разработан для службы в экстремальных условиях высоких градиентов механических нагруз-

зок и температур. Исследование FGZM / A на воздействие механических нагрузок имеет важное значение для оптимального проектирования изделия и выбора технологии его изготовления. Исследовали

предел прочности при изгибе FGZM / A, полученного спеканием циркона и оксида алюминия. В его состав вводили разное количество добавки MgO для повышения плотности и предела прочности при изгибе. Распределение изгибных напряжений в структуре FGZM / A изучали при проведении механических испытаний образцов при разных концен-

трациях оксида алюминия в смеси циркон–муллит. Результаты показывают, что распределение прочности на изгиб в структуре материала сильно зависит от состава, микроструктуры, механизма упрочнения, типа и количества жидкой фазы. Предел прочности при изгибе FGZM / A равномерно распределяется в слое материала и градиентно — от одного слоя к другому.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ОГНЕУПОРНЫЕ БЛОКИ В ФУРМЕННОЙ ЧАСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КОНВЕРТЕРА

(✉)
E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), М. А. Чашкин², А. В. Ладейщиков³, И. В. Привалов², Д. С. Мельцов²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия³ ОАО «Среднеуральский металлургический завод», г. Ревда Свердловской обл., Россия

Фурменный пояс горизонтального конвертера, в котором производится переработка медь-, железо- и серосодержащего штейна в черновую медь, — основной агрегат медеплавильного производства. В процессе эксплуатации футеровка конвертера разрушается под воздействием различных факторов, имеющих физико-химический и термомеханический характер.

С 2013 г. Группа Магнезит совместно со Среднеуральским металлургическим заводом работает над увеличением стойкости футеровки горизонтальных конвертеров за счет изменения ее конструкции и применения усовершенствованных хромитопериклазовых изделий в фурменном поясе. Именно опережающая скорость износа огнеупоров в фурменном поясе высокотемпературной эрозией, вызванной интенсивным пере-

мещением расплава под воздействием газовых струй, определяет скорость износа всей футеровки. Анализ физико-химических особенностей технологического процесса производства черновой меди позволил внести корректировку в схему футеровки агрегата, вещественный состав и конструкцию фурменных изделий.

Производство крупногабаритных монолитных с фурменным каналом хромитопериклазовых блоков, изготавливаемых из спеченных материалов по усовершенствованной технологии, освоено на Саткинской производственной площадке Группы Магнезит. Ранее эти блоки формировали из изделий с желобком. В результате достигнуто увеличение стойкости фурменного пояса горизонтального конвертера с 7 до 15 тыс. т конвертированной черновой меди за кампанию.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ФУТЕРОВКИ КАТОДНЫХ УСТРОЙСТВ ВЫСОКОАМПЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ

(✉)
E-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

© Д. Т. н. В. Ю. Бажин (✉), К. Т. н. Е. С. Горланов, К. Т. н. А. А. Власов

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

К перспективным разработкам, которые направлены на модернизацию катодного устройства и улучшение технико-экономических показателей процесса электролиза, относят использование смачиваемых алюминием углеграфитовых подин со специально нанесенными композиционными покрытиями, позволяющими снизить расход электроэнергии и изменить условия перемещения расплава в электролизной ванне. В качестве покрытий применяют тугоплавкие соединения или инертные материалы, из которых наиболее подходящими являются покрытия на основе TiB₂, в частности суспензии из смеси TiB₂ и глинозема, TiB₂–С. Именно они в настоящее время привлекают наибольшее внимание производителей алюминия. Передовыми компаниями, проводящими исследования в области применения смачиваемых катодов, являются «Chalco», «Rio Tinto Alcan», «Molteck», «Comalco». В настоящее время смачиваемые алюминием углеграфитовые подины с покрытиями из диборида титана испытывают на электролизерах ОА в американской фирме «Alcoa».

Технология смачиваемого алюминием катода позволяет вести процесс электролиза алюминия с низким уровнем металла в ванне и межэлектродным расстоянием (МПР) до 15–20 мм, что обеспечивает снижение электромагнитных сил и стабильную катодную поверхность; при этом увеличивается срок службы электролизеров. Согласно практическим данным снижение МПР на 1 см уменьшает расход энергии на 1,8 кВт·ч. Стабилизация поверхности и высоты слоя расплавленного алюминия в электролизной ванне обеспечивается за счет уменьшения турбулентного движения расплава из-за снижения влияния вертикальной компоненты магнитного поля на горизонтальные токи (повышение МГД-стабильности), присущего классической технологии. Кроме этого, конструкция смачиваемого катода позволяет минимизировать падение напряжения, которое может достигать 50–60 мВ, так как по классической технологии между угольной подиной и жидким алюминием находится тонкий слой электролита. Это означает, что энергопотребление при производстве алюминия снижается примерно на 400 кВт·ч/т алюминия.

Другие преимущества покрытий из TiB_2 : снижение проникновения натрия в углеграфитовую футеровку, улучшение распределения тока по углеграфитовой подине, повышение срока службы электролизера за счет увеличения абразивной и коррозионной стойкости подины. К недостаткам таких композитных материалов относят растворимость и сложность их интегрирования в конструкцию угольной части футеровки катода. Например, скорость растворения TiB_2 оценивается в пределах 0,25–1,25 мм в год в зависимости от условий изготовления композита и нанесения его на катод, а также от параметров электролиза. Низкий срок службы керамических композиционных покрытий, их высокая стоимость, загрязнение металла из-за растворения в электролите после отслоения замедляют широкое промышленное внедрение этого технического решения. Несмотря на это, представляет научно-практический интерес применять такие покрытия на

стадии пуска электролизера, так как они будут обеспечивать снижение инфильтрации расплава в подину и сокращение времени формирования настыва (формы рабочего пространства — ФРП), а также уменьшение продолжительности пускового периода.

Использование новых конструкций позволит увеличить срок службы электролизеров за счет снижения уровня механического и химического износа футеровки углеграфитовой подины, обусловленного постоянным изменением ФРП и флуктуациями из-за мощного МГД-поля и высоких газогидродинамических сил. Основное достоинство покрытий смачиваемого катода — увеличение срока службы и снижение удельного расхода электроэнергии до 12000 кВт·ч/т алюминия, поэтому будущее развитие конструкций таких катодов связано в первую очередь с созданием нового поколения энергосберегающих электролизеров. Разработка проводится в рамках концепции Горного университета «Электролиз 600+».

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: m_a_r_chel74@mail.ru

АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ – ПОГРУЖАЕМЫЙ СТАКАН – КРИСТАЛЛИЗАТОР В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА СОРТОВЫХ МНЛЗ

© Д. т. н. **К. Н. Вдовин**¹, к. т. н. **О. А. Марочкин**²(✉), **Василий В. Точилкин**¹

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

² ООО «Внедрение новых технологий и оборудования», г. Магнитогорск, Россия

Представлен анализ работы системы промежуточный ковш – погружаемый стакан – кристаллизатор в процессе разливки стали на сортовых МНЛЗ. Рассмотрена асимметрия потоков стали, которая возникает при отклонении межосевых расстояний в сталевапускных отверстиях стаканов-коллекторов промежуточных ковшей. При представлении результатов численного моделирования в качестве параметров течения использованы поля скоростей и векторы скоростей в окрестности плоскости симметрии погружаемого стакана и кристаллизатора. Представлены картины векторов скоростей потоков металла в продольном сечении погружаемого стакана: при отсутствии смещения осей кристаллизатора и стакана; при наличии смещения осей кристаллизатора и стака-

на. Наличие смещения оси погружаемого стакана относительно оси кристаллизатора приводит к смещению векторов потоков скоростей в кристаллизаторе и, соответственно, к размыву корочки металла формируемой непрерывнолитой заготовки, к браку или аварийной ситуации — прорыву металла. Выявлена интенсивная эрозия стаканов промежуточного ковша, приводящая к внеплановому прекращению разливки стали. Эмпирически определена допустимая величина отклонения от межосевого расстояния, равная 5 мм, для заготовки сечением 150×150 мм². Отклонение от межосевого расстояния более чем на 5 мм приводит к необратимой боковой эрозии, преждевременному выходу из строя стакана-коллектора и внеплановому прекращению разливки стали.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: m_a_r_chel74@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛОПРИЕМНИКА ПРИЕМНОЙ КАМЕРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША НА РАБОТУ МНЛЗ

© Д. т. н. **К. Н. Вдовин**, **Е. А. Мельничук**, **Василий В. Точилкин**, д. т. н. **Виктор В. Точилкин**(✉)

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

Представлены компоновки элементов приемных камер симметричного промежуточного ковша двух- и четырехручьевых МНЛЗ. Показано существенное влияние новых компоновок системы распределения потоков стали и конструкций ее элементов на параметры потока металла в промежуточном ковше МНЛЗ и на удаление неметаллических включений. Совершенствование оборудования для рационального формирования потоков металла в приемной камере промежуточного ковша создает условия для повышения качества разливаемой стали. Созданы новые компоновки приемной камеры МНЛЗ на базе

металлоприемника с симметричными пространственно-ориентированными отверстиями (в две стороны). Применение в промежуточном ковше МНЛЗ элементов разработанной системы распределения потоков стали обеспечивает гашение интенсивных скоростных поверхностных потоков в приемной камере промежуточного ковша, позволяет организовать рациональное движение потоков стали со скоростями ниже максимально допустимых (0,16 м/с). Это обеспечит стабильность разливки и повышение качества разливаемого металла благодаря уменьшению количества неметаллических включений,

попадающих из промежуточного ковша МНЛЗ в кристаллизатор. В итоге улучшается качество выпускаемой непрерывнолитой заготовки на МНЛЗ. Конструкции ме-

таллоприемника с пространственно-ориентированными отверстиями прошли промышленные испытания в современных МНЛЗ в России.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ОПТИМИЗАЦИЯ СТОЙКОСТИ ПРОДУВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНОГО КОВША

(✉)
E-mail: onv@energots.info

© Эшли Дж. Вебстер, коммерческий директор
Компания «PA-HA-GE Feuerfeste Erzeugnisse GmbH & Co. KG», Германия

Оптимизация стойкости продувочной пробки и гнездового блока — важнейший фактор при эксплуатации футеровки сталеразливочного ковша в сталеплавильном производстве. Увеличение стойкости рабочего слоя футеровки сталеразливочного ковша в целом (включая шлаковый пояс, стены и дно) часто зависит от максимально возможной стойкости продувочных узлов.

Для оптимизации затрат на огнеупорные материалы сталеразливочного ковша необходимо сбалансировать стойкость каждого элемента его футеровки. Для этого при использовании продувочных устройств необходимо учитывать два важных критерия: 1 — правильный выбор типа продувочных огнеупоров с точки зрения конструкции и материала и 2 — правильные и оптимизированные установки, обслуживание и ремонт этих элементов в сталеразливочном ковше.

В докладе представлены разработки компании «Pa-Ha-Ge», касающиеся достижения максимальной стойкости продувочной пробки и гнездового блока с учетом их инновационного развития, а также оптимальные технологические режимы эксплуатации и обслуживания продувочных устройств. Конструкции продувочной пробки и гнездового блока, а также материал, из которого они производятся, за последние 20 лет стали более эффективными. В последнее время в промышленности традиционно используют щелевые продувочные пробки, имеющие значительные преимущества перед пористыми. При переходе на щелевые продувочные пробки для их производства начали использовать плотные высокоглиноземистые бетоны, которые обладают значительно более низким износом за плавку. Это позволило увеличить стойкость продувочных пробок. Такие пробки позволя-

ют также осуществлять более равномерный контролируемый поток с более однородным перемешиванием металла, чем пористые пробки.

Продолжение работы компании «Pa-Ha-Ge» в направлении развития продувочных узлов позволило успешно запустить в производство ряд продувочных пробок усовершенствованной конструкции из нового материала, в результате чего увеличилась их стойкость по сравнению со стойкостью стандартных щелевых пробок. Таким образом успешно зарекомендовали себя продувочные пробки серии BlueLine, сердцевина которых изготовлена из материала, предварительно обожженного при 1400 °C, который может противостоять проникновению металла в огнеупор и воздействию кислорода.

Следует обратить внимание на рекомендации компании «Pa-Ha-Ge» по установке, замене и очистке пробок. Если продувочная пробка не используется должным образом, ее максимальная производительность не может быть достигнута. Таким образом, качество обслуживания продукта является критическим фактором при достижении максимальной стойкости. Итак, формула успеха: Лучшая пробка + Лучшее обслуживание = Лучшие результаты.

Компания «Pa-Ha-Ge» предлагает шеф-надзор и обучение в обслуживании продувочных пробок при вводе их в эксплуатацию, а также дает рекомендации по установке, замене, ремонту, очистке и контролю стойкости пробок. В целом использование продувочных пробок новой серии в сочетании с обслуживанием привело к увеличению их стойкости до 40 % по сравнению со стойкостью стандартной щелевой продувочной пробки, традиционно применяемой в настоящее время.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ВИДЕНИЕ ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ В ЗАПЛЕЧИКАХ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

(✉)
E-mail: eav1939@outlook.com

© К. Т. Н. Э. А. Вислогузова (✉), Лука Фолько, Р. А. Чеглов, Джузеппе Палмизано
ООО «Севен Рефракториз», Санкт-Петербург, Россия

Доменная печь (ДП) является одним из наиболее длительно эксплуатируемых агрегатов для выплавки жидкого металла; в последние десятилетия наблюдается тенденция увеличения ее производительности. В рамках кампании эксплуатации ДП при взаимодействии движущихся продуктов плавки на футеровку изначальный оптимально рассчитанный профиль претерпевает значительные изменения. Особенно это проявляется в нижней части шахты — зоне заплечиков ДП, где интенсифицируется процесс образования металла, ускоряется движение продуктов плавки. Неравномерный и интенсивный износ футеровки нарушает термодинамические условия работы ДП, что затрудняет дальнейшую эксплуатацию

ДП, управление технологическими параметрами плавки и в дальнейшем приводит к необходимости преждевременной замены футеровки с остановкой ДП и потерями производства.

Таким образом, увеличение производительности ДП невозможно без повышения стойкости футеровки нижней части шахты путем улучшения качества применяемых огнеупорных материалов. Огнеупоры в зоне заплечиков помимо вышеназванных факторов испытывают значительные длительные механические нагрузки от столба шихты, опирающегося на футеровку этой зоны. Поэтому материалы для футеровки в этой зоне должны обладать высокими показателями прочности при высо-

ких температурах, не деформироваться, т. е. быть устойчивыми к ползучести. Традиционно для футеровки зоны заплечиков используют формованные огнеупоры алюмосиликатного состава, которые уже не удовлетворяют современным требованиям. Несколько лучшие результаты показывают изделия из муллита и муллитокорунда.

Кардинальное увеличение стойкости футеровки на данном этапе развития материалов возможно за счет использования карбида кремния в сырье алюмосиликатных штучных огнеупоров. Известно, что карбид кремния обладает исключительной прочностью, приближающейся к прочности алмаза, высокими показателями плотности и теплопроводности, повышенной огнеупорностью, устойчивостью к химическому и абразивному износу, различным газам, кислотам, шлакам и металлургическим расплавам. Таким образом, материалы с использованием карбида кремния наилучшим образом подходят к использованию в зоне заплечиков шахты ДП. Особенно ценным комплексом свойств обладают карбидкремниевые огнеупоры на нитридкремниевой и оксинитридкремниевой связках. Безусловно, новый тип штучных огнеупоров обеспечил бы более высокую и надежную стойкость, но процесс производства таких огнеупоров достаточно трудоемкий, а соответственно, стоимость их довольно высока.

В свою очередь карбидкремнийсодержащие бетоны обладают практически всеми преимуществами, что и формованные обожженные карбидкремниевые изделия. Существенное преимущество использования бетонов — отсутствие швов в готовой футеровке. Процесс укладки бетона поддается механизации, в то время как укладка штучных изделий требует квалифицированных каменщиков. При применении шоткрет-технологии значительно сокращаются также сроки выполнения футеровки. В отличие от формованных изделий в бетонах структура и фазовый состав создаются в термодинамических условиях, соответствующих условиям эксплуатации. Это позволяет свести к минимуму изменения структуры бетона в процессе длительной службы, а меньшее содержание стеклофазы обуславливает более высокую термостойкость, чем у формованных изделий такого же химико-минерального состава.

Таким образом, выбор карбидкремниевых огнеупоров формованных или неформованных для футеровки заплечиков шахты ДП должен определяться техническими возможностями проведения ремонта, наличием квалифицированных каменщиков, допустимыми сроками ремонта и в целом экономическим эффектом от применения тех или иных огнеупоров. В данном случае выбор, как всегда, остается за потребителем.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

НОВАЦИИ ДЛЯ ПАРКА ПЕЧЕЙ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЧАСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ПОДОВЫХ ОПОР НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА ОСНОВЕ БЕТОНОВ ПЕРИКЛАЗОХРОМИТОВОГО СОСТАВА

© С. В. Долгих¹, А. П. Лаптев², А. Н. Леонтьев²(✉)

¹ ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

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

Методические и термические печи прокатного производства играют важную роль не только в формировании основных потребительских свойств готового металлопроката, но и в его себестоимости. В структуре потребления природного газа в черной металлургии печи прокатного производства являются его основным потребителем.

Одним из традиционных методов снижения непроизводительных тепловых потерь в методических нагревательных печах с шагающими балками или толкательных печей с системой подовых глиссажных труб является теплоизоляция водоохлаждаемых элементов подовых металлоконструкций (балок, труб). Эффективная теплоизоляция в этом случае позволяет существенно сократить тепловые потери печи, а также потребление энергоносителей не менее чем на 15 %. Такая теплоизоляция может выполняться двумя способами — бетонной заливкой подовых опор непосредственно по месту службы или приваркой к подовым опорам предварительно изготовленных блоков (черепков) из огнеупорного бетона. В любом случае для этих целей в основном применяют огнеупорные бетоны алюмосиликатного состава.

Специалистами Группы Магнезит разработаны огнеупорные бетоны периклазохромитового состава, которые при применении в качестве рабочего слоя теплоизоля-

ции подовых труб методических печей имеют определенные преимущества по сравнению с традиционными алюмосиликатными бетонами. Теплоизоляция подовых труб методических печей, выполненная из бетонов периклазохромитового состава, имеет большую устойчивость к налипанию окалины от нагреваемых заготовок, а также существенно меньшую стоимость — в 1,5–2,0 раза.

Изделия марки ИБПХ-60/5 (ТТ 72664728-279-P-2010) для теплоизоляции шагающих балок, выполненные на производственных мощностях Группы Магнезит из периклазохромитового бетона с содержанием MgO 60 % и Cr₂O₃ 5 %, с 2012 г. применяют в методической нагревательной печи прокатного цеха Златоустовского электрометаллургического завода. Применение изделий ИБПХ в процессе частичной замены существующей теплоизоляции или во время ремонта разрушившихся элементов не снизило срок эксплуатации теплоизоляции подовых балок нагревательной печи (~3 года непрерывной работы) и не сказалось на уровне тепловых потерь.

На ряде металлургических предприятий в настоящее время рассматривается возможность замены типовой теплоизоляции алюмосиликатного состава для шагающих и стационарных балок методических нагревательных печей на изделия периклазохромитового состава марки ИБПХ-60/5.



Стальные традиции Огнеупорные решения



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

- технология введения и материалы для обработки металла ЩЗМ от чистого кальция до сплавов с железом, кремнием, барием и др., в том числе смеси
- материалы для микролегирования и легирования стали: марганец, кремний, сера, углерод, ванадий, титан, ниобий и др.
- технология и составы наполнителей для обработки металла РЗМ, десульфурации, дефосфорации и дегазации стали

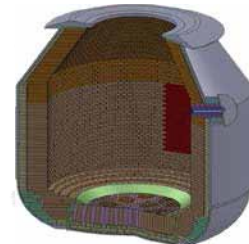
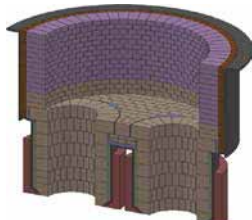
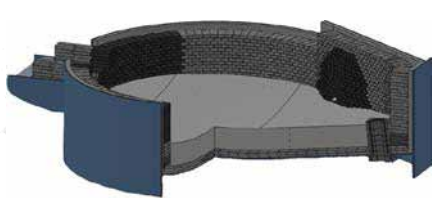


Разработка и поставка огнеупорных материалов производства компании Corwintec (торговая марка) для:



Corwintec Europe Ltd.

- футеровки доменных печей, желобов литейных дворов, леточные массы
- футеровки конвертеров, ДСП, сталеразливочных ковшей
- футеровки промежуточных ковшей
- полный спектр металлопроводки



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

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

ООО «ВПО СТАЛЬ»

+7 (495) 641 31 66

www.vpostal.ru

info@vpostal.ru

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ(✉)
E-mail: koral-00@mail.ru**ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТОПОРОВ-МОНОБЛОКОВ
С МАГНЕЗИАЛЬНОЙ ГОЛОВНОЙ ЧАСТЬЮ**© А. А. Коростелёв¹(✉), К. Т. Н. Н. С. Съёмщиков¹, А. А. Чернышев¹, Д. Т. Н. А. Е. Сёмин²,
К. Т. Н. К. Н. Бельмаз³, А. Н. Божесков⁴, В. В. Казаков⁴, А. В. Косоногов⁵¹ ООО «ВПО Сталь», г. Одинцово Московской обл., Россия² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия³ Компания «Corwintec Europe Ltd», г. Далянь, Китай⁴ ОАО «Волжский трубный завод», г. Волжский, Россия⁵ АО «ОМК-Сталь», г. Выкса, Россия

Основной проблемой при разливке на МНЛЗ заготовок малого сечения является аварийная остановка ручья, связанная, как правило, с зарастанием сталеразливочного канала неметаллическими включениями, а при разливке больших сечений — повышенный износ головной части стопора, что приводит к ограничению времени его использования. Обычно такие случаи наблюдаются при разливке металла через стопоры, головная часть которых изготовлена из материала на основе Al_2O_3 .

На листопрокатном комплексе ОМК-Сталь в 2012–2015 гг. был проведен подбор огнеупорного материала головной части стопора для обеспечения стабильной и безаварийной разливки. Особенностью этого предприятия является то, что разливка из промежуточного ковша в кристаллизатор осуществляется через один ручей. Масса одной плавки примерно 160 т, серийность разливки на МНЛЗ может достигать 15 плавов (10–15 ч в зависимости от сечения заготовки). Учитывая массу потока, проходящего через сталеразливочный канал, случаи зарастания каналов металлопроводки в условиях ОМК-Сталь маловероятны, однако при разливке стали марки 22ГЮ было отмечено, что профиль головной части стопора из материала на основе Al_2O_3 имеет значительный износ после разливки 5–7 плавов, что приводит к преждевременному выходу стопора из работы и прерыванию разливки. Стопоры с магнезиальной головной частью показали положительный результат. Профиль головной части стопора компании «Corwintec», изготовленной из материала на основе MgO, после 6–9 плавов практически не имел износа.

В 2015 г. в ЭСПЦ в условиях Волжского трубного завода была проведена работа по использованию магнезиальных стопоров-моноблоков для повышения разливаемости стали на сортовой МНЛЗ. Было принято решение испытать стопоры-моноблоки с магнезиальной головной частью для обеспечения более стабильной разливки и снижения амплитуды колебания уровня металла в кристаллизаторе при разливке стали. Предположительно,

колебания уровня металла в кристаллизаторе обусловлены налипанием неметаллических включений на головную часть стопора, изготовленную из материала на основе Al_2O_3 . Для оценки проведенной работы к анализу было представлено 19 разлитых плавов стали марок 13ХФА и 06ГФБА при использовании опытных стопоров с головной частью на основе MgO и 20 разлитых плавов стали марок 13ХФА и 06ГФБА при использовании серийно применяемых стопоров с головной частью на основе Al_2O_3 .

Изменение положения стопора во время разливки обеспечивает постоянный уровень металла в кристаллизаторе и является показателем его стабильности. Поэтому критерием оценки работы стопоров с головной частью из разных материалов служила сравнительная оценка изменения амплитуды положения стопора (стабильности уровня металла в кристаллизаторе) при разливке и количества значительных изменений (скачков) положения стопора во время разливки. Отмечено, что при использовании стопоров-моноблоков с магнезиальной головной частью изменение амплитуды положения стопора меньше, чем при использовании стопоров с головной частью на основе Al_2O_3 на 7 %, а значит, амплитуда колебаний металла в кристаллизаторе также меньше. Это указывает на более стабильный уровень разливки стали. Количество значительных скачков стопора при использовании стопоров с магнезиальной головной частью также уменьшилось на 34 %.

Таким образом, использование стопоров-моноблоков с головной частью на основе MgO позволяет обеспечить более стабильную разливку стали, исключить зарастание сталеразливочного канала, снизить износ головной части стопора, уменьшить амплитуду колебания металла в кристаллизаторе по сравнению с использованием стопоров с головной частью на основе Al_2O_3 и обеспечить безаварийную работу МНЛЗ. В первую очередь это преимущество достигается при разливке марок сталей, обрабатываемых кальцием.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ(✉)
E-mail: do@ntcbakor.ru**АНАЛИЗ СЛУЖБЫ КОРУНДОМУЛЛИТОЦИРКОНИЕВЫХ ОГНЕУПОРОВ
КМЦ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПОДИНЫ МЕТОДИЧЕСКОЙ
НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ НАГРЕВА СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

© Д. Т. Н. Б. Л. Красный, Ю. А. Сербинов, И. А. Иконникова(✉)

ЗАО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка, Москва, Россия

Методические нагревательные печи являются неотъемлемой частью технологического процесса в черной и цветной металлургии. Наиболее проблемным местом в конструкции нагревательных печей является подина, подверженная интенсивному разрушению вследствие

абразивного износа, агрессивного воздействия расплавов оксидов железа и перепадов температур. Образующаяся на поверхности стальной заготовки окалина может состоять из оксидов железа с различной степенью окисления (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO). Степень взаимодействия окалины с

изделиями из огнеупорных материалов зависит от химической природы огнеупорных материалов. При нагреве сортовых заготовок в методической печи перед прокаткой до 1200–1350 °С металл интенсивно окисляется, и образующиеся оксиды активно взаимодействуют с большинством огнеупорных материалов. Оксиды железа проникают в поры огнеупорного материала, что приводит к возникновению напряжений в изделиях и их разрушению.

В настоящее время для выстилки рабочего слоя томильной зоны методических нагревательных печей толкательного типа с шагающим подом или смешанного типа используют электроплавленные корундовые и бадделеитокорундовые материалы, а также огнеупорные бетоны (безобжиговые и обожженные). Рабочий слой подины, выполненный из таких материалов, имеет очень низкую термостойкость и при быстром нагреве или охлаждении растрескивается, подвержен образованию настывлей. Это, в свою очередь, приводит к экономическим потерям, связанным с простоем печи на ремонте подины и с браком из-за дефектов поверхности готового проката.

Проведенный нами анализ службы изделий из различных материалов позволил выбрать критерии, которым должен отвечать материал для футеровки подины методических печей: высокая износостойкость, постоянство размеров в течение всей кампании печи, повышенная стойкость к агрессивному воздействию расплавленных оксидов железа, высокая термостойкость. Высокая термостойкость приобретает особую актуальность в условиях низкой загрузки прокатного стана и частого перевода печи в режим «дежурный газ» (850 °С) с резким или плавным дальнейшим нагревом. Иногда простаивание печи при низкой загрузке производства или на перевал-

ку может достигать 14 сут. На основании проведенного анализа при разработке огнеупорных блоков для рабочего слоя подины методической нагревательной печи был выбран материал системы $Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$; в качестве исходных материалов были использованы электрокорунд различных фракций, глинозем и циркон. После высокотемпературного обжига рабочая поверхность огнеупорного блока дополнительно обрабатывалась износостойким и коррозионно-стойким наномодифицированным неорганическим покрытием с последующей термообработкой.

В качестве основных преимуществ корундомулитоциркониевого (КМЦ) материала можно отметить следующие: высокая коррозионная стойкость к агрессивным газам, шихте, конденсату, отсутствие окалины на рабочей поверхности огнеупора, увеличение межремонтного цикла работы печей. Вследствие своего химического состава и структуры КМЦ-материал не взаимодействует с железной окалиной, обладает уникальным сочетанием высокой термостойкости и огнеупорности (1700 °С), имеет повышенную прочность.

Расположение КМЦ-огнеупоров в рабочем слое подины томильной зоны методической печи (при соблюдении рекомендаций по вводу и эксплуатации, а также в зависимости от размера заготовки и газовой среды) обеспечивает срок службы печи для нагрева сортовых заготовок от 2 до 3 лет; при этом масса прошедших через печь заготовок составляет от 500 тыс. т до 1,5 млн т.

По нашим оценкам, годовой экономический эффект от замены рабочего слоя футеровки подины томильной зоны методической печи на огнеупорные блоки из КМЦ-материала для общей массы существующего рабочего слоя 23 т составит 750–1500 тыс. руб.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОГНЕУПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОПРОВОДКИ SES ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ СТОЙКОСТИ ПРИ РАЗЛИВКЕ СТАЛИ НА СОРТОВЫХ МНЛЗ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)
E-mail: m_a_r_chel74@mail.ru

© К. т. н. О. А. Марочкин (✉)

ООО «Внедрение новых технологий и оборудования», г. Магнитогорск, Россия

За последние 15 лет производство сортовой непрерывной заготовки в России увеличилось за счет модернизации старых и введения в эксплуатацию новых МНЛЗ. Получение качественной заготовки обеспечивается за счет разливки стали закрытым типом с применением защитных элементов металлопроводки промежуточного ковша. Металлопроводки промежуточного ковша по типу подразделяются на SES (ковшевой стакан, погружаемый стакан) и SEN (цельный погружаемый стакан). В ряде случаев при разливке стали закрытым типом из-за конструктивных особенностей сортовых МНЛЗ возможно применение только металлопроводки типа SES. Достоинством этой системы является возможность замены погружаемого стакана без остановки МНЛЗ и замены промежуточного ковша, основным недостатком — эрозия ковшевого стакана в зоне его соприкосновения с погружаемым стаканом. Интенсивность эрозии влияет на его стойкость и продолжительность разливки стали без замены промежуточного ковша.

Для увеличения стойкости металлопроводки SES проведен ряд экспериментов для выявления оптималь-

ных химических и геометрических параметров ее элементов. Опробовано более 20 вариантов различных компоновок элементов, 4 типа элементов с различным химическим составом, 2 типа ковшевых стаканов и 4 типа погружаемых стаканов с различными геометрическими параметрами. Элементы металлопроводки промежуточного ковша представлены двумя типами: с минимальной стойкостью 4 плавки (144 т металла через один огнеупорный элемент) и с минимальной стойкостью 8 плавков (288 т) от восьми производителей. В результате испытаний получены следующие показатели средней стойкости огнеупорных элементов металлопроводки SES: 20 % образцов достигли средней стойкости 5 плавков (180 т), 70 % образцов не достигли средней стойкости 5 плавков (180 т), 7 % образцов достигли средней стойкости 6 плавков (216 т), 3 % образцов достигли средней стойкости 6,5 плавки (235 т). Дальнейшее продолжение работы, направленной на определение оптимальных параметров огнеупорных элементов металлопроводки SES, позволит увеличить их среднюю стойкость.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРИЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УДЕРЖАНИЯ ПОГРУЖАЕМЫХ СТАКАНОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗЛИВКИ СТАЛИ НА СОРТОВЫХ МНЛЗ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: m_a_r_chel74@mail.ru

© К. Т. н. О. А. Марочкин¹ (✉), д. т. н. И. М. Ячиков², В. И. Умнов³¹ ООО «Внедрение новых технологий и оборудования», г. Магнитогорск, Россия² ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, Россия³ ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», г. Иркутск, Россия

Рассмотрены различные устройства для погружаемых стаканов на промежуточных ковшах (ПК) сортовых МНЛЗ, применяемых при разливке стали закрытым типом, для получения заготовок сечением 150×150 мм². Все рассмотренные устройства выполнены в виде прижимного рычага, с одной стороны которого расположен ухват с подвижной втулкой для удержания погружаемого стакана, а с другой — место для установки контргрузов. Такой вид прижима позволяет фиксировать погружаемый стакан по сферической плоскости недостаточно плотно, так как возможно образование угла наклона стакана относительно технологической оси по оси вращения втулки.

Вибрация, возникающая при запуске МНЛЗ, и колебания, передающиеся от механизма качания в процессе разливки стали, оказывают воздействие на погружаемый стакан. Эти воздействия частично компенсируются за счет применения специальной вставки из пластичного огнеупора, но этого недостаточно для полной фиксации погружаемого стакана. Отсутствие условий полной фиксации по всем степеням свободы приведет к образованию угла наклона оси погружаемого стакана. Этот угол под воздействием колебаний жидкой стали в кристаллизаторе в процессе разливки будет неуклонно стремиться в сторону увеличения. Образование угла наклона изменит направление потоков жидкой стали внутри кристаллизатора, что приведет к неравномерному образованию корочки. Это повлияет на отклонение непрерывнолитой

заготовки от правильной формы, а в ряде случаев приведет к преждевременной остановке МНЛЗ из-за прорыва корочки. Осевое отклонение уменьшит с одной стороны и увеличит с другой стороны погружаемого стакана скоростные потоки жидкой стали, которые также неравномерно образуются в менисковой зоне кристаллизатора. При этом наиболее высокие скоростные потоки в менисковой зоне будут стремиться вовлекать неметаллические включения на границе шлак – металл в жидкую фазу заготовки, что приведет к увеличению дефектов непрерывнолитой заготовки или к ее браку.

Кроме того, образование угла наклона по оси погружаемого стакана сопровождается неоднородным эрозийным износом ковшевого стакана-дозатора и погружаемого стакана. Если в случае преждевременного износа погружаемого стакана возможна его замена, то износ ковшевого стакана приводит к преждевременному прекращению разливки стали и снижению показателя серийности ПК. Чем ниже показатель серийности ПК, тем выше себестоимость получаемой заготовки. Поэтому в условиях возрастающей конкуренции производства сортового проката и сортовой заготовки в частности приоритетным направлением будет оставаться модернизация устройств, влияющих на увеличение ресурса огнеупорных элементов для повышения серийности ПК сортовых МНЛЗ и улучшения качества непрерывнолитой заготовки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В ФУТЕРОВКЕ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

© А. О. Мигашкин¹, Н. М. Захваткин², О. Н. Пицик¹, И. Г. Марясев¹(✉)¹ ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия² ООО «Завод НГО Техновек», г. Воткинск, Удмуртская Республика

В условиях завода «НГО Техновек» успешно прошли испытания изделий периклазошпинельного состава производства Группы Магнезит в футеровке дуговой печи постоянного тока ДППТ-1,5/11А. Ранее в качестве серийно применяемой продукции использовали изделия периклазохромитового состава производства Группы Магнезит. Стойкость печи достигала 120 плавов. В рамках производственной необходимости, а именно для устранения перегрева подового электрода, режим работы печи составляет три плавки за две смены. В процессе эксплуатации футеровка печи должна противостоять многочисленным термоударам.

Специалистами Группы Магнезит были предложены изделия периклазошпинельного состава, характеризующиеся высокими служебными свойствами: высокой эластичностью структуры, абразивной и химической

стойкостью, а также стойкостью против термомеханических нагрузок. Опытными периклазошпинельными изделиями была выполнена кладка стен и шлакового пояса. Набивку подины и откосов печи производили порошком периклазового состава. Средняя продолжительность плавки 2 ч 30 мин. Максимальная температура во время плавки достигала 1730 °С. Выплавляемые марки стали: 25-35Л, 20ГЛ, 20ХГСЛ, 35ХГСЛ. За кампанию было проведено 239 плавов, что в 2 раза выше, чем при серийном применении изделий периклазохромитового состава. Износ периклазошпинельных изделий в надшлаковой зоне составил приблизительно 50 %. Наибольший износ футеровки до 2/3 толщины наблюдался в районе выпускного желоба и в шлаковой зоне.

Результаты петрографического исследования изделий после службы показали, что существенной коррозии

изделий не происходит (затрагиваются только приповерхностные слои изделий толщиной 0,1–0,2 мм). Основной износ изделий происходит за счет сколов пропитываемых частей огнеупора. Глубина расположения термических трещин от 12 до 45 мм в зависимости от зоны футеровки. Расположение трещин и направление их роста типично для периклазошпинельных изделий в агрегатах с интенсивной циклической термоударной и образующейся зональностью в результате пропитки силикатами. Механизм

износа заключается в скалывании пропитанных силикатами участков огнеупора при перепаде температур.

По результатам испытаний периклазошпинельные изделия производства Группы Магнезит одобрены к серийному применению для футеровки стен и шлакового пояса печи постоянного тока в условиях завода «НГО Техновек». В настоящее время изделиями периклазошпинельного состава зафутерован и находится в эксплуатации свод печи постоянного тока ДППТ-1,5.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРОВ БКО НА СЕВЕРСТАЛИ

(✉)
E-mail: svshiltseva@aobko.ru

© К. т. н. **А. В. Можжерин**, к. т. н. **А. П. Маргишвили**, к. т. н. **В. А. Мусевич** (✉),
к. т. н. **А. П. Дука**, **А. В. Витовский**

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

Специалисты Боровичского комбината огнеупоров и Северстали, имеющие многолетние партнерские отношения в области производства, реализации и эксплуатации большого спектра высококачественных огнеупоров, уделяют большое внимание повышению стойкости и эффективности эксплуатационных характеристик огнеупорных материалов, реализуемых в тепловых агрегатах Северстали. Общая стратегическая цель — не только сохранить взаимовыгодное сотрудничество, но и расширить ассортимент, номенклатуру и объем поставок серийной, перспективной и высокотехнологичной продукции. Ниже представлены основные инновационные огнеупорные материалы и решения, которые улучшают технико-экономические показатели работы тепловых агрегатов Северстали.

1. Внедрение насадок марок ШВ-37 и ШВ-42 (в том числе 65-канальной) для бесшахтного воздушонагревателя доменного производства, комплекта огнеупорных изделий марок НРК и DRL-150 форкамеры конструкции ЗАО «Калугин». Проводимая стендовая сборка элементов форкамеры в условиях БКО позволила осуществлять проверку качества изготовления изделий, тщательную подгонку элементов сборки, а также облегчить и ускорить сборку на Северстали. Применение огнеупоров обеспечило повышение эффективности эксплуатации воздушонагревателя и производительность доменной печи до 5 %.

2. Футеровка вращающейся печи ИДЦ. Предложена и внедрена комплексная футеровка вращающейся печи для обжига известки с использованием передовых высокоглиноземистых и теплоизоляционных огнеупоров. Эффективность предложенного проекта:

- снижение тепловых потерь на 66,6 %, или на 11333452 руб./год, при стоимости природного газа 3400 руб./1 тыс. м³ без НДС;

- снижение температуры на корпусе печи в среднем на 51 %, или на 147 °С. При максимальном износе футеровки температура на корпусе печи не превышает допустимых значений;

- повышение срока службы футеровки за счет увеличенного ресурса применяемых материалов и способа кладки футеровки: зона обжига 3 года, зона подогрева

(горячий конец) 3 года, зона подогрева (холодный конец) 3 года. За счет повышения срока службы футеровки увеличен межремонтный интервал вращающихся печей ИДЦ;

- снижение массы футеровки по предлагаемому дизайну — 206 т, или 34,8 %;

- снижение выбросов CO₂ в атмосферу — 67 %, или 6866 т/год.

В настоящее время футеровка находится в эксплуатации 1,5 года. Расчетные значения эффективности от внедрения проекта подтверждаются фактически получаемыми показателями.

3. Эффективные огнеупоры для 400-т сталеразливочных ковшей конвертерного цеха:

- применение пластичной ремонтной оборотовочной массы марки BorPlast-65, которая используется для заполнения пространства между верхним кольцом рабочего слоя футеровки и металлическим кожухом сталеразливочных ковшей;

- использование в арматурном слое футеровки комбинированной кладки изделий марки ШКУ-37 в зоне стены металла и марки КБУ в шлаковой зоне позволило повысить общую стойкость контрольного слоя до уровня не менее 8 кампаний;

- рабочий слой футеровки — внедрение оксидоуглеродистых изделий оптимизированного состава и улучшенного дизайна обеспечило достижение средней стойкости 102 плавки;

- использование мертеля марки МПШ для футеровки шлакового пояса и ремонтного комплекта позволило усилить сопряжение элементов кирпичной кладки, снизить вероятность проникновения шлака и расплава металла в узлы сопряжения между огнеупорными изделиями, а также исключить вероятность раскрытия швов в процессе эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей.

Совместная деятельность технических специалистов БКО и Северстали, направленная на оптимизацию огнеупоров и повышение стойкости узлов и рабочих агрегатов коксохимического, доменного, сталеплавильного и других производств, дает положительные результаты.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: Aleksandr.Proshkin@rusal.com

ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕФОРМОВАННЫХ ФУТЕРОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МОНТАЖЕ КАТОДНЫХ УСТРОЙСТВ АЛЮМИНИЕВЫХ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ© Д. Т. Н. **А. В. Прошкин** (✉), К. Т. Н. **В. В. Пингин, А. Г. Сбитнев, А. С. Жердев**
ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, Россия

Традиционно при монтаже катодных устройств электролизеров производства первичного алюминия применяют огнеупорные и теплоизоляционные изделия в виде изделий различных размеров. Они имеют такие недостатки, как высокие трудозатраты при кладке, низкую ее герметичность, отсутствие возможности повторного использования, постоянный рост затрат на приобретение и хранение отработанных футеровочных материалов. Неформованные футеровочные материалы (НФМ) различных гранулометрического и минерального составов, находящиеся в дисперсном состоянии, в значительной мере лишены таких недостатков. Однако ранее проведенные за рубежом испытания барьерных материалов на основе оливина показали снижение срока службы, что вызвало сомнение в целесообразности их использования. В то же время успешное использование преимущественно алюмосиликатных НФМ подтверждается данными мировой практики. Так, средний срок службы китайских электролизеров на силу тока 300 кА, монтаж которых был проведен с использованием сухих барьерных смесей (СБС), составил 2200 сут.

Цель данного исследования — исследование новых неформованных барьерных материалов для слоев, располагающихся непосредственно под подовыми блоками в электролизерах производства первичного алюминия, на основе результатов лабораторных и промышленных испытаний. Исследуемые материалы: полукокс бурого угля (ПБУ) марки АБГ-П производства ЗАО «Карбоника-Ф» (г. Красноярск), полученный автотермической неполной газификацией угля с использованием эффекта «обратной тепловой волны», и шамотный порошок ПШ-1. При анализе трансформации вещественного состава ПБУ под воздействием фторсолей и натрия использовали данные рентгенофазового, рентгеноспектрального и комплексного термического анализов (ДТА). Работоспособность новых НФМ в катодных устройствах оценивали по технико-экономическим показателям электролизеров, значениям температуры днища в 15 точках и трех закладных термопар в цокольной части катодного устройства. Окончательное заключение проводили на основе результатов аутопсии опытного электролизера, отработавшего более 2300 сут.

Представлены результаты испытаний на химическую стойкость как отдельно по отношению к натрию, так и по отношению к совместному действию алюминия, натрия и электролита. Установлено, что ПБУ отличается большим количеством сильных поперечных связей, что препятствует проникновению натрия в материал.

Замедление процессов проникновения натрия, в свою очередь, затрудняет смачивание твердой поверхности углерода электролитом и проникновение солевого расплава в поры материала.

Исследование на криолитоустойчивость смесей с различным соотношением порошков ПБУ и шамота показало, что технически и экономически эффективным вариантом является смесь, содержащая 25–30 % ПБУ и 70–75 % алюмосиликатного порошка ПШ-1. Такой состав НФМ обеспечивал самую низкую из известных неформованных материалов степень взаимодействия с компонентами электролита в ходе 20-ч и 40-ч тестов. Так, по сравнению с традиционно применяемой СБС Е-50, КНР, глубина проникновения фторсолей была в 2 раза ниже. Кроме того, результаты ДТА показали, что присутствие в составе НФМ шамота сдерживает образование цианида натрия. Характерной особенностью НФМ являлась ее достаточно низкая теплопроводность.

Свойства нового неформованного материала в реальных условиях эксплуатации (непосредственно под подовыми блоками) проверяли на промышленном опытном электролизере С-175. При подготовке опытной смеси в ее состав был введена антипылящая добавка. Уплотнение нового барьерного материала проходило с использованием площадочных вибраторов.

Срок службы опытного электролизера составил 2310 сут, что свидетельствовало о жизнеспособности НФМ и принятых технических решений. Аутопсия электролизера показала, что контакта алюминия с блюмсами не было, не выявлено и проникновение алюминия в цоколь. Причиной отключения электролизера было появление железа в алюминии-сырце из-за контакта алюминия с кожухом в верхней части ванны. Анализ динамики изменения температуры днища показал, что ПБУ почти 2 года препятствовал проникновению натрия и фтористых солей и обеспечивал средние температуры на 15–20 °С ниже, чем у электролизеров-свидетелей. Максимальное содержание цианидов непосредственно под подовыми блоками в испытуемом материале составляло около 0,4 %. Это находится на уровне обычно фиксируемых значений цианидов в подовых блоках ванн с таким сроком службы. Таким образом, срок службы опытного электролизера, его технико-экономические показатели, а также состояние отработанных футеровочных материалов подтвердили возможность использования ПБУ как компонента барьерных материалов в электролизерах для производства первичного алюминия.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМИСТЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ КЛАДКИ ПЕЧЕЙ ОБЖИГА АНОДОВ

(✉)
E-mail: vskurihin@aobko.ru© Д. Т. Н. А. В. Прошкин¹, К. Т. Н. А. В. Сакулин², К. Т. Н. В. В. Скурихин² (✉), О. С. Кузнецова²¹ ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, Россия² АО «Боровичский комбинат огнеупоров», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

На Саяногорском алюминиевом заводе производятся обожженные аноды, использование которых улучшает не только технико-экономические, но и экологические параметры производства первичного алюминия.

Анализ факторов, воздействующих на футеровку печей открытого типа, применяемых для обжига анодов, привел к необходимости выполнения определенных требований к изделиям марки BorABF, которые разработал и предложил Боровичский комбинат огнеупоров ОК «РУСАЛ». Главные из них: низкая открытая пористость (не выше 15 %), высокая прочность на холоду (не менее 50 МПа) и при высокой температуре (температура начала размягчения не ниже 1450 °С), повышенные объемпостоянство при температуре службы (остаточные изменения линейных размеров при 1400 °С не более 0,4 %) и термостойкость (не менее 4 теплосмен 1300 °С – вода). Тестирование изделий в исследовательском центре комбината показало высокую устойчивость к воздействию восстановительной среды, щелочей и криолита. Примечательно, что после испытаний на щелоче- и криолитоустойчивость на границе зоны реакции и переходной зоны обнару-

жено присутствие слоя стеклообразного альбита, подобно тому, что наблюдается в барьерных изделиях BorAluBar. Изделия имеют плотную однородную структуру с преобладающими порами размерами менее 20 мкм (средний размер пор 11–15 мкм). Причем после взаимодействия со щелочными реагентами размер пор уменьшается, снижая газопроницаемость изделий.

В феврале 2014 г. опытная партия изделий марки BorABF в количестве 120 т изготовлена в условиях действующего производства Боровичского комбината огнеупоров и поставлена для испытаний в РУСАЛ Саяногорск. Изделия полностью соответствуют требованиям, согласованным с РУСАЛ ИТЦ техническим соглашением. В конце марта – начале апреля 2014 г. изделиями из опытной партии зафутерованы 8 простенков в печах № 2 и 3. Сочетание плотной структуры и оптимального распределения компонентов обеспечивает изделиям повышенный срок службы. Расчетный срок службы на 15–25 % превышает срок службы применяемых в настоящее время изделий. Совместно с РУСАЛ ИТЦ осуществляется мониторинг службы изделий с подведением итогов промежуточных этапов эксплуатации.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХМЕХАНИЗМ ИЗНОСА ИЗДЕЛИЙ BorABF В КЛАДКЕ ПЕЧЕЙ ОБЖИГА АНОДОВ
РУСАЛ-САЯНОГОРСК(✉)
E-mail: vskurihin@aobko.ru© Д. Т. Н. А. В. Прошкин¹, К. Т. Н. В. В. Скурихин² (✉), О. С. Кузнецова², А. Н. Иксанова²,
А. А. Коваленко²¹ ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, Россия² АО «Боровичский комбинат огнеупоров», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Боровичский комбинат огнеупоров и РУСАЛ ИТЦ совместно разработали импортозамещающие изделия муллитокремнеземистого состава марки BorABF для кладки печей обжига анодов РУСАЛ-Саяногорск. В феврале 2014 г. опытная партия изделий была поставлена в Саяногорск для испытаний. Зафутерованы 8 простенков в печах № 2 и 3. РУСАЛ ИТЦ организовал мониторинг службы изделий. Ежеквартально производили отбор изделий из опытных и сравнительных простенков для изучения в исследовательском центре Боровичского комбината огнеупоров. Для сравнения использовали импортные изделия, штатно применяемые на тот момент в кладке печей.

Известно, на футеровку кроме тепловой нагрузки воздействуют углерод засыпки камеры и монооксид углерода (CO), как продукт его окисления, а также криолитовые испарения от анодных огарков, входящих в состав шихты для производства анодов, в количестве до 20 %. Исследование изделий после службы подтвердило взаимодействие этих реагентов с футеровкой, в результате чего огнеупоры приобретают зональную структуру: рабочую (наиболее измененную), переходную и наименее измененную зоны. Углерод и CO действуют как высокотемпературный восстановитель, восстанавливая в первую очередь SiO₂ связки до газообразного SiO, ко-

торый удаляется с дымовыми газами из зоны реакции. Углерод в порах огнеупора далеко от поверхности изделий образуется из-за конверсии CO по реакции Белла-Будуара.

В более пористых импортных изделиях, штатно применяемых в кладке печей, снижается содержание SiO₂ с 27 до 23 %, за счет чего обнаруживается перераспределение содержания Al₂O₃ от 65 до 69 %, образуется свободный корунд. На восстановление SiO₂ в этих изделиях накладывается поглощение паров криолита с образованием нефелина и синтезом вторичного муллита в связке. Совокупность этих процессов приводит к изменению микроструктуры огнеупора: увеличиваются объем и пористость связки, процесс поступательно иницируется вглубь футеровки. Изменения приводят к накоплению внутренних напряжений, образованию трещин, фрагментации структуры кладки и ее деформации.

Вследствие низкой пористости и повышенной структурной плотности проникновение реагентов вглубь изделий BorABF затруднено. Химический и фазовый составы изделий незначительно изменяются только в узкой рабочей зоне, остальная часть остается практически неизменной. Образующийся в рабочей зоне в процессе поглощения связкой паров криолита альбит способствует

снижению открытой пористости и размера пор, что создает дополнительный барьер для проникновения паров натрия вглубь огнеупора. В результате этого срок службы

опытных простенков из изделий BorABF в 2 раза больше срока службы ранее применявшихся импортных изделий. Изделия BorABF приняты в промышленную эксплуатацию.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

СВС-МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕМОНТА КЛАДКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

(✉)
E-mail: a.gulyaewa2012@yandex.ru

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

Высокий уровень стойкости футеровки металлургических тепловых агрегатов служит надежной гарантией увеличения срока их службы и продолжительности межремонтных периодов за счет сокращения трудозатрат и расхода огнеупорных материалов на тонну производимого металла. Расход отечественных огнеупоров на 1 т стали остается высоким и примерно в 4 раза превышает уровень расхода огнеупоров, закупаемых в промышленно развитых странах. Ситуация может измениться к лучшему, если на смену устаревших технологий печного обжига или спекания при высоких температурах будет принята на вооружение технология нового поколения — получения перспективных огнеупорных материалов для металлургии с применением процессов технологического горения, или самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Температура инициирования СВС-процесса строго индивидуальна для каждой системы и зависит от физико-химической природы ее компонентов. Для получения огнеупорных материалов целесообразно использовать СВС-системы с восстановительной стадией. К таким системам относятся термитные составы. Реакции термитного типа имеют вид: $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Cr} + 110 \text{ ккал}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe} + 180 \text{ ккал}$, $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Mg} = 3\text{MgO} + 2\text{Cr} + 160 \text{ ккал}$. Температура горения термитных, как правило, превышает 2000 °С. В реальных условиях НПКФ «МаВР» были испытаны СВС-составы более чем на десяти металлургических предприятиях черной металлургии. Таким образом, технология СВС-огнеупоров имеет много преимуществ по сравнению с существующей технологией обожженных изделий: экологическая чистота производства, существенная экономия топлива за счет использования собственного тепла экзотермических реакций, высокая производительность труда, минимальные капиталъ-

ные затраты, совмещение синтеза новых соединений с формированием износостойчивых структур при очень высоких температурах (>2000 °С) и безотходность производства. В итоге СВС-технология позволяет получить высококачественные огнеупоры и огнеупорные материалы нового поколения.

Авторами разработана огнеупорная масса для заполнения швов кладки агрегатов цветной металлургии, содержащая хромитовую руду, железную окалину, алюминий, сульфат магния и воду. Масса обеспечивает равномерную прочность по всему объему за счет повышения стабильности физико-химических процессов, происходящих со швом футеровки в процессе ее горения при сохранении температуры нагрева 300–450 °С.

Разработан состав торкрет-массы, примененной на Режском никелевом заводе для шлакового пояса электродуговой печи (ДСП-3), а также электропечей и конвертеров Уфалейского никелевого комбината методом факельного торкретирования. Состав торкрет-массы: хромитовая руда, алюминий, периклаз, вода. Для проведения факельного торкретирования была разработана и изготовлена торкрет-установка производительностью 1800–2000 кг/ч. Таким образом, установлена возможность применения СВС-материалов для кладки и ремонта футеровки тепловых агрегатов цветной металлургии.

Разработаны составы СВС-материалов для производства плавнелитых изделий, кладочного раствора, торкрет-массы для факельного торкретирования и технологии их изготовления и применения, а также лабораторная и полупромышленная торкрет-установки. СВС-материалы, испытанные в футеровке тепловых агрегатов Режского никелевого завода, Уфалейского никелевого комбината и Усть-Каменогорского свинцово-цинкового комбината, показали высокие физико-химические свойства.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

АНАЛИЗ РАБОТЫ МУЛЛИТОВЫХ И МУЛЛИТОКОРУНДОВЫХ ОГНЕУПОРНЫХ БЛОКОВ В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ РАЗОГРЕВА МЕТАЛЛОВ

(✉)
E-mail: revan007007@yandex.ru

© **И. И. Удалов**¹ (✉), **К. т. н. В. В. Козлов**¹, **К. т. н. С. В. Вихман**¹, **К. т. н. А. Д. Бураков**²
¹ ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия
² ООО «НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

Проведено статистическое исследование работы огнеупорных блоков в методической печи разогрева металлов. Объектом исследования являлись подовые огнеупорные блоки, представляющие собой муллитовый или муллитокорундовый виброналивной бетон разных производителей. В качестве заполнителя для огнеупорных бетонов применяли бокситовый шамот, андалузит, синтетический муллит разной степени чистоты, бой корундомуллитовых изделий после службы.

Проходные телеги в процессе службы разогреваются до 400 °С и направляются в методическую печь, разогреваемую до 1000–1300 °С в зависимости от марки проката. После установки телеги в зону подогрева печи на блоки устанавливаются металлический сляб на 6 рядов блоков либо на 4 центральных ряда для разогрева. По достижении нужной температуры прогретый сляб снимают с блоков на выходе из печи, после чего телега отправляется в термос для охлаждения до стартовой температу-

ры. Исследованные огнеупорные бетоны должны были обеспечивать высокие термостойкость, огнеупорность под нагрузкой и устойчивость к ползучести при высоких температурах, повышенные механические свойства при высоких температурах, низкую теплопроводность. В процессе эксплуатации большинство огнеупорных блоков не показали желаемого срока службы, таким образом, цель работы состояла в выяснении причин разрушения блоков, а также выявлении оптимального(ых) состава(ов) бетона для увеличения стойкости блоков при эксплуатации.

Были проведены статистические исследования причин разрушения блоков в методической печи разогрева металлов методом Брандона. Для восьми партий блоков были измерены плотность ρ и модуль упругости E перед службой. Модуль

упругости, а точнее скорость звука в материале, измеряли прибором «Пульсар-13» при сквозном прозвучивании. По значениям ρ и E блоки разделили на 3 группы. На основании статистического анализа было установлено, что основными причинами разрушения блоков являются их позиция на телеге, а также технологические параметры партии. Были выявлены позиции, на которых блоки разрушались чаще всего. Анализ службы блоков с измеренными E и ρ позволяет сделать вывод, что блоки с максимальной плотностью (но не всегда с самым высоким E) обладают наибольшей стойкостью. При уточнении параметров фазового состава, а также прочностных характеристик образцов-свидетелей можно будет выявить влияние модуля упругости, теплопроводности и прочности на стойкость материалов в указанных условиях эксплуатации.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ЭФФЕКТИВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОГНЕУПОРОВ В RH-ВАКУУМАТОРАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СТОЙКОСТИ И ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ

(✉)

E-mail: revan007007@yandex.ru

© Ричард Фехнер (✉), Уве Гола, Д. В. Крутиков

Компания «Weerulin GmbH», Германия

Компания «Weerulin GmbH» с 1968 г. производит огнеупорные изделия и массы для ухода за патрубками RH-вакууматоров, с 2000 г. — готовые патрубки на основном производственном предприятии в г. Мюльхайм-на-Руре, с 2008 г. в своей дочерней компании в Бразилии. 2015 г. — начало работы совместного предприятия «Weerulin» и «Corwintec». Огнеупорные изделия и патрубки применяются более чем на 120 металлургических заводах в Западной и Восточной Европе, а также в Южной Америке. В докладе представлены следующие темы.

Конструкционные особенности при производстве патрубков RH-вакууматоров. Рассмотрены технические аспекты производства основных компонентов вакууматоров: патрубков, футеровки и ремонт вакуумной камеры, а также представлены материалы для изготовления, ухода и ремонта патрубков и вакуум-камеры. При изготовлении патрубков компания «Weerulin» исходит из конкретных условий эксплуатации, существующих на предприятиях заказчика. Это во многом обуславливает выбор огнеупорных материалов для изготовления наружного слоя патрубков. В зависимости от условий эксплуатации и технических требований заказчика компания имеет возможность изготовления магниезиальных и глиноземистых бетонов. При необходимости улучшения механических свойств возможно использование металлической фибры в качестве добавки при заливке бетона в шаблон. Важную роль при этом играют реологические свойства саморастекающихся бетонов. В каждом проекте выбор применяемых технологий, а именно методов изготовления сопел для продувки аргоном, выбор металлических элементов конструкции и методов их сварки, осуществляется индивидуально. Результат эффективных методов производства и современного инжиниринга — общее число произведенных патрубков на сегодняшний день составляет более 3000. Представлена также информация по выбору подходящих материалов для футеровки вакуум-камеры.

Факторы металлургического процесса, влияющие на стойкость патрубков, и их учет при производстве готовых изделий. Технология металлургических процессов и сортамент производимой стали на разных предприятиях различаются, что влияет на стойкость патрубков вакууматора. В зависимости от качества выплавляемой стали возникает необходимость в проведении ее обезуглероживания или дегазации. Смена технологических операций в процессе вакуумирования стали и их длительность обуславливают необходимость выбора оптимального состава огнеупора с заданными свойствами. Благодаря совместной инженерной работе между производителем и заказчиком достигаются высокие показатели стойкости огнеупоров.

Концепция ручного торкретирования патрубков и разработанные торкрет-массы. Организация работ по уходу за патрубками значительно влияет на их стойкость. Наличие необходимого оборудования для удаления шлако-металлических настывей и торкрет-установок для ухода за футеровкой, а также методы их использования — необходимое условие для достижения высоких показателей стойкости патрубков. Рассмотрены приемы торкретирования и представлен опыт компании по его проведению. Даны концепции организации полного сервиса огнеупорных работ и существующие модели экономического расчета, а также выбор торкрет-материалов с различной минеральной основой для проведения горячего ремонта патрубков.

Автоматизированная система для ухода за футеровкой внутри и снаружи патрубков и разработанная для этих целей система INGUN. Рассмотрены устройство и преимущества системы INGUN, приведены примеры эффективного ее использования. Представлены также дальнейшие разработки в направлении производства изделий для RH-вакууматоров совместно с компаниями «Corwintec» и «Энерготехсинтез».