

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Ольховский А. М., Назимов М. И., Мануйлова Е. В. Разработка и внедрение инновационных технологий и процессов обогащения магнезиальных материалов, позволяющих вовлечь в производство техногенные отходы.....	10
Ау А., Разуваев А. В., Чугунова И. А. Производство гранулированных ШОС по немецкой технологии в условиях российского рынка — успешное импортозамещение.....	10
Демидович В. Б., Растворова И. И., Перевалов Ю. Ю. Особенности оптимизации футеровки индукционных нагревателей по критерию энергоэффективности.....	11
Денисов Д. Е. Элементы промышленных печей, футерованные огнеупорными бетонами.....	12
Заболотский А. В., Аксельрод Л. М. Применение математических методов к изучению разрушения огнеупорных бетонов во время сушки.....	12
Кац Я. Л., Краснянский М. В., Юсупов Д. И. Высокотемпературный нагрев футеровки сталеразливочных ковшей.....	13
Коварская Е. З., Москоленко И. Б., Потапов А. И., Шадрин М. С. Неразрушающий контроль физико-механических свойств и качества подовых блоков и обожженных анодов электролизеров, используемых при производстве алюминия.....	14
Козлов В. В., Суворов С. А., Чистякова Т. Б., Новожилова И. В. Архитектура компьютерной системы для проектирования фракционного и фазового состава огнеупорных бетонов.....	14
Кушнерёв И. В., Аксельрод Л. М. Огнеупорные материалы как фактор производства «чистой стали».....	15
Кушнерёв И. В., Аксельрод Л. М. Современные методы моделирования высокотемпературных систем.....	15
Лобанова И. В., Календа А. В., Амелин А. В., Фехнер Р., Голла У., Крутиков Д. В., Вольф П., Бельмаз К., Гончаров А. А. Результаты исследования температурного режима сушки и разогрева промежуточных ковшей сортовой МНЛЗ ККЦ-2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК».....	16
Макаров В. Н., Макаров Н. В., Волежанин И. А., Чуркин В. А. Промышленные композиты для высоконагруженных термоизносостойких рабочих органов турбомашин.....	17
Перепелицын В. А., Шешуков О. Ю., Капустин Ф. Л., Яговцев А. В., Земляной К. Г. Оксидно-углеродистые огнеупоры — физико-химическая модель пирометаллургических агрегатов.....	17
Перепелицын В. А., Яговцев А. В. Экологические проблемы современного производства огнеупоров.....	18
Сатбаев Б. Н., Кокетаев А. И., Айтметова Э. О., Шалабаев Н. Т., Сатбаев С. Б. Перспективы использования металлургических шлаков для производства корундовой керамики.....	19
Синельников В. О., Калиш Д. Технология slag splashing — радикальный путь экономии дорогостоящих огнеупоров футеровки кислородных конвертеров.....	20
Щерба Я., Снежок Э. Развитие огнеупорных материалов для зоны спекания вращающихся печей.....	20

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кашеев И. Д., Глызина А. Э., Шахова Е. В., Кушкина Е. В., Павлова И. А. Утилизация вскрышных глинистых пород Байновского месторождения.....	21
Перепелицын В. А., Мерзляков В. Н., Кочетков В. В., Панов Е. В. Комплексная переработка техногенного цирконийсодержащего сырья.....	21
Фрулли Д. Свойства андалузито- и муллитосодержащих минералов и их применение в огнеупорной промышленности.....	22

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

Аксельрод Л. М., Денисов Д. Е. Огнеупорный бетон в футеровке патрубков RH-вакууматоров.....	22
Аксельрод Л. М., Ерошин М. А., Пицик О. Н., Марясева О. А. Шпинельнопериклазовые огнеупоры для футеровки сталеразливочных ковшей для производства низкоуглеродистых и легированных сталей.....	23
Аксельрод Л. М., Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Бессольников А. А., Пицик О. Н., Киселева Е. А. Плиты периклазошпинельного состава для шибберных затворов сталеразливочных ковшей.....	23
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Платонов А. А., Бессольников А. А., Аношкин И. В. Оптимизация микроструктуры периклазошпинелидных огнеупоров для футеровки патрубков RH-вакууматоров.....	24
Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Платонов А. А., Мигашкин А. О. Алюмопериклазоуглеродистые огнеупоры с пониженной теплопроводностью для футеровки сталеразливочных ковшей.....	25

Егоров И. В., Мамонова Н. С. Новые разработки компании «Кералит».....	25
Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Чевычелов А. В., Валуев А. Г., Поморцев С. А. Свойства периклазоуглеродистых огнеупоров, сформованных новым способом.....	26
Турчин М. Ю., Ерошин М. А., Пицик О. Н., Беспалова И. Г. Периклазофорстеритовые огнеупоры для агрегатов цветной металлургии.....	26

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

Букреев А. Е. Новые методы и оборудование ООО «Термо Техно Инжиниринг» для аналитического и испытательного контроля в огнеупорной промышленности.....	27
Войтович В. А., Захарычев Е. А., Шварев Р. Р., Феоктистова Е. П. Перспективы использования аппаратов вихревого слоя в производстве огнеупоров.....	28
Гартен В., Уссельманн В., Киреева К., Шебета Ю., Шенер Й. Прогрессивное оборудование для изготовления и обслуживания монолитной футеровки тепловых агрегатов.....	28
Давыдов С. Я., Валиев Н. Г., Филатов М. С., Барг В. Ф., Викулов В. Н., Полежаев Н. И. Решение проблемы эксплуатации трубчатых ленточных конвейеров.....	28
Давыдов С. Я., Филатов М. С., Полежаев Н. И., Кожушко Г. Г., Викулов В. Н. Трубчатые ленточные конвейеры для техногенных отходов.....	29
Золотухин В. И., Гордеев Е. И., Провоторов Д. А., Головкин А. Г. Новые разработки НПП «Вулкан-ТМ» в производстве огнеупоров.....	30
Копачевский В. Д., Бойков В. Н., Кривошеева М. А., Боброва Л. А., Астровская Г. И. Лазерный анализатор LEA-S500 — универсальный прибор для контроля состава огнеупоров, минерального сырья, металлов и сплавов.....	31
Макаров В. Н., Кокарев К. В., Макаров Н. В., Чуркин В. А. Крутонаклонный ленточный конвейер для перемещения огнеупорных материалов.....	31
Макаров В. Н., Чуркин В. А., Макаров Н. В. Инновационная гидродинамическая система комплексного пылеподавления.....	32
Спицин А. С. Современное футеровочное оборудование для тепловых агрегатов металлургической промышленности.....	33

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Абызов В. А., Магилат В. А. Разработка и опыт применения жаростойких бетонов и огнеупорных растворов на основе металлургических шлаков.....	33
Абызов В. А., Ряховский Е. Н., Посаднова Н. Е. Фосфатные жаростойкие клеи и газобетон на основе дисперсных алюмосиликатных и высокоглиноземистых промышленных отходов.....	34
Апакшев Р. А., Давыдов С. Я. Оптимизация технологических параметров синтеза порошка карбида вольфрама из паравольфрамата аммония.....	35
Белогурова О. А., Матвеев В. А., Саварина М. А., Шарай Т. В. Использование алюмофосфатной связки для получения огнеупорных материалов из карбидизированных гранул кианитовой руды.....	36
Бесис Д. Х. А., Эвайс И. М. М., Ахмед Я. М. З., Эльхусини Ф. И., Кузнецов Д. В. Карбидная/нитридная керамика для применения в солнечных энергетических установках.....	36
Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Бардин Н. Г., Швецов А. А., Степарева Н. Н., Макаров Н. А. Особенности объемного силицирования многомерно-армированных углерод-углеродных композиционных материалов.....	37
Бубненко И. А., Кошелев Ю. И., Швецов А. А., Бардин Н. Г., Степарева Н. Н., Макаров Н. А. Влияние среднего размера зерна углеродной основы на фазовый состав среднезернистого силицированного графита.....	37
Вильданов С. К., Лиходиевский А. В., Пыриков А. Н. Вязкость оксидных композиций, образованных неорганической частью универсального теплоизолирующего и шлакообразующего материала «Изоотерм-1600-B-01».....	38
Глазырин С. А., Апакшев Р. А., Валиев Н. Г., Давыдов С. Я., Глазырин С. С. Теплоизолирующее огнезащитное покрытие.....	39
Горланов Е. С., Бажин В. Ю., Федоров С. Н. Низкотемпературное фазообразование в системе Ti-B-C-O.....	40
Гудовских П., Вормейер Кр., Аврей Дж.-М., Цеттерстром С. Сушка плотных огнеупорных бетонов, содержащих добавку REFAC®MIPORE 20 для увеличения газопроницаемости.....	40
Зайцев С. В., Дороганов В. А., Дороганов Е. А., Вареникова Т. А. Исследование коррозионной стойкости огнеупорных композитов на основе муллитокрибидкремниевых искусственного керамического вяжущего.....	41

- Зайцев С. В., Дороганов В. А., Дороганов Е. А., Вареникова Т. А.** Исследование тонкодисперсных модифицирующих добавок для огнеупорных бетонов.....41
- Зубашенко Р. В.** Исследование термостойкости высокоглиноземистых теплоизоляционных изделий на основе алюмосиликатного волокна.....42
- Константинов А. С., Бажин П. М., Столин А. М.** Перспективы применения металлокерамических Ti–B композиционных материалов в качестве современных огнеупорных материалов.....42
- Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Фёдоров М. Ю., Остриков Е. А.** Технологическое обеспечение операций лазерного формообразования керамических деталей.....43
- Кузин В. В., Фёдоров С. Ю., Фёдоров М. Ю., Остриков Е. А., Портной М. Р.** Лазерная структурная модификация поверхностного слоя высокоплотной керамики.....44
- Кущенко К. И., Мишнев Ю. Е., Крахмаль Ю. А.** Применение новых сырьевых материалов в технологии высокоогнеупорной особоплотной корундовой керамики методом шликерного литья.....45
- Лотфи А., Поздняков А. В., Золоторевский В. С.** Микроструктура и ТКЛР прессованных композитов Al – 5 % Cu с добавками Si₃N₄, B₄C или BN.....45
- Макаренко В. В., [Семченко Г. Д.], Бражник Д. А., Старолат Е. Е.** Технологические особенности получения композиционного керамического материала методом литья.....45
- Макаров В. Н., Волежанин И. А., Чуркин В. А., Осинцев Ю. Г., Холодников Ю. В.** Карбид кремния как основа композиционных огнеупоров будущего.....46
- Манушина А. С., Потапова Е. Н.** Влияние термообработки каолина на его свойства.....47
- Мартыненко В. В., Казначеева Н. М., Крахмаль Ю. А., Кущенко К. И.** Корундовые легковесные огнеупоры с улучшенными теплотехническими характеристиками.....47
- Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Бабкина Л. А., Савина Л. К., Щербак Л. М., Тишина Т. Г.** Низкоцементная карбидкремниевая бетонная смесь.....48
- Мартыненко В. В., Примаченко В. В., Бабкина Л. А., Хончик И. В., Никулина Л. Н.** Низкоцементный глиноземошпинельный вибрационный бетон со шпинельсодержащим цементом для футеровки сталеразливочных ковшей.....48
- Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Остряков Л. В., Дунаева М. Н., Колобов А. Ю.** Фазовые превращения бетонов системы Al₂O₃–SiC–C при испытании на шлакоустойчивость.....48
- Перепелицын В. А., Дунаева М. Н.** Устойчивость высокоглиноземистого бетона к синтетическому ковшевому шлаку.....49
- Пивинский Ю. Е., Перепелицын В. А., Дякин П. В., Бураков А. Д., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Остряков Л. В., Колобов А. Ю., Коротаев Д. А.** Высокоглиноземистые ВКВС композиционного состава и желобные массы в системе Al₂O₃–SiO₂–SiC–C на их основе.....50
- Примаченко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Ткаченко Л. П.** Исследование влияния добавки активных глинозёмов на свойства вибролитой массы и сырца муллитокорундовых огнеупоров.....51
- Саитов А. В., Бажин В. Ю.** Металлизация слоистых графитовых материалов литием при электрохимическом воздействии.....51
- Сенина М. О., Лемешев Д. О.** Препаратор для синтеза порошка алюмомагнезиальной шпинели.....52
- Соков В. Н.** Корундовые сферические наполнители с широким диапазоном гранулометрии и различной пористой структурой.....53
- Соколов В. А., Махов С. В., Богатырева Е. В.** Коррозионная стойкость огнеупоров в свинцовонобиевом расплаве.....54
- Столин А. М., Бажин П. М.** Получение огнеупорных плит и слоистых композитов методом свободного СВС-сжатия.....55
- Стонис Р., Антонович В., Шкамат Е., Куджма А.** Влияние замораживания на свойства огнеупорных бетонов.....55
- Суворов Д. С., Хайдаров Б. Б., Мазов И. Н., Жукова П. А., Салтыкова Я. С., Абрамов А. К., Горчаков В. В., Кузнецов Д. В.** Оптимизация процесса получения и исследование бесклнкерных вяжущих на основе доменных гранулированных шлаков.....55
- Суворов С. А., Козлов В. В.** Физико-технические свойства расплавов ШОС при непрерывном литье стальных заготовок.....56
- Суворов С. А., Козлов В. В., Арбузова Н. В.** Альтернативная B₄C минеральная добавка для карбонированных огнеупоров.....57
- Суворов С. А., Козлов В. В., Бочаров С. Н., Арбузова Н. В.** О комплексе фаз для защиты от газификации углерода периклазовых карбонированных огнеупоров.....58
- Суворов С. А., Козлов В. В., Бочаров С. Н., Арбузова Н. В.** Формирование текстуры массы и структуры материала периклазового карбонированного огнеупора.....59
- Суворов С. А., Козлов В. В., Михайлов С. В.** Огнеупорный бетон в системе Al₂O₃–SiO₂–SiC.....60
- Третьяков И. А., Миронова Л. В., Сенчева К. А.** Влияние микро-структуры на термостойкость спеченных и плавящихся наполнителей на основе α-Al₂O₃.....61
- Хайдаров Б. Б., Суворов Д. С., Салтыкова Я. С., Ярушина Т. В., Аксельрод Л. М., Кузнецов Д. В.** Исследование влияния УНТ на прочностные свойства огнеупоров состава MgO–C.....61
- Церман С. И., Беляков А. В.** Модульный принцип конструирования, изготовления и применения алмазного инструмента на базе «умных» сегментов.....62
- Чижиков А. П., Бажин П. М., Столин А. М.** Получение керамических трубок на основе оксида алюминия методом СВС-экструзии.....63
- Шалаби Э. А. М., Чурюмов А. Ю., Ель-хаир М. Т. Абу, Дауд А.** Тепловые свойства и трибологические характеристики прессованных гибридных композиционных материалов A359/(SiC + Si₃N₄).....63
- Шмурадко В. Т., Пантелеенко Ф. И., Реут О. П., Григорьев С. В., Пантелеенко А. Ф.** Электроизоляционные материалы для автоматической сварки трубчатых биметаллов.....64
- Эвайс И. М. М., Уолли М., Альнаджи Б. Е. Х., Элсаадни Р. М.** Экологически безопасные огнеупорные изделия из водных шламов как альтернатива диатомитовым теплозащитным огнеупорам.....64

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

- Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Заболотский А. В., Мигашкин А. О.** Новый подход к выполнению футеровки агрегатов сталеплавильного комплекса ДСП-120 ОМЗ-Спецсталь.....65
- Амелин Ал. В., Календа А. В., Ермохина Т. Ю.** Опыт эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей в условиях ККЦ №2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК».....66
- Богун А. П.** Применение теплоизолирующих алюмосиликатных гранулированных и высокоосновных порошкообразных теплоизолирующих смесей для защиты зеркала металла в сталеразливочных и чугуновозных ковшах.....66
- Богун А. П., Годынский Н. А.** Применение известково-силикатных и известково-глиноземистых плавящихся рафинировочных флюсов для внепечной обработки стали.....66
- Вдовин К. Н., Точилкин Василий В., Мельничук Е. А.** Влияние геометрии огнеупорного оборудования приемной камеры промежуточного ковша на работу МНЛЗ.....67
- Вдовин К. Н., Умнов В. И., Точилкин В. В.** Совершенствование огнеупорных конструкций системы сталеразливочный ковш – промежуточный ковш МНЛЗ.....67
- Вислогузова Э. А., Фолько Л., Чеглов Р. А., Палмизано Дж.** Видение огнеупорной футеровки в запелликах доменной печи.....68
- Демин Е. Н., Речкалов А. А.** Высокотемпературная монолитная пеноизоляция.....69
- Зубашенко Р. В., Кузин В. И.** Опыт применения высокотемпературных теплоизоляционных изделий производства ЗАО «ПКФ «НК» в футеровке тепловых агрегатов.....69
- Иванов А. Г., Кулясов И. Н., Пузин Е. Н.** Применение новых высокотемпературных огнеупорных материалов при пирометаллургическом обогащении упорных продуктов.....70
- Коростелёв А. А., Чернышев А. А., Съёмщиков Н. С., Сёмин А. Е., Котельников Г. И.** Снижение неметаллических включений в стали при непрерывной разливке.....70
- Косолапов А. А., Максимов М. В., Линдгард К., Дженсон М.** Экономическая эффективность применения плотной диатомитовой теплоизоляции.....71
- Лубяной Д. А., Переходов В. Г., Черепанов А. Г., Арканова Ю. А., Лубяная С. В., Толстикова Ю. А.** Об оптимальной конструкции фурм и стойкости огнеупорных изделий для них при продувке доменного чугуна.....71
- Непомнящих В. А., Богданов В. А., Бойков Д. В., Фейлер С. В., Кузнецов Е. П.** Применение в электросталеплавлении производств магнелиальных материалов на основе брусита.....72
- Точилкин Виктор В., Умнов В. И., Точилкин Василий В.** Анализ процесса разлива металла и разработка огнеупорных изделий разливочного отверстия промежуточного ковша сортовых МНЛЗ.....72
- Числавлев В. В., Фейлер С. В., Бойков Д. В., Неунвахина Д. Т.** Разработка конструкции огнеупорных элементов для рафинирования стали в промежуточном ковше МНЛЗ.....73
- Ямашита Сёго, Сузуки Такаюки.** Улучшение качества стали с помощью безуглеродистого формовочного порошка.....74

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПРОЦЕССОВ ОБОГАЩЕНИЯ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ВОВЛЕКАТЬ В ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. н. **Л. М. Аксельрод**¹ (✉), **М. Ю. Турчин**², **А. М. Ольховский**³,
К. Т. н. **М. И. Назмиев**², **Е. В. Мануйлова**²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия³ ООО «НПП «ГеоТестСервис», Москва, Россия

На протяжении более 100 лет Группа Магнезит вынуждена была складировать в специальных отвалах невосстановленную магнезитовую массу (некондиционный магнезит). Образованные техногенные отходы являются неотъемлемой частью любого промышленного производства с собственной сырьевой базой и негативно отражаются на экологической обстановке региона. Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов, включающее также и переработку техногенных отходов, является одним из главных направлений деятельности Группы Магнезит.

Технология тяжелосреднего обогащения на протяжении нескольких десятилетий занимала весомое место в технологической схеме Группы Магнезит. Современный уровень развития техники и технологий подталкивает к поиску новых, радикальных решений, учитывающих специфику отдельных предприятий, экологическую безопасность и экономический эффект. Начиная с 2013 г. Группа Магнезит ведет апробирование, внедрение и освоение технологии рентгенотрансмиссионного обогащения собственного кристаллического магнезита. В 2016 г. в отделении обогащения дробильно-обогатительной фабрики комбината «Магнезит» (в составе Группы Магнезит) после проведения необходимых подготовительных работ и опытно-промышленных экспериментов, был введен в эксплуатацию первый на Саткинской производственной площадке промышленный сепаратор XSS(T)100 фирмы «Steinert Elektromagnetbau GmbH». В России эту

фирму представляет НПП «ГеоТестСервис», со специалистами которой выполнен комплекс пуско-наладочных работ на комбинате «Магнезит». Принцип работы сепаратора заключается в сканировании каждого отдельного куска магнезита, определении содержания в нем полезного компонента с последующей покусковой сортировкой идентифицированных кусков в зависимости от качества.

В процессе освоения сепаратора в промышленных условиях разработаны алгоритмы сортировки рядовых марок магнезиального сырья, а также внедрена технология обогащения техногенных отходов с отвала — некондиционного магнезита. Качественные и количественные показатели полученного концентрата сепарации позволили сделать вывод об эффективности переработки некондиционных магнезитов в годную продукцию с получением положительного экономического эффекта в сравнении с тяжелосредним обогащением. В настоящее время осуществляется проектирование участка обогащения, в котором основная нагрузка на сортировку сырья будет приходиться на два сепаратора XSS(T) различной пропускной способности. Это мероприятие позволит сдвинуть с «мертвой» точки процесс переработки образованных накопленных техногенных отходов, что, несомненно, благоприятно отразится на экологической обстановке не только района, но и области и даст предприятию существенный экономический эффект.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПРОИЗВОДСТВО ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШОС ПО НЕМЕЦКОЙ ТЕХНОЛОГИИ В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКОГО РЫНКА — УСПЕШНОЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ

(✉)

E-mail: chugunova_i@mail.ru

© **А. А. А. В. Разуваев**, К. Т. н. **И. А. Чугунова** (✉)
ООО «Интокаст Рус», г. Воронеж, Россия

Реализуя государственную программу по импортозамещению, российские металлургические компании стремятся к снижению объема импорта. Программа импортозамещения предусматривает значительные объемы инвестиций в реконструкцию и модернизацию производств, а также в создание мощностей по выпуску конкурентоспособной продукции, не уступающей европейской по качеству.

Зарубежные технологии в условиях российского рынка зарекомендовали себя и прекрасно работают. Примером этого служит созданное в 2013 г. совместное немецко-российское предприятие «Интокаст Рус»

— единственный в России промышленный производитель гранулированных ШОС по немецкой технологии компании «Alsical GmbH», которые используют для разлива стали на слябовых и сортовых МНЛЗ. Проектная мощность предприятия 1200 т смеси в месяц. Основное промышленное оборудование закупалось в Германии, пусконаладочные работы проводили немецкие специалисты. Рабочий персонал и специалисты «Интокаст Рус» проходили стажировку в Германии. За короткий срок при технической поддержке компании «Intocast AG» разработано и освоено более 25 видов марок ШОС. Специалисты исследовательского центра компании

«Intocast AG» занимаются разработкой и подбором составов ШОС для каждого конкретного потребителя. В настоящее время ШОС успешно работают и проходят испытания на металлургических предприятиях России и ближнего зарубежья: НЛМК, Уральская сталь, ОЭМК, металлургический комбинат «Азовсталь», ММК, Металлургический комбинат им. Ильича и др.

ШОС является продуктом, который требует тщательных испытаний, так как влияет на безопасный процесс разлива и качества разливаемой продукции. Десятью процентами проведенных испытаний ШОС имеют положительное заключение; рекламации на поставленную продукцию отсутствуют. За время работы предприятия было выпущено более 20000 т ШОС, металлургами разлито примерно 40 млн т стали с ее использованием. Основная цель компании «Интокаст Рус» — достижение максимального уровня качества, сопоставимого с ведущими производителями ШОС в Европе и Азии. Основные сырьевые материалы для производства ШОС компания закупает у крупного европейского производителя сырья «Sibelco», а также у ряда российских альтернативных поставщиков.

Тестирование готовой продукции и дополнительный входной контроль поступающего сырья осуществляет испытательная лаборатория ООО «Центр Тестирования и Контроля», которая находится на одной производственной площадке с производством ШОС. Лаборатория выполняет комплексные исследования и оснащена современным немецким оборудованием, необходимым для контроля важных технологических свойств ШОС, таких как химический состав, CaO/SiO_2 , вязкость, температура размягчения, плавления, растекания. Компания внедри-

ла систему менеджмента качества и имеет сертификат общества TÜV ZUD Management Service GmbH. В рамках системы менеджмента качества в компании проводили аудиты крупные металлургические предприятия: ОЭМК, НЛМК, Северсталь, РосНИТИ. Компания включена в реестр одобренных поставщиков группы ТМК. В настоящее время разработана и внедряется интегрированная система менеджмента (ИСМ) согласно новым международным стандартам: ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, OHSAS 18001:2007. Компания имеет ряд преимуществ по сравнению с европейскими производителями смесей: грануляция ШОС, гибкость при выполнении заказов, непосредственная близость к крупным металлургическим предприятиям, которая позволяет поставлять смеси в короткий срок и сократить затраты за счет хранения смесей в собственных складских помещениях.

Подача ШОС в кристаллизатор может осуществляться либо оператором вручную определенными порциями через некоторые интервалы времени либо в автоматическом режиме с помощью специальных механизмов. Компания «Интокаст Рус» предлагает при подписании контракта на поставку смеси систему автоматической подачи ШОС в кристаллизатор. Автоматические системы обеспечивают стабилизацию условий литья, позволяют уменьшить удельный расход ШОС и потери смеси, уйти от субъективного влияния разлива на качество разливаемого проката, сократить затраты на упаковку.

Компания планирует расти и завоевывать наибольшую долю металлургического рынка, в настоящее время компания занимает примерно 30 %, но ее цель — увеличить долю металлургического рынка до 50–60 %.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ФУТЕРОВКИ ИНДУКЦИОННЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ



E-mail: vbdemidovich@mail.ru

© Д. т. н. **В. Б. Демидович** (✉), д. т. н. **И. И. Растворова**, **Ю. Ю. Перевалов**
Межотраслевая лаборатория «Современные электротехнологии» СПбГЭТУ «ЛЭТИ»,
Санкт-Петербург, Россия

Индукционный нагреватель мерных заготовок является одним из самых распространенных типов нагревателей, используемых в кузнечном производстве. Оптимизация конструктивных параметров индукционных нагревателей имеет цель — обеспечить высокие энергетические показатели. Большую роль при этом играет выбор толщины футеровки. С одной стороны, увеличение толщины футеровки приводит к снижению тепловых потерь и повышению термического КПД индукционной установки, с другой — к увеличению воздушного зазора между индуктором и загрузкой, что ведет к снижению электрического КПД. Поэтому существует оптимум толщины футеровки, обеспечивающий максимум полного КПД. Для широкого диапазона диаметров стальных заготовок на одномерной электротепловой модели определяли оптимальные толщины футеровки, обеспечивающие наивысший полный КПД индукционного нагревателя при работе на различных частотах.

Нагрев заготовок осуществляется до достижения средней по объему температуры 1200 °С при температурном перепаде по радиусу 100 °С. Средняя теплопроводность футеровки $\lambda_{\text{ср}} = 1,1 \text{ Вт/(м·К)}$, зазор между загрузкой и внутренней поверхностью футеровки составляет 1 см на каждую сторону. Исследования показали, что нагрев заготовок небольшого диаметра с позиций максимального КПД целесообразно осуществлять в индукторах с минимальной толщиной жаропрочной футеровки, обеспечивающей только защиту электрической изоляции индуктора. Предельный полный КПД нагревателя в зависимости от диаметра заготовки имеет максимум, который тем сильнее выражен, чем выше частота. Для каждой частоты существует диаметр заготовки, при котором обеспечивается максимальная производительность. Положение максимума полного КПД и производительность не зависят от температурного перепада. Естественно, что производительность П и предельный полный КПД тем выше, чем больше до-

пустимый конечный температурный перепад ΔT . Оптимальная толщина футеровки, обеспечивающая наибольший полный КПД, с повышением температурного перепада уменьшается.

Одной из важнейших особенностей технологии нагрева заготовок перед пластической обработкой является необходимость учета времени транспортировки от нагревателя к оборудованию деформации металла. Поскольку за время транспортировки температурные перепады выравниваются, то очевидно, что кузнечные индукционные нагреватели необходимо проектировать на

большой температурный перепад по радиусу заготовки, чем необходимый непосредственно перед обработкой давлением. Это дает возможность или сократить габариты нагревателя при той же производительности, или повысить производительность при тех же габаритах. Принято, что во время транспортировки тепловые потери обусловлены излучением, коэффициент черноты стали $\epsilon = 0,8$. Конечная температура поверхности заготовки при выходе из нагревателя $T_k = 1250^\circ\text{C}$. Для каждого диаметра заготовки можно указать время транспортировки, превышать которое нежелательно.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ЭЛЕМЕНТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ, ФУТЕРОВАННЫЕ ОГНЕУПОРНЫМИ БЕТОНАМИ

(✉)

E-mail: d.denisov@aliter.spb.ru

© К. т. н. **Д. Е. Денисов** (✉)

ООО «Алитер-Акси», Санкт-Петербург, Россия

Основное направление деятельности ООО «Алитер-Акси» — проектирование и изготовление трубчатых нагревательных печей для предприятий нефтепереработки и нефтехимии. Поставка печей осуществляется в виде футерованных теплоизоляционными бетонами крупногабаритных частей: блоков, панелей, газоходов, дымовых труб. Часто печи поставляются в виде предварительно смонтированных камер с установленными змеевиками. Максимальная температура в печах нагрева нефтяных фракций не превышает $900\text{--}1000^\circ\text{C}$. ООО «Алитер-Акси», как правило, использует для футеровки таких печей теплоизоляционные бетоны АЛАКС плотностью $0,5\text{--}0,9\text{ г/см}^3$.

Цилиндрические печи сжигания различных серосодержащих продуктов традиционно футеруют высокоглиноземистыми огнеупорными изделиями. Футеровочные работы проводят на месте эксплуатации после установки металлического корпуса в рабочее положение. Сегодня печи сжигания с бетонной футеровкой получают все большее распространение. ООО «Алитер-Акси» проектирует и изготавливает на своем производстве печи сжига-

ния с монолитной футеровкой «под ключ», что избавляет заказчика от выполнения сложных футеровочных работ. Внутренние слои из теплоизоляционных бетонов наносятся секторами при вращении металлического корпуса в горизонтальном положении. Рабочий слой укладывается заливкой в опалубку при вертикальном положении корпуса. В рабочем слое применяются бетоны с высоким содержанием цемента на основе табулярного глинозема или сфериокорунда, а также низкоцементные андалузитовые или муллитовые бетоны. Для армирования применяются металлические и керамические анкера. Изготовленная по такой технологии печь может транспортироваться на большие расстояния. ООО «Алитер-Акси» было изготовлено около 100 таких печей. Первые из них успешно эксплуатируются более десяти лет.

В установках каталитического крекинга пылевидный катализатор оказывает сильное истирающее воздействие на футеровку. ООО «Алитер-Акси» изготавливает циклоны, внутренние устройства реактора и регенератора, транспортные линии катализатора, газоходы с нанесенной абразивостойкой футеровкой.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ К ИЗУЧЕНИЮ РАЗРУШЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ ВО ВРЕМЯ СУШКИ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

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

ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

Одной из проблем использования неформованных огнеупоров (бетонов) в тепловых аппаратах при высокой температуре является возможность их разрушения, в том числе взрывного, во время принудительной сушки. Проведенные исследования дают основание предполагать, что за взрывное разрушение ответственна химически не связанная вода, оставшаяся на момент начала термообработки в закрытых порах материала. При этом взрывное разрушение может произойти после того, как давление паров воды в изолированных порах станет сравнимо с прочностью материала на разрыв. Было про-

анализировано влияние геометрии пор на соотношение давления паров воды в порах и прочности материала. Установлено, что в узкой поре может инициироваться рост разрушающей трещины при давлении паров воды в 7 и более раз меньше, чем предел прочности материала на разрыв, вследствие «концентрации напряжений». Давление паров воды, соизмеримое с прочностью материала, реализуется в огнеупорных бетонах в интервале $150\text{--}250^\circ\text{C}$. На практике разрушение бетона во время сушки как раз и наблюдается в указанном интервале температур.

В свете обозначенной проблемы поднимается вопрос о форме и пространственном распределении изолированных пор в огнеупорных бетонах для разработки режимов сушки материалов, обеспечивающих достаточное удаление влаги из изолированных пустот. Непосредственное изучение геометрических форм и трехмерной пространственной ориентации пор на существующем уровне развития техники не представляется возможным. В распоряжение исследователей в настоящее время могут поступить только информация об открытой пористости и кажущейся плотности материалов, а также данные ртутной порометрии и микроструктурного анализа. Опираясь этими данными, можно построить трехмерную модель поровой структуры материала. Для этого была применена теория протекания (перколяции), разработанная в середине XX века для моделирования электропроводности смесей проводников и изоляторов, однако ее положения в части законов пространственного распределения различных по свойствам компонентов систем могут быть успешно применены и к структуре многофазных керамических материалов.

В результате проведенного исследования с применением положений теории протекания было установлено, что в типичных бетонах большая часть пор образуют так называемый стягивающий кластер — непрерывную поровую структуру, которая выходит на противоположные грани изделия. Однако 10–20 % пор в современных бетонах являются закрытыми (замкнутыми), причем 2/3 из них оказываются крупными вытянутой формы (изолированными кластерами), а оставшиеся — мелкими сферической формы. Исследование графиков сушки материалов позволило определить скорость эвакуации влаги из открытых пор (стягивающего кластера) и изолированных. В последнем случае имеет место диффузия через слой твердого материала. Применение теории протекания позволяет определять расстояния между отдельными пустотами, т. е. расстояния, которые необходимо преодолеть влаге во время сушки.

Таким образом, математические методы позволяют строить модели структуры материалов, пригодные для расчета процессов диффузии и, соответственно, разработки безопасных режимов термообработки.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ НАГРЕВ ФУТЕРОВКИ
СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**

(✉)

E-mail: ylkats@gmail.com

© К. Т. Н. Я. Л. Кац^{1,2} (✉), К. Т. Н. М. В. Краснянский¹, К. Т. Н. Д. И. Юсупов³¹ АО АХК «ВНИИМЕТМАШ», Москва, Россия² ФГАУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия³ ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН» (ОИВТ РАН), Москва, Россия

В настоящее время на большинстве металлургических предприятий традиционно используются системы нагрева футеровки сталеразливочных ковшей газо-воздушными горелками. При этом средняя температура внутренней поверхности футеровки не превышает 1100 °С при низкой энергетической эффективности, а на аккумуляцию тепла футеровкой в технологическом цикле выплавки стали приходится около 70 % потерь тепла металлом. Альтернативой газо-воздушному является электрический нагрев. При использовании карбидкремниевых нагревателей сопротивления футеровка нагревается до 1400 °С, а при использовании плазменного нагрева возможен нагрев футеровки до температуры выпускаемого из сталеплавильного агрегата полупродукта стали.

С использованием разработанных авторами математических моделей был произведен расчет тепловых потерь металла во время 1-ч выдержки в 30-т ковше в зависимости от температуры его футеровки. Модели были верифицированы по результатам плавки в 30-т ДСП. Было показано, что повышение температуры футеровки на каждые 100 °С позволяет снизить температуру выпуска металла из ДСП на 11 °С, что эквивалентно экономии 4 кВт·ч электроэнергии на 1 т жидкой стали.

В лаборатории ОИВТ РАН был проведен эксперимент по плазменному нагреву периклазоуглеродистого (ПУ) огнеупора. В ходе эксперимента непрерывно измеряли температуру огнеупора термодарами, расположенными на разных расстояниях от нагреваемой поверхности. С использованием спектральных измерений была определена

температура электронов в плазменном разряде, что позволило рассчитать излучаемую им мощность, равную 130 кВт. Расстояние от оси разряда до поверхности огнеупора составляло 150 мм, а ток разряда 1000 А. За 22 мин нагрева температура поверхности ПУ огнеупора достигла 663 °С.

Была разработана математическая модель плазменного нагрева, повторяющая параметры экспериментальной установки. Плазменная дуга моделировалась как объемный источник тепла с заданной постоянной мощностью. В модели учитывали теплообмен между ПУ-огнеупором и защитной шамотной футеровкой камеры. На внутренней поверхности футеровки ковша было принято граничное условие 3-го рода с учетом конвекции и излучения. Модель адаптировали, варьируя величины теплопроводности и степени черноты ПУ-огнеупора для фактического диапазона температур.

Результаты эксперимента показали возможность плазменного подогрева футеровки сталеразливочных ковшей, а также подтвердили трудности моделирования процессов сушки и подогрева при изменяющихся теплофизических свойствах ПУ-огнеупоров. По результатам эксперимента средняя объемная скорость нагрева ПУ-огнеупора составила около 600 °С/ч. Высокотемпературный электрический нагрев футеровки ковшей позволяет легко регулировать состав атмосферы в ковше при сушке и нагреве; снизить расход электроэнергии на выплавку стали в ДСП; уменьшить окисленность стали и, следовательно, расход раскислителей и легирующих; снизить расход огнеупоров; уменьшить выбросы CO₂ при производстве стали.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА ПОДОВЫХ БЛОКОВ И ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АЛЮМИНИЯ

(✉)

E-mail: info@ndtest.ru

© **Е. З. Коварская**¹, д. т. н. **И. Б. Московенко**¹ (✉), д. т. н. **А. И. Потапов**², **М. С. Шадрин**¹¹ ООО «ЗВУК», Санкт-Петербург, Россия² ФГБОУ ВО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Ранее было показано, что работы по неразрушающему контролю целесообразно проводить в рамках целевой научно-технической программы «Неразрушающий контроль качества и диагностика изделий из углеродных материалов». Для оценки экономической целесообразности использования указанного акустического метода контроля следует дополнительно оценить существующий в настоящее время диапазон физико-механических свойств и качества катодных блоков и обожженных анодов, поставляемых на заводы ОК «РУСАЛ» в разное время различными производителями.

Проведенные в 2016 г. с использованием современных измерителей частот собственных колебаний «Звук-203М» тестовые работы по испытанию акустического метода применительно к контролю подовых блоков и аналогичные работы по оценке возможности определения физико-механических свойств и дефектоскопии образцов катодных и анодных блоков, проведенные в сентябре 2016 г. в условиях АО «РУСАЛ Красноярск», по нашему мнению, подтвердили ранее установленную возможность и целесообразность использования для контроля углеродных изделий акустического метода, основанного на измерении частот собственных колебаний (ЧСК). Продолжение выполненных ранее работ на новом, современном уровне, на наш взгляд, может способствовать повышению эффективности использования

углеродной продукции, применяемой в настоящее время при производстве алюминия.

В качестве объектов контроля были предоставлены три комплекта блоков из двух технологических партий (15 шт. блоков в каждом комплекте). Все блоки были приняты ОТК поставщика как годные и собраны в комплекты для монтажа электролизеров. При контроле блоки устанавливали на двух деревянных опорах, как принято при складировании, специальные условия для оптимизации возбуждения различных видов колебаний не создавались. Блоки располагались друг над другом по 3–4 шт. в штабеле. На всех блоках были измерены ЧСК по методикам, аналогичным ранее разработанным для контроля указанных изделий, определены скорости распространения акустических волн C_l по результатам этих измерений и звуковые индексы ЗИ (по ГОСТ 25961–83 и ГОСТ Р 52710–2007). Значения ЗИ всех комплектов лежат в интервале от ЗИ25 до ЗИ29. Различия физико-механических свойств блоков, выраженных в ЗИ, внутри каждого комплекта из обеих партий не превышает двух звуковых индексов. Полученные данные уже позволяют дать предварительные рекомендации по монтажу электролизеров — не устанавливать рядом блоки с максимально различающимися характеристиками (в рассмотренном случае с ЗИ25 и ЗИ29).

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

АРХИТЕКТУРА КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФРАКЦИОННОГО И ФАЗОВОГО СОСТАВА ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ

(✉)

E-mail: chemic@yandex.ru

© К. т. н. **В. В. Козлов**, д. т. н. **С. А. Суворов** (✉), д. т. н. **Т. Б. Чистякова**,
к. т. н. **И. В. Новожилова**

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

В условиях интенсивного развития ресурсо- и энергосберегающих технологий возрастает производство неформованных огнеупоров, в том числе огнеупорных бетонов, что связано с их технологичностью и невысокой себестоимостью. В настоящее время растет интерес к низкоцементным огнеупорным бетонам на основе системы $Al_2O_3-SiO_2-SiC-C$ с высокоглиноземистым цементом в качестве связующей системы, модифицированным различными добавками, например алюмомагнезиальной шпинелью. Такие материалы демонстрируют высокий ресурс при работе на контакте с расплавами стали, чугуна и шлаков и находят широкое применение в футеровке агрегатов черной металлургии. Эксплуатационные свойства огнеупорного материала существенно зависят от формирующихся при высокой температуре микроструктуры и фазового состава. При этом существует проблема недостаточной изученности фазообразования в системе $CaO-MgO-Al_2O_3-$

$SiO_2-FeO-Fe_2O_3$, которая представляет значительный интерес при изучении свойств неформованных огнеупоров, огнеупорных бетонов и систем шлак – огнеупорный бетон. Таким образом, актуальной и экономически обоснованной является задача создания компьютерной системы, позволяющей на базе математической модели прогнозировать равновесный фазовый состав огнеупорных материалов в многокомпонентной системе, а также оптимизировать фазовый и компонентный составы огнеупорных бетонов. Архитектура системы имеет адаптивную структуру, благодаря которой поддерживается расширение функциональности за счет подключения дополнительных программных модулей. Информационное обеспечение системы включает базу данных химического состава, физико-механических параметров, методов контроля качественных показателей неформованных огнеупоров, базу данных марок, технических требований огнеупорных

заполнителей и базу данных лабораторных регламентов. Математическое обеспечение включает библиотеку математических моделей, позволяющих исследовать влияние морфологии и дисперсного состава зернистых материалов и порошков на относительную плотность огнеупорных бетонов, а также влияние фактора формы частиц и полидисперсности на формирование матричных структур в объеме материала. Модуль проведения вычислительных экспериментов позволяет определять оптимальное соотношение компонентов известного фракционного состава для приближения гранулометрического состава смеси заполнителей к эталонной кривой просеивания. Правильное соотношение компонентов зернового состава заполнителя снижает пустотность системы и эффективно влияет на прочность получаемого бетона. Подсистема логического вывода решений по выбору состава неформованных огнеупоров позволяет документировать лабораторные регламенты новых материалов с высокоэффективными свойствами.

Проведенное тестирование компьютерной системы на примере проектирования состава огнеупорных бетонов на основе системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC--C}$ подтвердило ее работоспособность и возможность использования в режиме советчика для комплексного исследования и изучения свойств огнеупорных материалов. Система предназначена для инженеров-исследователей в области испытаний и контроля свойств огнеупоров, а также инженеров-технологов предприятий огнеупорной промышленности. Использование компьютерной системы позволяет прогнозировать оптимальное соотношение фракционного и фазового составов огнеупорных изделий, получать более плотную упаковку частиц и структуру материала, устойчивую к воздействию агрессивных реагентов, что улучшает реологические, физические и эксплуатационные характеристики огнеупорных бетонов, а также позволяет экономить финансовые и временные затраты на разработку новых рецептур неформованных огнеупоров.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ОГНЕУПОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ФАКТОР ПРОИЗВОДСТВА
«ЧИСТОЙ СТАЛИ»

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. т. н. **И. В. Кушнерёв**¹, к. т. н. **Л. М. Аксельрод**² (✉)¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

Развитие технологий требует от производителей металлопродукции разработки новых высокочистых материалов, отвечающих возрастающим требованиям к надежности в эксплуатации и экономичности в применении. Производство стали — основного конструкционного материала — непрерывно совершенствуется в данном направлении. Рассматривая огнеупорные материалы и изделия в качестве фактора производства «чистой стали», можно выделить их влияние на загрязненность металлопродукции неметаллическими включениями и газами. Огнеупоры могут не только быть источником загрязнения металла в результате эрозии и коррозии, но и управлять процессом загрязнения этого расплава за счет организации его защиты от контакта с атмосферой, переноса неметаллических включений на контакт с сорбирующими активными поверхностями.

Теоретические расчеты и практические исследования показывают возможность влияния состава футе-

ровки на преобладающий тип неметаллических включений в стали. Ограничение поступления кислорода путем отсечки ковшевого шлака на выпуске металла в сталеразливочный ковш, а также защита от вторичного окисления в процессе разливки, реализуемые с использованием огнеупорных изделий, являются важнейшими элементами технологии производства «чистой стали». Применение продувочных блоков, металлоприемников, перегородок для промежуточных ковшей МНЛЗ, в том числе со вставками для подвода инертного газа, стало неотъемлемой частью современного производства.

Использование при разливке специализированного оборудования — газоплотных шибберных затворов, рациональный выбор технологии изготовления футеровки промежуточных ковшей МНЛЗ позволяют снизить поступление в расплав газов из атмосферы и непосредственно из футеровки.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ

(✉)

E-mail: ikushnerev@magnezit.com

© К. т. н. **И. В. Кушнерёв**¹ (✉), к. т. н. **Л. М. Аксельрод**²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

В современной промышленности моделирование процессов межфазного взаимодействия в высокотемпературных системах становится фактически стандартным этапом проектирования футеровки различных тепловых агрегатов, в которых непосредственное изучение химической коррозии затрудняется объективной сложностью организации эксперимента.

В отделе инжиниринга Группы Магнезит освоено применение программного пакета FactSage™, позволяющего выполнять расчеты термодинамических равновесий в многокомпонентных системах, строить фазовые диаграммы, оценивать вязкость в жидких шлаках и стеклах и др. Применение специализированного программного обеспечения делает возможным

как анализировать вероятные причины преждевременного износа футеровки, так и обосновывать выбор качества огнеупоров для футеровки тепловых агрегатов, модификаторов шлака или непосредственно шлаковых режимов, оптимальных с точки зрения решения металлургических задач и снижения удельного расхода

огнеупоров. Возможности моделирования могут быть использованы также для решения комплексных задач, связанных с чистотой стали по неметаллическим включениям как в процессе раскисления, так и в ходе последующего взаимодействия расплава и включений с футеровкой и шлаками.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СУШКИ И РАЗОГРЕВА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ КОВШЕЙ СОРТОВОЙ МНЛЗ ККЦ-2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

(✉)

E-mail: denis.krutikov@weerulin.de

© И. В. Лобанова¹, А. В. Календа¹, А. В. Амелин¹, д-р. Р. Фехнер², У. Голла², Д. В. Крутиков² (✉), д-р. П. Вольф², К. Бельмаз², А. А. Гончаров³¹ АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия² Компания «Weerulin-Corwintec», г. Мюльхайм-на-Руре, Германия³ ООО «Энерготехсинтез», г. Красногорск Московской обл., Россия

Компания «Weerulin» производит с 1968 г. огнеупорные изделия и массы на основном предприятии в г. Мюльхайм-на-Руре. В 2015 г. было создано СП «Weerulin-Corwintec». Накопленный многолетний опыт позволяет решать сложные технические задачи, улучшать качество продукции и совместно с партнерами вести взаимовыгодное сотрудничество.

Для обеспечения высокой оборачиваемости, стойкости и теплоизоляционных свойств футеровка промежуточных ковшей выполняется из нескольких слоев огнеупорного материала. Согласно одной из утвержденных схем футеровки в ЕВРАЗ ЗСМК футеровка промежуточных ковшей состоит из теплоизоляционного слоя — теплоизоляционной массы FORISOV, арматурного слоя — саморастекающегося высокоглиноземистого бетона FORZreadyflow и рабочего слоя — торкрет-массы периклазо-оливинового состава FORRALZFB. Следует отметить, что использование торкрет-масс периклазо-оливинового состава предусматривает смешивание сухой торкрет-массы с необходимым количеством воды.

При мокром способе напыления торкрет-массы в ЕВРАЗ-ЗСМК применяется технологическая операция сушки футеровки на воздухе, затем на стенде сушки до температуры около 325 °С и непосредственно перед разливкой стали, разогрев футеровки на стенде до температуры 1100 °С. Технология торкретирования, сушки и разогрева футеровки промежуточного ковша перед подачей на стенд разливки оказывает большое влияние на процесс удаления остаточной влажности.

Несоблюдение этой технологии, а также несовершенство конструкции промежуточных ковшей и эксплуатации огнеупорных материалов могут привести к скапливанию влаги в футеровке промежуточного ковша и интенсивному выделению воды. При пуске новой МНЛЗ необходимо было подтвердить эффективность графиков сушки-разогрева. Неполное удаление влаги приводит к ее накоплению, что может впоследствии быть причиной «вскипания» плавки и прерывания серии разливки.

Цель данной работы — исследование оптимального температурного режима разогрева промежуточных ковшей МНЛЗ ЕВРАЗ ЗСМК перед разливкой и разработка рекомендаций по улучшению процесса подготовки промежуточных ковшей. Подготовку промежуточных ковшей осуществляли в соответствии с действующей технологической инструкцией. Для исследования температурного режима были выделены два промежуточных ковша. Температуру измеряли с помощью лазерного термометра на поверхности торкрет-слоя после торкретирования и с помощью цифрового 12-канального измерительного прибора модели PCE-T 1200 с использованием NiCr-Ni термопар с температурным диапазоном измерений от -220 до +1150 °С. Термопары были установлены в различных зонах футеровки в соответствии с утвержденной схемой; основные точки измерения были выбраны непосредственно на арматурном и в рабочем слое торкрет-массы.

На основе полученных данных были построены графические зависимости температуры в контрольных точках футеровки от времени разогрева. Определена продолжительность процесса испарения остаточной влаги из футеровки промежуточного ковша в процессе разогрева. Специалистами компаний «Weerulin-Corwintec», «Энерготехсинтез», а также ЗСМК были разработаны рекомендации по оптимизации процесса торкретирования промежуточных ковшей, выбору оптимальной температуры арматурного слоя футеровки перед торкретированием, внесению изменений в конструкцию брони промежуточного ковша и внедрению процесса профилактической сушки арматурного слоя футеровки 1 раз в квартал по разработанному графику. На основании полученных результатов на ЗСМК были внесены изменения в технологическую инструкцию, касающиеся режимов сушки и разогрева, а также добавлена операция профилактической сушки арматурного слоя футеровки промежуточных ковшей. Внесенные изменения в режимы сушки и разогрева позволили исключить накопление остаточной влаги в футеровке промежуточных ковшей.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ
ТЕРМОИЗНОСОСТОЙКИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТУРБОМАШИН**

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. Т. Н. **В. Н. Макаров**¹, К. Т. Н. **В. В. Макаров**², **И. А. Волежанин**³, **В. А. Чуркин**¹ (✉)¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия² ООО «Вентиляция Экология Безопасность», г. Екатеринбург, Россия³ ООО СКБ «Мысль», г. Екатеринбург, Россия

На предприятиях строительной индустрии, производства цемента и огнеупорных материалов широко используются турбомашины как в основном, так и во вспомогательных технологических процессах. Улучшение качества продукции стройиндустрии, снижение издержек производства, повышение его эффективности в значительной степени определяются соответствием функциональных и физико-механических свойств материалов, из которых изготавливают рабочие органы турбомашин, требованиям технологических процессов.

Композиционные материалы, футеровка из композиционных материалов, композитные покрытия и ремонтные составы — важная составляющая в технологии производства турбомашин с заданными функциональными и физико-механическими свойствами их рабочих органов. Применение композиционных материалов способствует существенному росту аэродинамической нагруженности турбомашин, позволяя повысить скорость вращения рабочих органов до 220–250 м/с, снизив тем самым их габариты.

Выполнена комплексная работа по исследованию, проектированию, изготовлению и испытаниям рабочих лопаток осевых вентиляторов и колес радиального типа из композиционных материалов. Расчет напряженно-деформированного состояния рабочей лопасти осевого вентилятора диаметром 2,4 м, выполненный с использованием программы APM Structure 3D, показал, что уровень численных значений напряжений ни в одном расчетном случае не превысил допускаемых значений, а запас прочности превысил 200 % — для самого критичного случая нагружения лопаток. При этом рассчитывали различные варианты изготовления лопаток: обычный, усиленный и облегченный (пустотелый). В соответствии с этими вариантами была разработана технология изготовления лопаток, включающая вариант как ручного ламинирования при единичном или мелкосерийном производстве, так и массового производства методом прессования. Прове-

дены испытания лопаток на термостойкость, электро- и искробезопасность, а также прочностные испытания композита с различным типом армирующего материала (рогожа, стеклоткань, стекломат, ровинг) на соответствие требуемым критериям прочности. Изготовленные лопатки для разных типов вентиляторов испытывали на разрывном стенде, имитирующем действие центробежных нагрузок при вращении ротора турбомашины. Испытания подтвердили результаты расчетов и показали высокую прочность лопаток, многократно превышающую требуемые прочностные характеристики для реальных условий эксплуатации.

Отдельная тема исследований — внедрение рабочих колес центробежных вентиляторов из специальных композиционных материалов для работы с агрессивными рабочими средами. Разработана конструкция, проведены сертификационные, в том числе аэродинамические, испытания центробежного вентилятора, полностью выполненного из композитов, включая рабочее колесо, корпус, раму. Отпадает необходимость в электрозащите конструкции вентилятора, поскольку материал обладает необходимой диэлектрической прочностью и защищает от несанкционированного перехода напряжения на конструкцию. Среди достоинств конструкции следует отметить также снижение массы вентилятора, отсутствие искрообразования в паре рабочее колесо – корпус вентилятора, эргономичность, коррозионную стойкость и хорошую ремонтпригодность.

Перспективно широкое внедрение вентиляторов из специальных композиционных материалов на предприятиях строительной индустрии взамен нержавеющей, алюминиевых, титановых, биметаллических, традиционно применяемых для работы с агрессивными газами и смесями. В целом эффект внедрения рабочих органов турбомашин из композиционных материалов на предприятии по производству базальтобетонных изделий снижает себестоимость производства на 15 %.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

**ОКСИДНО-УГЛЕРОДИСТЫЕ ОГНЕУПОРЫ — ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ
МОДЕЛЬ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТОВ**

(✉)

E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. Г.-М. Н. **В. А. Перепелицын**¹ (✉), Д. Т. Н. **О. Ю. Шешуков**¹, Д. Т. Н. **Ф. Л. Капустин**¹,К. Т. Н. **А. В. Яговцев**², К. Т. Н. **К. Г. Земляной**¹¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия² ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

Многолетний сравнительный анализ различных фазовых и структурных превращений минерального вещества в углеродсодержащих огнеупорах (УСО), с одной стороны, и в рудно-восстановительных и других печах — с другой, показал принципиальную аналогию многих физико-химических процессов, протекающих в футеровке и пирометаллургических агрегатах (ПМА). Ана-

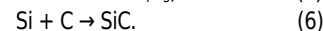
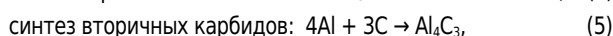
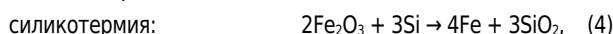
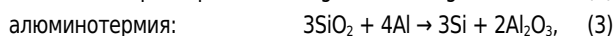
логии обусловлены определенным совпадением функциональной сущности компонентов шихты ПМА (руда и другие сырьевые материалы, восстановитель, флюс, добавки) и УСО (оксидный материал, восстановитель в виде углерода, металла или сплава, добавки), близкими температурными условиями, составом внутренней газовой среды (низкое парциальное давление кислорода),

термодинамикой и кинетикой некоторых процессов во всех агрегатных состояниях веществ.

При службе в сталеплавильных агрегатах в УСО формируется специфическая зональность, которая имеет окислительно-восстановительный генезис с формированием зон восстановления и окисления. В зоне восстановления УСО выявлен ряд процессов, детально изученных в плавильных агрегатах с восстановительной средой: прямое — твердым углеродом и косвенное — газообразным СО карботермическое восстановление металлов из оксидов и силикатов, металлотермическое восстановление компонентов шихты антиоксидантами (алюминий, кремний, сплавы Al, Mg, Si и др.). В результате интенсивного внутреннего карботермического и металлотермического восстановления внутри каждого УСО происходят: частичное превращение огнеупорных оксидов в металлическую фазу, например $\text{MgO} + \text{C} \rightarrow \text{Mg} + \text{CO}$; образование низших оксидов $\text{SiO}_2 + \text{C} \rightarrow \text{SiO} + \text{CO}$; синтез вторичных карбидов, оксикарбидов, нитридов и оксинитридов ($\beta\text{-SiC}$, TiC , Al_4C_3 , Al_2OC и др.) и газофазный износ футеровки вследствие испарения огнеупорных соединений и окисления углерода. Безусловно, внутренние окислительно-восстановительные реакции усиливаются внешним массообменом футеровки с реагентами ПМА, что приводит к резкому снижению стойкости и в конечном итоге ее полному износу. Собственные легкоплавкие примеси в сочетании с продуктами окисления антиоксидантов (особенно SiO_2) и привнесенными из плавильного пространства реагентами в окисленной (обезуглероженной) зоне являются своеобразными флюсами, интенсифицирующими износ футеровки. Таким образом, в УСО, как и во многих ПМА, содержатся равнозначные функциональные компоненты: исходный высокоогнеупорный материал (руда), восстановители (углерод, металлы, сплавы),

флюсы (CaO , CaF_2 и др.) и происходят в них аналогичные по своей физико-химической природе окислительно-восстановительные реакции.

В качестве типичного примера установленных аналогий приведем процессы при службе алюмопериклазоуглеродистых (АПУ) изделий в футеровке агрегатов ковш-печь. В АПУ-изделиях, содержащих в виде свободных элементов углерод, алюминий и кремний, протекают следующие главные фазовые превращения ($>1600^\circ\text{C}$):



Аналогичные процессы осуществляются в сталеплавильных агрегатах и ферросплавных печах, например при выплавке углеродистого и низкоуглеродистого феррохрома способом карботермии и алюминотермии соответственно.

Следовательно, каждый оксидноуглеродистый огнеупор является в определенной степени физико-химической моделью металлургического агрегата с восстановительной средой. Реакции (1)–(6) оказывают негативное влияние на износоустойчивость футеровки. В то же время эти реакции способствуют повышению эффективности работы и производительности плавильных печей. Модельная концепция сравниваемых объектов позволяет использовать их общие фазово-структурные, термодинамические, кинетические и другие теоретические положения для диагностики причин, определения механизма разрушения футеровки в службе и создания новых высокоизносоустойчивых огнеупоров.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: pva-vostio@bk.ru

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

В современных условиях для устойчивого развития каждого огнеупорного предприятия необходимо учитывать следующие базовые факторы: а — геохимические (доступность сырья в литосфере, гидросфере и атмосфере); б — термоэнергетические (относительная износоустойчивость с позиций термодинамики, кристаллохимии и теплофизики минерала и (или) соединения); в — технологические (наличие эффективного способа переработки сырья); г — экономические (соотношение: показателей себестоимости, цены и качества продукции); д — экологические (воздействие на здоровье человека в частности и на биосферу в целом).

В России 2017 г. объявлен годом экологии. В связи с этим рассмотрены некоторые экологические проблемы огнеупорного производства. Современное состояние и тенденции развития технологии огнеупоров существенно влияют на экологию как при производстве у изготовителя, так и у потребителя огнеупорной продукции. Это

обусловлено значительным увеличением неформованных и безобжиговых видов продукции с использованием многочисленных органических связующих, содержащих в различной концентрации соединения, относящиеся к веществам повышенной экологической опасности (например, бенз(а)пирен, фенол, формальдегид, фурфуроловый спирт и др. согласно ГОСТ 12.1.005. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны). Эти токсичные органические соединения оказывают аллергенное воздействие, а наиболее опасное вещество — бенз(а)пирен является канцерогеном. Для оздоровления рабочей зоны изготовителя и потребителя необходима термообработка оксидно-углеродистых изделий при температурах коксования органического связующего с дожиганием выделяющихся токсичных паров и газов. Особенно много бенз(а)пирена содержится в каменноугольных смолах и пеках, ранее широко применяемых при изготовлении желеобразных и леточных масс в доменном производстве. В на-

стоящее время каменноугольный пек заменяют другими, менее экологически вредными углеродистыми связующими, например продуктом Carbores (производитель фирма «Rueters-Gruppe», Германия), в котором содержание бенз(а)пирена менее 500 ppm. Наибольшее негативное воздействие на экологическую ситуацию в производстве оказывают дисперсные пыли и органические вещества, обладающие аллергенными, фиброгенными и особенно канцерогенными свойствами.

Среди неорганических сырьевых материалов явно преобладают наименее опасные минералы, относящиеся к четвертому классу опасности: корунд, глинозем, графит, периклаз, шпинель, карбид кремния, боксит, бадделит, рутил и др. Большая часть огнеупорных минералов, содержащих кварц или другие модификации кремнезема (тридимит, кристобалит, кварцевое стекло), а также оксид хрома Cr_2O_3 и все кремнеземистые породы (кварцит, опока, трепел, диатомит) и шамот, входят в список вредных аэрозолей (пыль) третьего класса с предельно допустимой концентрацией (ПДК) от 1 до 10 мг/м³ в воздухе рабочей зоны. Тонкодисперсная пыль минеральных веществ третьего и четвертого классов опасности при длительном вдыхании вызывает пневмокониозы (сили-

коз, асбестоз, антракоз и т. п.). В современном огнеупорном производстве началось применение ультрадисперсных (наноразмерных) порошков и сухих огнеупорных смесей, что ухудшает экологию как у изготовителя, так и у потребителя неформованных огнеупоров. В этом случае требуется компромиссное техническое решение: максимальная аспирация при минимальном пылеуносе.

В последние годы особое внимание уделяется производству биорастворимого огнеупорного волокна и теплоизоляционных изделий на его основе. Выпускаемое ранее в больших объемах биостойкое муллитокремнеземистое волокно в странах Западной Европы заменяется биорастворимым с нулевым канцерогенным воздействием. Жесткие экологические требования к огнеупорам предъявляют потребители. Например, резкое снижение спроса на периклазохромитовые изделия произошло у цементников в связи с наличием в них канцерогенного шестивалентного хрома.

Экологическая безопасность производства и потребления огнеупоров в настоящее время имеет важное значение в условиях острой конкуренции на рынке огнеупоров, предопределяет состав, ассортимент сырья и «чистую» технологию производства огнеупорной продукции.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

(✉)
E-mail: de7482@mail.ru

© Д. т. н. **Б. Н. Сатбаев**, д. т. н. **А. И. Кокетаев**, **Э. О. Аймбетова** (✉), **Н. Т. Шалабаев**,
С. Б. Сатбаев

РГП «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья
Республики Казахстан», г. Астана, Республика Казахстан

По данным Агентства РК по статистике, в нашей стране в 2015 г. из 74679,5 тыс. т образованных опасных отходов переработано и вторично использовано всего 5456,1 тыс. т, т. е. 7,3 % отходов, в 2014 г. — 2,8 %, в целом за последние 5 лет — не более 4,6 %, т. е. связанные с отходами экологические проблемы не решаются. Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих экологически чистых инновационных технологий, обеспечивающих совершенствование производства композиционных материалов на базе отходов металлургических производств, одновременно приводят к снижению себестоимости готового товарного продукта, решают проблемы утилизации применяемых отходов и являются одной из основных задач исследования.

Применение отходов металлургической промышленности в производстве химически стойких и огнеупорных материалов стало возможным благодаря созданию многокомпонентных составов, в том числе и керамических масс, в частности за счет введения добавок, регулирующих свойства формовочных смесей и готовой продукции, а также изменения технологии подготовки сырья.

Основу (75 %) получаемой огнеупорной массы составляют наполнители, являющиеся техногенными отходами металлургической промышленности, электрокорунд, являющийся отходом электрометаллургического производства ниобия, шлаки феррохрома и производства ферросилиция, шлаки электротермофосфорные гранулированные. При введении компонентов смеси в определенных соотношениях и соответствующем фракционном составе обеспе-

чиваются условия более плотного заполнения пространства между частицами смеси и получения однородной пластичной массы за счет добавки местной огнеупорной глины. За счет специально подобранного оптимального фракционного состава обеспечиваются полное протекание процесса самоспекания и оптимальное заполнение пространства между компонентами смеси, способствуя тем самым получению термостойкого, плотного и прочного материала. Увеличение размеров гранул более 1 мм приводит к возрастанию пористости массы и, соответственно, разрушению в агрессивных средах.

Формирование структуры огнеупора происходит с появлением соответствующих расплавов, образуя высокоплотные и высокопрочные соединения, приводящие к цементации, уплотнению и омоноличиванию частиц шлаков, и, следовательно, образуя более прочный конгломерат с повышенной химической стойкостью и механической прочностью, огнеупорностью до 2000 °С. Благодаря уникальному сочетанию таких свойств, как высокие химическая стойкость (до 98 %), огнеупорность (≤ 2000 °С), низкое водопоглощение (до 5 %), предел прочности при сжатии (163–170 МПа), при изгибе (22–24 МПа), термостойкость 1300 °С – вода (5–25 °С) до появления трещин 17–19, до разрушения 22–23 теплосмены. Разработанные новые составы химически стойких и огнеупорных материалов имеют спрос на ряде металлургических и химических предприятий Казахстана. Немаловажно и то, что попутно утилизируются отходы этих предприятий.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ТЕХНОЛОГИЯ SLAG SPLASHING — РАДИКАЛЬНЫЙ ПУТЬ ЭКОНОМИИ ДОРОГОСТОЯЩИХ ОГНЕУПОРОВ ФУТЕРОВКИ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

(✉)

E-mail: victoriano090691@gmail.com

© **В. О. Синельников** (✉), д. т. н. **Д. Калиш**

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

Ликвидация загрязняющих производств, борьба с отходами и выбросами в окружающую среду — эти меры оздоровления окружающей среды предусмотрены Киотским протоколом. Повышение требований и ужесточение законов, касающихся экологии, а также металлургического оборудования, в том числе кислородных конвертеров, и технологии выплавки стали, привели к тому, что производители стали ищут конструктивные решения и принимают меры по совершенствованию уже существующих технологий, снижая тем самым конечную стоимость выплавки стали. Одно из таких решений — технология разбрызгивания остаточного шлака сверхзвуковыми одно- и двухфазными струями, мощность которых достигает 4 МВт. При этом в кислородный конвертер опускают водоохлаждаемую фурму, через которую подают азот, и продувают конечный шлак. Длительность этого процесса 2–3 мин. Однако, как показали расчеты, намного эффективней использовать не штатную водоохлаждаемую фурму, конструкция которой значительно сложнее, а газоохлаждаемую. При этом фурма превращается в так называемый теплообменник, нагревая при этом поток азота или газовзвеси, что, в свою очередь существенно повысит скорость потока газа и, что более важно, приведет к возрастанию кинетической энергии истекающих струй в полость конвертера в 3,5 раза.

Зачастую футеровка кислородных конвертеров состоит из смолодоломитовых огнеупоров (35–50 % MgO, 45–60 % CaO) из недорогого природного сырья — доломита, смолодоломитомagneзитовых (50–85 % MgO, 10–45 % CaO) из доломита с добавкой более дорогого магнезита и реже смолмагнезитовых (>85 % MgO) из дорогостоящего магнезита.

Некоторые исследователи отмечают положительный эффект при использовании газопорошковой раздувки шлака. При этом в фурму подают смесь азота и магнезисодержащих веществ (реже измельченные до определенного диаметра раздробленные части старой футеровки), что позволяет значительно улучшить химическое сродство между футеровкой и специально подготовленным шлаком.

Одной из главных проблем при раздувке шлака в кислородном конвертере является вязкость шлака. Известно, что эффективность формирования шлакового гарнисажа и его толщина строго зависят от ряда условий, одним из которых является снижение вязкости. Многие металлургические предприятия, использующие раздувку шлака, просто закрывают глаза на вязкость перед разбрызгиванием, что не удивительно: ведь вязкость шлака описывается сложной функцией, учитывающей его состав, температуру и парциальное давление кислорода в системе. Обычно шлаки содержат 4–5 основных компонентов, которые оказывают комплексное воздействие на вязкость, поэтому определение вязкости такого многокомпонентного вещества, как шлак, является сложной задачей. Имеется несколько моделей расчета вязкости конвертерных шлаков, описано моделирование, позволяющее определить динамическую вязкость в зависимости от химического состава и температуры шлака.

Следует отметить, что это далеко не все проблемы раздувки шлака. Освоение этой технологии затянулось на долгие годы; при этом остается еще ряд вопросов, для разрешения которых приходится сталкиваться с рядом физических параметров и воздействий.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

РАЗВИТИЕ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗОНЫ СПЕКАНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

(✉)

E-mail: jszczerb@agh.edu.pl

© **Я. Щерба** (✉), **Э. Снежек**

«AGH» Научно-технический университет, г. Краков, Польша

В последнее время большая часть рынка формованных огнеупоров представлена магнезиальными изделиями и их модификациями (содержащими преимущественно MgO). В течение последних десятилетий продолжалось развитие магнезиальных материалов для футеровки высокотемпературных зон цементных вращающихся печей. Это было связано с изменениями в технологии производства цемента, введением новых технических решений, заменой традиционного топлива на альтернативное, а также с экологическими проблемами. Развитие огнеупорных материалов, применяемых в футеровке зоны спекания цементных вращающихся печей, сильно зависит от динамики изменений, происходящих в цементном производстве.

Модифицированные магнезиальные огнеупоры широко используются в различных областях. В цементном производстве условия службы огнеупоров в высокотемпературных зонах печей особенно тяжелые, в результате чего возникает преждевременный износ огнеупоров из-за высокотемпера-

турной химической коррозии на границе между футеровкой, шихтой и атмосферой рабочей зоны. Кроме того, футеровка может истираться движущейся шихтой. Износ огнеупоров футеровки далее усугубляется механической нагрузкой и агрессивными составляющими альтернативных видов топлива, включая частицы тяжелых металлов. Следовательно, необходим непрерывный поиск новых решений для достижения оптимального срока службы футеровки.

За последние 100 лет огнеупоры для футеровки зон спекания вращающихся печей для производства цементного клинкера являются предметом постоянного изменения и модифицирования. Первые магнезиальные огнеупорные материалы были использованы в 1950-х годах, и их разные модификации используются до сих пор. В настоящей работе описаны наиболее важные стадии развития огнеупорных материалов, используемых в зоне спекания вращающихся печей для производства цементного клинкера. Описание начинается с алюмосиликатных и высокоглиноземистых

огнеупоров, далее следуют магнезиальные, магнезиально-хромистые, магнезиальношпинельные и магнезиальноциркониевые огнеупорные материалы. Представлены также текущая ситуация и будущие перспективы отрасли.

Работа выполнена при поддержке уставных фондов 11.11.160.617 факультета материаловедения и керамики Научно-технического университета в Кракове, Польша.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УТИЛИЗАЦИЯ ВСКРЫШНЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД БАЙНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(✉)
E-mail: htko@yandex.ru

© Д. т. н. **И. Д. Кашеев**, **А. Э. Глызина**, **Е. В. Шахова**, **Е. В. Кушкина**, К. т. н. **И. А. Павлова** (✉)
ФГАУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Рассмотрена возможность получения искусственных пористых заполнителей на основе вскрышных пород огнеупорных глин Байновского месторождения (г. Сухой Лог Свердловской обл.). Вскрышные породы Байновского месторождения не используют в производстве. Установлено, что вскрышные глинистые породы Байновского месторождения относятся к кислому сырью с высоким содержанием красящих оксидов. Содержание оксидов, мас. %: SiO_2 65,84, Al_2O_3 10,64, Fe_2O_3 6,46, RO 6,45, R_2O 3,09; $\Delta t_{\text{прк}}$ 6,18. По данным рентгенофазового и дифференциально-термического анализов установлено, что глина преимущественно сложена на монтмориллонитом, кварцевым песком и доломитом.

Вскрышные глинистые породы пригодны для получения искусственных пористых заполнителей. Глина относится к слабовспучиваемому глинистому сырью ($K_{\text{всп}} < 2,5$). При введении органических добавок (например, отработанного технического масла) $K_{\text{всп}}$ возрастает до

3,3, при этом температура вспучивания составляет 1200 °С. Введение других органических веществ (керосина в количестве ~0,5 %) приводит к снижению плотности гранул от 0,82 до 0,61 и 0,57 г/см³ соответственно. Более эффективному вспучиванию способствует введение технического масла в сравнении с керосином.

Так, при введении 0,2 % технического масла можно получить пористые заполнители со средней плотностью $\rho_{\text{ср}} = 0,80$ г/см³, прочностью 4,2 МПа (марка П150) и насыпной плотностью 490 кг/м³ (марка 500). При увеличении содержания технического масла до 0,5 % получают пористые заполнители со средней плотностью 0,57 г/см³, прочностью 1,1 МПа (марка П150) и насыпной плотностью 490 кг/м³ (марка 500). По результатам проведенных исследований разработана технология производства пористых заполнителей на основе вскрышных глинистых пород Байновского месторождения.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННОГО ЦИРКОНИЙСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

(✉)
E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. г.-м. н. **В. А. Перепелицын**¹ (✉), **В. Н. Мерзляков**², **В. В. Кочетков**², **Е. В. Панов**³

¹ ФГАУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ООО «Цеолит», г. Магнитогорск, Россия

³ ООО «ОгнеупорПромГрупп», г. Магнитогорск, Россия

Плавнелитые бадделеитокорундовые огнеупоры в настоящее время наиболее широко используются в ответственных участках кладки стекловаренных печей. В России ассортимент коррозионно-стойких изделий системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--SiO}_2$ представлен марками бакор-33, бакор-37 и бакор-41, в которых особенно дефицитным и ценным компонентом является диоксид циркония.

На одну тонну бакоровых изделий расходуется 0,52–0,55 т цирконового концентрата, 0,50–0,53 т глинозема, 0,07–0,18 т диоксида циркония. Поэтому производство бакоровых огнеупоров требует значительного объема качественных природных и синтетических сырьевых материалов, получаемых по сложным технологическим схемам. В то же время ежегодно на отечественных стекольных заводах после ремонта стекловаренных печей накапливаются большие запасы отработанных бакоровых огнеупоров, переработка которых может существенно пополнить минерально-сырьевую базу производства бакоровых изделий.

В ООО «Цеолит» совместно с ООО «ОгнеупорПромГрупп» разработана безотходная технология обогащения бакорового лома, включающая двухстадийную переработку

техногенного сырья механическим и химическим способами. Выбор способов переработки вторичного сырья сделан на основании результатов определения его реального вещественного состава. Усредненный химический состав лома, мас. %: ZrO_2 30–40, SiO_2 15–18, ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) 2,2–2,6, FeO 0,20, Al_2O_3 50–58. Минеральный состав представлен в основном корундом и бадделеитом (ZrO_2 моноклинной системы), вторичным (новообразованным в процессе службы) цирконом ZrSiO_4 (в сумме 70–75 %) и силикатной стеклофазой (25–30 %). В стеклофазе сконцентрированы практически все примеси, что предопределяет ее легкоплавкость, в частности переход в жидкоподвижное состояние при 1160–1240 °С. В отличие от высокоогнеупорных минералов системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--SiO}_2$ стеклофаза обладает низкой твердостью, повышенными хрупкостью и разломоспособностью, а также растворимостью в неорганических кислотах.

Экспериментальным изучением установлена возможность частичного обогащения бакорового лома уже после дробления и классификации в крупных и средних фракциях материала (первая стадия обогащения). На второй стадии переработки дробленое сырье подвергали химической об-

работке раствором фтористоводородной кислоты оптимальной концентрации. В результате двухстадийного обогащения удалось уменьшить содержание легкоплавкого стекла примерно в 2 раза и получить концентрат, содержащий 66,1 мас. % ($ZrO_2 + HfO_2$) следующего минерального состава, мас. %: (бадделеит + циркон) 81,1, корунд 3,2, силикатное стекло 14,6, муллит 0,8; рутил 0,3. После выщелачивания стеклофазы отработанный кислый раствор, содержащий ионы Na, K, Ca, Mg, Al, Si, F, подвергли полной нейтрализации гашеной известью. В результате нейтрализации получен осадок (кек)

следующего химического состава (после сушки), мас. %: CaO 37,8, SiO_2 20,3, Al_2O_3 6,6, Na_2O 3,2, F_2 8,8, $\Delta m_{прк}$ 23,1. После прокаливания при невысокой температуре вещественный состав осадка (клинкер) аналогичен известным маркам шлакообразующих смесей, используемых в сталеразливочном тракте МНЛЗ. Таким образом, установлена принципиальная возможность промышленной реализации двухстадийной безотходной технологии переработки цирконийсодержащего огнеупорного лома с получением обогащенного бакора и шлакообразующей смеси.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СВОЙСТВА АНДАЛУЗИТО- И МУЛЛИТОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ОГНЕУПОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(✉)

© Д. Фрулли (✉)

E-mail: alex.bpbkov@imerys.com

Компания «Imerys Refractory Minerals», г. Париж, Франция

Андалузит- и муллитосодержащие минералы широко представлены в современной огнеупорной отрасли. Эти материалы позиционируются как заменители бокситов в рецептурах формованных и неформованных огнеупоров. В частности, андалузит и синтетический муллит признаны наиболее подходящими для применения в огнеупорах, подвергающихся термоциклическим нагрузкам и ползучести при высоких температурах. Кроме того, поскольку эти материалы обладают низкой теплопроводностью, футеровка из них обеспечивает низкие тепловые потери.

В докладе приведены наиболее примечательные случаи использования андалузита и синтетического муллита с опи-

санием критериев, определяющих выбор таких материалов.

Представлены исследования, проведенные в отношении представительного числа марок андалузита и синтетического муллита с различным содержанием примесей и вариациями минерального и химического составов. Эти характеристики, а также плотность, определяют поведение формованных и неформованных огнеупоров в условиях температурных нагрузок и некоторых других агрессивных воздействий. В докладе объясняется, каким образом степень очистки от примесей выгодно отличает андалузит и синтетический муллит от других глиноземистых материалов, доступных на рынке.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОГНЕУПОРНЫЙ БЕТОН В ФУТЕРОВКЕ ПАТРУБКОВ РН-ВАКУУМАТОРОВ

(✉)

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), к. т. н. Д. Е. Денисов²

E-mail: lakselrod@magnezit.com

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

² ООО «Алитер-Акси», Санкт-Петербург, Россия

Бетонная футеровка наружной части патрубков вакууматора подвержена воздействию ряда факторов, способствующих досрочному прекращению эксплуатации циркуляционных (РН) и порционных (ДН) вакууматоров. Температура металла в сталеразливочном ковше в период вакуумирования 1570–1650 °С, длительность обработки металла 15–25 мин, основность шлака в сталеразливочном ковше 1,5–3,5, промежуток между циклами погружения патрубков в металл и пребыванием на воздухе несколько часов, наружный диаметр патрубка 1200–1500 мм, толщина слоя бетона 100–120 мм. Число операций вакуумирования в период эксплуатации патрубков 100–180 циклов (за рубежом до 200–300 циклов). Процесс разрушения бетонной футеровки складывается из комплекса термохимического воздействия: шлак взаимодействует с огнеупорным материалом, футеровка подвергается термическому удару в период каждого цикла (1570–1650 °С) – (600–800 °С) – (1570–1650 °С), одновременно бетон подвергается воздействию термического напряжения из-за различия ТКЛР бетона и металла, из которого изготовлен корпус патрубка, выполняющий роль сердечника.

На основании анализа условий эксплуатации, характера износа бетонной футеровки, комплекса лаборатор-

ных исследований, сравнительных испытаний, в том числе в реальных условиях службы в вакууматорах, разработан бетон марки DALCAST AL90. Разработаны составы матрицы и огнеупорного наполнителя, включающие табулярный глинозем, белый плавный корунд, спеченную шпинель, высокоглиноземистый цемент, реактивный глинозем, микрокремнезем и другие компоненты. Состав сухой смеси, из которой изготавливается бетон корундошпинельного состава, оптимизирован для формирования структуры, обеспечивающей баланс термостойкости, коррозионной стойкости, стойкости к пропитке компонентами шлака, объемопостоянства в сочетании с проницаемостью, позволяющей удалить влагу из бетона в процессе сушки в приемлемые сроки. Стойкость и удельный расход бетона марки DALCAST AL90 на 1 т вакуумируемого металла практически равны стойкости и расходу импортного бетона, используемого при выполнении бетонной футеровки и горячего ремонта патрубка в период эксплуатации.

Применение разработанного корундошпинельного бетона в наружной части футеровки патрубка вакууматора на ряде металлургических предприятий позволило отказаться от использования импортного материала.

ШПИНЕЛЬНОПЕРИКЛАЗОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: lakselrod@magnezit.com

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

В настоящее время для футеровки сталеразливочных ковшей используют высокоглиноземистые или углеродсодержащие формованные огнеупоры, корундошпинельные или корундопериклазовые низкоцементные огнеупорные бетоны. Отрицательными моментами применения высокоглиноземистых огнеупоров являются сниженная устойчивость к коррозии и, как результат, низкая стойкость футеровки, а также вероятность загрязнения металла неметаллическими включениями. Оксидоуглеродистые огнеупоры обладают достаточными устойчивостью к коррозии и термостойкостью, но характеризуются высокой теплопроводностью, что приводит к высоким тепловым потерям через футеровку. В ряде случаев фиксируется растворение углерода огнеупора в металле при производстве стали специального назначения (низкоуглеродистой или легированной). Таким образом, обозначилась потребность в разработке новых безуглеродистых коррозионно-устойчивых огнеупоров для футеровки сталеразливочных ковшей, обладающих при этом сниженной теплопроводностью.

Специалистами Группы Магнезит разработана оригинальная технология магнезиальношпинелидных огнеупоров с высокой массовой долей Al_2O_3 . Вещественный состав огнеупоров включает высокотемпературные компоненты и добавки, формирующие в обжиге коррозионно-устойчивую матрицу. Новому

виду продукции присвоена марка ШПК. Огнеупоры характеризуются высокими качественными показателями: пределом прочности при сжатии около 64 МПа, термостойкостью 11–12 водяных теплосмен, температурой начала размягчения (ГОСТ 4070–2014) выше 1690 °С и теплопроводностью 2,6 Вт/(м·К) при средней температуре 1000 °С. Исследование микроструктуры разработанных огнеупоров выявило наличие защитных пленок высокотемпературных фаз в матрице, обеспечивающих активное противодействие химическому воздействию расплава на футеровку. Изделия характеризуются плотноспеченной микроструктурой с повышенным содержанием закрытых, изолированных и малой долей открытых сообщающихся пор.

Проведены тестовые испытания огнеупоров марки ШПК на устойчивость к воздействию высокоосновного шлака с АКЭС (предприятие ООО БВК) тигельным методом. Химический состав шлака, мас. %: Al_2O_3 19,9, SiO_2 12,2, CaO 57, MgO 4,4, Fe_2O_3 1,60; MnO 0,12, Cr_2O_3 1,95, K_2O и Na_2O 0,64, F 1,60 и S 0,48. По результатам теста, проведенного тигельным методом, зафиксировано минимальное проникновение вторичных компонентов шлака по открытому поровому пространству без коррозионного разъедания образца. В ближайшее время планируются испытания разработанных огнеупоров в футеровке сталеразливочного ковша в производстве низкоуглеродистой стали.

ПЛИТЫ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНОГО СОСТАВА ДЛЯ ШИБЕРНЫХ ЗАТВОРОВ СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. Н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), М. Ю. Турчин², М. А. Ерошин², А. А. Бессольников³, О. Н. Пицик², Е. А. Киселева²¹ ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия³ ООО «Группа Магнезит», г. Нижний Тагил, Россия

Огнеупорные плиты, применяемые в шиберных затворах сталеразливочных ковшей, должны обладать повышенной механической прочностью, низкой пористостью и высокой температурой начала размягчения под нагрузкой, определяемой низким содержанием легкоплавких фаз. Потребность в новых видах огнеупоров для шиберных затворов, способных конкурировать с импортной продукцией, обусловила разработку цельнокерамических плит периклазошпинельного состава, характеризующихся, помимо основных показателей, повышенной термостойкостью.

На Саткинской производственной площадке Группы Магнезит освоено производство обожженных крупноформатных моноплит марки ППШ-90 в качестве

альтернативы импортным, работающим в трехплитном поворотном затворе на промежуточных ковшах конвертерного производства ММК. Разработанный на основе высокочистых компонентов состав огнеупора обеспечил коррозионную стойкость моноплит, минимальный износ контактной поверхности и сталевапускных каналов. Проходы металла между плитами при эксплуатации затвора не зафиксированы. Продукция успешно конкурирует со смолопропитанными периклазошпинельными плитами производства компаний «Corwintec» и «Duferco SA». Плиты марки ППШ-90 обеспечили требуемую эксплуатационную надежность — стойкость изделий сопоставима со стойкостью импортных изделий.

Внедрение технологии производства периклазошпинельных огнеупоров для шиберных затворов в настоящее время продолжено и для шиберных затворов сталеразливочных ковшей. Это позволит повысить надежность плит в эксплуатации. Новые периклазошпинельные моноплиты взамен бикерамических повысят надежность эксплуатации шиберных затворов на сталеразливочных ковшах. Плиты изготавливаются на основе высококачественного плавного периклаза и алюмосодержащего компонента и проходят стадию высокотемпературного обжига ($T_{\text{макс}}$ 1700 °C), после чего пропитывают импрегнатом. Показатели качества

пропитанных плит марки ППш-90 (массовая доля MgO 93,5–94,5 %, Al_2O_3 3,5–4,5 %): предел прочности при сжатии 140–200 МПа, при изгибе более 40 МПа, открытая пористость менее 8,5 %, термостойкость до пропитки (950 °C – вода) 6 теплосмен. В настоящее время цельнокерамические плиты марки ППш-88 в формате № 3-60 прошли апробацию в шиберных затворах на одном из отечественных металлургических предприятий при разливке стали марок 09Г2С, К68 и СтЗсп. Плиты обеспечили требуемую эксплуатационную надежность на протяжении всего цикла разливок продолжительностью до 100 мин.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛИДНЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПАТРУБКОВ RH-ВАКУУМАТОРОВ

© К. Т. н. **Л. М. Аксельрод**¹ (✉), К. Т. н. **Т. В. Ярушина**², **А. А. Платонов**², **А. А. Бессольников**³, **И. В. Аношкин**⁴

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

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

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

⁴ ООО «Группа Магнезит», г. Магнитогорск Челябинской обл., Россия

Изучены факторы износа периклазошпинелидных огнеупоров в футеровке патрубков RH-вакууматоров. Снижение склонности изделий к образованию сколов может быть достигнуто увеличением их термической прочности до уровня, исключающего возможность зарождения трещин, а также созданием микроструктуры, препятствующей распространению трещин и обеспечивающей снижение напряжений при градиенте температуры по кольцевому сечению футеровки. Уменьшение капиллярной пропитки изделий шлаковыми расплавами не только позволило снизить их склонность к образованию зон с разными химико-минеральным составом и физическими свойствами (в первую очередь с разными ТКЛР), но и сохранило структуру, взаимное соотношение и распределение фаз, сформированных при изготовлении изделий. Для замедления процесса проникновения в микроструктуру огнеупора расплава шлака необходимо контролировать физические свойства огнеупора, а также уменьшить размеры и объем канальных пор в структуре изделий. Для снижения коррозионного воздействия шлака необходимо уменьшить долю проникаемых пор размерами 5–30 мкм и устранить формирование пор размерами более 30 мкм.

В состав шихты периклазошпинелидного огнеупора, используемого в футеровке патрубков циркуляционного вакууматора, дополнительно вводили добавку нано- Cr_2O_3 в количестве от 0,5 до 2,0 %, формовали изделия и обжигали при максимальной температуре 1680 °C. После обжига определили физико-технические свойства на холоду, предел прочности при изгибе при 1200 и 1400 °C, газопроницаемость, распределение пор по размерам (ртутная пороме-

трия) и выполнили микроструктурный анализ. Добавка нано- Cr_2O_3 в матрицу огнеупора способствует образованию микропор размерами менее 5 мкм, что обеспечивает повышение высокотемпературной прочности и, как следствие, стойкости к термическим напряжениям и структурному растрескиванию. С увеличением содержания нано- Cr_2O_3 в шихте фиксируются снижение доли пор размерами более 30 мкм и увеличение доли пор размерами менее 5 мкм, что положительно влияет на коррозионную стойкость огнеупора. Получен эффект некоторого снижения предела прочности при изгибе на участке 1200–1400 °C, что, по нашему мнению, свидетельствует о повышении пластичности огнеупора с ростом температуры и способствует увеличению термомеханической стойкости. С другой стороны, формирование жидкой фазы при температуре эксплуатации способствует перекрытию некоторой доли сообщающихся пор. Установлено, что новообразования частиц вторичного хромшпинелида обнаружены повсеместно: в кристаллах зерен плавного периклазохромита в виде мелких равномерно распределенных по всему объему микровключений размерами 1–8 мкм, угловатых частиц размерами 30–70 мкм и крупных размерами до 450 мкм, а также между кристаллами плавного периклазохромита в виде прожилок толщиной до 100 мкм. Следует ожидать, что в сочетании с крупным размером кристаллов плавного периклазохромита (первичного, полученного плавлением шихты периклаз + хромконцентрат) присутствие равномерно распределенного вторичного хромшпинелида в матрице огнеупора повысит коррозионную стойкость изделий в службе.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

АЛЮМОПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ ОГНЕУПОРЫ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ(✉)
E-mail: lakselrod@magnezit.com© К. т. н. **Л. М. Аксельрод**¹ (✉), к. т. н. **Т. В. Ярушина**², **А. А. Платонов**², **А. О. Мигашкин**²¹ ООО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

В футеровке сталеразливочных ковшей в процессе предварительного нагрева и в службе возникают сжимающие напряжения вследствие расширения изделий, уложенных вплотную без компенсационных швов. Это может привести к разрушению рабочего слоя футеровки уже при первых наливах металла в ковш. Эрозионная и коррозионная устойчивость углеродсодержащих огнеупоров к жидкому металлу создается присутствием в их составе графита, что обеспечивает низкую смачиваемость, повышенную термостойкость и рост теплопроводности (с увеличением содержания графита). Для футеровки зоны металла сталеразливочных ковшей в Группе Магнезит разработаны алюмопериклазоуглеродистые огнеупоры марки АПУ 70-5-К с пониженной теплопроводностью. Базовая концепция разработки технологии основывается на снижении содержания графита и одновременно применении компонентов, уменьшающих структурное растрескивание огнеупора и способствующих замедлению коррозии и эрозии расплавом металла и шлака, а также одновременно положительно влияющих на термостойкость. При 950 °С теплопроводность изделий АПУ 70-5-К составляет 4,17 Вт/(м·К), относительное удлинение 0,592 %. Для сравнения: теплопроводность периклазоуглеродистых изделий с аналогичным содержанием графита при данной температуре 7,03 Вт/(м·К), относительное удлинение 0,927 %. При 1500 °С относительное удлинение новых АПУ-изделий

не превышает 1,286 %, что значительно ниже, чем у периклазоуглеродистых изделий с аналогичным содержанием графита (1,806 %).

Комплексным исследованием огнеупоров АПУ 70-5-К после службы в сталеразливочном ковше установлено, что в процессе эксплуатации в результате карботермического и алюмотермического восстановления слагающих огнеупор оксидных соединений, включая силикатную составляющую, наблюдаются синтез алюмомагнезиальной шпинели, а также иные процессы с участием низших оксидов кремния, магния и алюминия в газообразном состоянии. При этом формируется уплотненная микроструктура с уменьшением открытой пористости огнеупора и одновременно наблюдается закрытие швов в футеровке. Минимизируется инфильтрация расплава стали и шлака в рабочий слой оксидоуглеродистой футеровки. Кроме того, на рабочей поверхности кладки в результате химической реакции между шлаком и алюмомагнезиальной шпинелью образуется остеклованный, обычно гетерогенный защитный слой из комбинации фаз с высокой и средней температурой плавления — своеобразный гарнисаж, препятствующий окислению углерода и замедляющий процесс коррозии огнеупорного материала.

Дополнительным преимуществом изделий АПУ-70-5-К является их высокая устойчивость к абразивному износу, что позволяет использовать эти огнеупоры в футеровке дна сталеразливочного ковша — в зоне падения струи металла.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ КОМПАНИИ «КЕРАЛИТ»(✉)
E-mail: mamonova@keralit.com© **И. В. Егоров, Н. С. Мамонова** (✉)

ООО «Кералит», Москва, Россия

Компания «Кералит» производит и серийно поставляет широкий спектр огнеупорных бетонов и изделий для футеровки различных тепловых агрегатов. Специалистами компании разработаны бетоны для футеровки дна сталеразливочных ковшей, а также бетон бесцементного состава для изготовления изделий.

► Низкоцементный бетон марки CERALIT CASTTL91165 производится на основе табулярного глинозема, после термообработки при 1000/1500 °С имеет следующие фактические свойства: предел прочности при сжатии 76/125 МПа, кажущаяся плотность 3,05/3,00 г/см³, пористость 17,6/20 %, линейные изменения –0,05/0,73 %. Массовая доля, %: CaO 1,2, Al₂O₃ 90.

► Среднецементный саморастекающийся бетон марки CERALIT FLOWTR90175 содержит табулярный глинозем и алюмомагнезиальную шпинель компании «Кералит». После термообработки при 1000/1500 °С имеет следующие фактические свойства: предел прочности при сжатии 87/195 МПа, кажущаяся плотность 3,00/2,95 г/см³, пористость 18/21 %, линейные изменения 0,10/0,30 %.

Массовая доля, %: CaO 3,1, Al₂O₃ 90.

► Бесцементный бетон марки CERALIT CASTTL90176 на основе табулярного глинозема не содержит цемента и производится с применением химической связки. После термообработки при 1000/1500 °С имеет следующие фактические свойства: предел прочности при сжатии 115/150 МПа, кажущаяся плотность 3,13/3,17 г/см³, пористость 16,5/14,0 %, линейные изменения 0,02/–0,23 %. Массовая доля, %: CaO 0,2, Al₂O₃ 90.

Для новых видов бетонов определяли влияние температуры окружающей среды на технологические свойства бетонов и проводили заливку крупногабаритных изделий и их термообработку по ускоренному графику сушки. Бетоны сохраняют технологические свойства в течение 30 мин при 8, 24 и 35 °С. После термообработки крупногабаритных изделий до 600 °С трещины на их поверхности отсутствовали. В настоящее время новые виды бетонов испытывают на металлургических предприятиях.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

СВОЙСТВА ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ, СФОРМОВАННЫХ НОВЫМ СПОСОБОМ

(✉)

E-mail: kir77766617@yandex.ru

© Д. Т. Н. И. Д. Кашеев¹, К. Т. Н. К. Г. Земляной¹(✉), А. В. Чевычелов², А. Г. Валуев², С. А. Поморцев²¹ ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия² ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

Имеются многочисленные публикации по увеличению стойкости рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей путем использования более качественных сырьевых материалов, добавления специальных активных компонентов, повышающих термостойкость и коррозионную стойкость, регулирования процессов доводки в сталеразливочных ковшах. Однако немаловажным фактором, влияющим на стойкость рабочего слоя футеровки, является способ формования и укладки изделий в сталеразливочных ковшах. В настоящее время наибольшее распространение получили унифицированный формат мини-кей (далее МК), форматы «Х»/8 и «Х»/30 с клином «тупым» и «острым» соответственно, который позволяет выполнять футеровку любого сталеразливочного ковша вместимостью от 60 до 380 т. Используемые в производстве огнеупорных изделий современные гидравлические прессы позволяют изготавливать эти форматы двумя способами — прессованием «на плашку» и «на ребро».

В условиях ООО «Огнеупор» были изготовлены изделия формата МК, спрессованные способом «на плашку» и «на ребро», и изделия формата ООО «Огнеупор» способом прессования «на плашку». Изделия из шихты одинакового состава и качества прессовали на гидравлическом прессе «Laeis HPF-2500» с одинаковыми

режимами прессования. Термообработку осуществляли в туннельном сушиле с постепенным нагревом и выдержкой при 220 °С 6 ч. Из готовых изделий вырезали кубы (с ребром 100 мм) с обязательным условием, что одно ребро куба — рабочая сторона изделия в сталеразливочном ковше. Испытания на предел прочности при сжатии и изгибе проводили, разрушая образец по оси установки изделий в сталеразливочном ковше. Свойства образцов приведены в таблице.

Формат изделия	Способ прессования	Способ укладки в футеровку	Предел прочности, МПа	
			при сжатии	при изгибе
МК	На плашку	На плашку	62	15
МК	На ребро	» »	43	14
ООО «Огнеупор»	На плашку	На ребро	56	18

Изделия формата ООО «Огнеупор», спрессованные «на плашку» и установленные в сталеразливочный ковш способом «на ребро», являются оптимальными с точки зрения формирования однородной структуры штучного огнеупорного изделия с небольшими зазорами горизонтальных швов в футеровке сталеразливочного ковша и высокой трещиностойкостью.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПЕРИКЛАЗОФОРСТЕРИТОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ АГРЕГАТОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

(✉)

E-mail: lakselrod@magnezit.com

© М. Ю. Турчин, М. А. Ерошин, О. Н. Пицик, И. Г. Беспалова (✉)

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

Основным типом огнеупоров, применяемых в футеровке агрегатов цветной металлургии, являются хромосодержащие. Износ футеровки печей плавки цветных металлов обусловлен процессами коррозии огнеупоров при взаимодействии со шлаками фаялитового состава. Химическая стойкость применяемых огнеупоров обеспечивается высоким содержанием Cr_2O_3 . Несмотря на положительный аспект использования хромосодержащих огнеупоров, основным негативным фактором для потребителей является проблема утилизации отработанной футеровки в связи с негативным влиянием на организм человека Cr^{6+} .

В настоящее время разработчиками Группы Магнезит на Саткинской производственной площадке осваивается новое технологическое направление — ряд форстеритсодержащих огнеупоров. Непосредственно для предприятий цветной металлургии разработан новый вид продукции в качестве альтернативы хромосодержащим — легированные периклазофорстеритовые огнеупоры марки ПФЛ. Форстерит, образующийся в ог-

неупорах, обеспечивает им химическую устойчивость при взаимодействии с основным компонентом шлака — фаялитом за счет сродства химико-минерального состава. Огнеупоры марки ПФЛ имеют высокие качественные показатели: предел прочности при сжатии около 100 МПа, открытую пористость около 13 %, кажущуюся плотность около 3,03 г/см³, термостойкость (950 °С – воздух) более 30 теплосмен, температуру начала размягчения (ГОСТ 4070–2014) около 1650 °С.

Для оценки возможности применения в агрегатах цветной металлургии исследована коррозионная устойчивость огнеупоров; в качестве корродиента применяли шлак, полученный при конвертировании медного штейна на Среднеуральском медеплавильном заводе. Тестирование огнеупоров проведено статическим (тигельным) методом при максимальной температуре 1670 °С. Для проведения сравнительного анализа разработанные изделия испытывали совместно с образцами серийных огнеупоров марки ХПТ-1, традиционно применяемых для футеровки горизонтальных

конвертеров. Результаты петрографического исследования образцов после испытаний показали сопоставимость и преимущество данных по глубине и площади пропитки у разработанных огнеупоров по сравнению с хромосодержащими: глубина пропитки огнеупоров ПФЛ и ХПТ-1 4,3 и 6,16 мм, площадь пропитки 9,9 и 15,5 % соответственно.

Коррозионная устойчивость изделий марки ПФЛ обеспечивается за счет формирования в процессе обжига особой структуры огнеупора, не содержащего легкоплавких фаз, представленной только периклазом ($T_{\text{плавл}} 2800^\circ\text{C}$), форстеритом ($T_{\text{плавл}} 1890^\circ\text{C}$) и прослойками высокотемпературных соединений, образованных легирующими компонентами. Введение

специальных добавок приводит к переформированию и уплотнению поровой структуры с образованием ту-пиковых или закрытых пор. Образующиеся в матрице высокотемпературные фазы повышают устойчивость разработанного продукта к термомеханическим нагрузкам. Дополнительную защиту огнеупору при контакте периклаза с агрессивными компонентами расплава обеспечивает формирование в рабочей зоне вторичного форстерита, который заполняет поровое пространство, препятствуя инфильтрации вглубь структуры. Новый вид продукции проходит стадию внедрения в промышленное производство, планируется проведение ресурсных испытаний огнеупоров марки ПФЛ у потребителя.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail:
olga.morozova@thermotechno.ru

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ООО «ТЕРМО ТЕХНО ИНЖИНИРИНГ» ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО И ИСПЫТАТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ В ОГНЕУПОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© А. Е. Букреев (✉)
ООО «Термо Техно Инжиниринг», Москва, Россия

Группа компаний «Термо Техно» более 16 лет работает в сфере аналитического и испытательного оборудования для промышленности и научно-исследовательской отрасли и предлагает широкую линейку оборудования для проведения спектрального химического анализа, рентгенофазового анализа, физико-механических испытаний материалов, материалографии, анализа мелкодисперсных материалов, пористости материалов, пробоподготовки, системы автоматизации пробоотбора, пробоподготовки и лабораторных процессов и для других, в том числе нестандартных, задач. Для химического анализа огнеупорных материалов наибольшее применение находит экспресс-метод рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), обладающий высокой точностью и не требующий длительной подготовки пробы и дорогих расходных материалов.

Компания «Термо Техно Инжиниринг» является эксклюзивным представителем в России и СНГ швейцарского завода ARL — крупнейшего мирового производителя спектрального оборудования. Для проведения высокоточного анализа необходимо подобрать спектрометр РФА с учетом аналитической задачи, условий эксплуатации и производительности. Компания «Термо Техно Инжиниринг» совместно с заказчиком проводит глубокую проработку проекта как на стадии выбора оборудования, так и в процессе его эксплуатации, оказывая высококачественные инженерные, сервисные и аналитические услуги.

Для проведения фазового анализа широко применяется метод рентгеновской дифракции. Для этой цели предлагается дифрактометр X'TRA, который успешно зарекомендовал себя в различных отраслях промышленности, в том числе и в огнеупорной. Прибор скон-

струирован по принципу вертикальной θ - θ -геометрии Брэгга – Брентано, обеспечивающей более удобную работу с пробами. Дифрактометр X'TRA позволяет определять одну или несколько фаз в неизвестной пробе, известные фазы в смеси, структуру кристаллических материалов, осуществлять анализ в контролируемой атмосфере — изучать изменение структуры материалов при изменении температуры, давления или состава газовой фазы, анализировать поверхности, тонкие пленки и текстуры.

Для измерения пористости, объема пор, их радиусов и распределения пор по размерам подходит метод эталонной порометрии (МЭП), реализованный на безопасном безртутном анализаторе пористости. Метод МЭП сравнительно прост, без разрушения образца, что позволяет проводить измерения в более широком диапазоне размеров пор. МЭП можно использовать для оценки краевого угла смачивания, а также гидрофильно-гидрофобных свойств многокомпонентных материалов; любая смачивающая жидкость может быть использована в качестве тестирующей. Метод позволяет работать в широком диапазоне давлений и температур и исследовать разные пористые материалы и образцы в их реальной среде.

Компания «Термо Техно Инжиниринг» является первой отечественной компанией, которая занимается инжинирингом автоматизации процессов аналитического контроля на предприятиях с учетом существующих технологических условий, параметров и стандартов. Компания оценивает эффективность использования методов измерения и контроля на предприятии и экспертизу аналитических задач для разработки новых системных подходов к их решению.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТОВ ВИХРЕВОГО СЛОЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: voit32@mail.ru

© К. т. н. **В. А. Войтович** (✉), к. х. н. **Е. А. Захарычев, Р. Р. Шварев, Е. П. Феоктистова**
Научно-исследовательский институт химии Нижегородского государственного университета
им. Н. И. Лобачевского (НИУ), г. Нижний Новгород, Россия

В настоящее время огнеупоры как формованные, так и неформованные изготавливают из минеральных порошков, размеры частиц которых лежат в субмиллиметровом диапазоне. Эти порошки получают измельчением исходного сырья преимущественно в шаровых мельницах. В них измельчение происходит за счет истирания — наименее эффективного способа диспергирования тел. По мнению авторов, в настоящее время одним из наиболее эффективных по совокупности свойств оборудованием для измельчения являются так называемые аппараты вихревого слоя (АВС). В настоящее время в Научно-исследовательском институте химии Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского проводятся систематические исследования возможности использования АВС для измельчения различных твердых тел. Для этой цели используется экспериментальный АВС, разработанный и изготовленный в ООО «Регионметранс», г. Нижний Новгород, имеющий ряд преимуществ перед аналогичными аппаратами, изготавливаемыми в других организациях.

Эксперименты в АВС проводили в периодическом режиме с использованием емкости (стакана) из нержавеющей стали объемом 500 мл, в которую засыпали образец исследуемого материала и определенное количество ферромагнитных рабочих тел — цилиндров

диаметром 2 и длиной 20 мм из закаленной стали марки ШХ-15. После этого стакан закрывали крышкой, изготовленной из нержавеющей стали, и помещали в рабочую камеру АВС. Через определенные отрезки времени (от 20 с до 3 мин) стакан вскрывали для отбора проб измельченного минерала для измерения размера частиц, после чего продолжали обработку. Прямое измерение размеров частиц и определение их формы проводили на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-1T300LV.

Для измельчения был выбран кварцевый песок Бурцевского карьера, отличающийся высокой чистотой, поскольку он один из самых востребованных для изготовления огнеупоров, литейных форм, бетонов специального назначения. Установлено, что в АВС всего за 3 мин медианный диаметр D_{50} частиц уменьшился от 235 до 22 мкм, а диаметр D_{98} от 498 до 133 мкм. В шаровых мельницах на это ушло бы несколько часов. Поскольку благодаря работам Д. В. Кузнецова с сотрудниками (НИТУ МИСиС) показана высокая эффективность введения в состав исходных порошков для огнеупоров наночастиц, было изучено измельчение на АВС более легко размалываемых твердых тел — аморфных диоксидов кремния — диатомита и зола, образующейся при сжигании рисовой шелухи. Установлено, что из них можно получать частицы ближе к наноразмерным.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПРОГРЕССИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЯ МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

(✉)
E-mail: mende@vgh-ag.com

© **В. Гартен** (✉), **В. Уссельманн, К. Киреева, Ю. Шебета, Й. Шенер**
VGH Viktoria Garten Hüttenindustriebedarf AG, г. Дюссельдорф, Германия

Как производитель оборудования для металлургических предприятий, компания непрерывно совершенствует и модернизирует его, шагая в ногу со временем. Разработанные технические решения сопровождают процессы от изготовления монолитной футеровки вплоть до ее ремонта и демонтажа. Для обеспечения непрерывной цепочки на всем ее протяжении необходимы различные

типы оборудования: смесители, шаблоны, навесные и глубинные вибраторы, торкрет-машины, стенды для сушки и разогрева футеровки, отбойные молоты и фрезы для зачистки и демонтажа футеровки. В своей презентации компания предлагает технические решения, способствующие повышению качества, ускорению и облегчению выполнения огнеупорных работ.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБЧАТЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

(✉)
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. т. н. **С. Я. Давыдов**¹ (✉), д. т. н. **Н. Г. Валиев, М. С. Филатов¹, В. Ф. Барг², В. Н. Видулов², Н. И. Полежаев³**

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

² ООО ТД «Транстехмаш-Восток», г. Екатеринбург, Россия

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

Резкий перепад температуры от +90 °С зола Рефтинской ГРЭС и от +70 °С железорудных окатышей фабрики окомкования Лебединского ГОКа при температуре окружающей среды до -45 °С является причиной рас-

слаивания обкладок резинотросовой ленты (трубчатая конвейерная лента CONTI® PIPE 2500 S-K2, 8:7, Vulcan T150 шириной 2000 мм и внешним диаметром ленты 570 мм) и резинотканевой ленты (фирмы SVEDALA с по-

лиамидным кордом типа EP 1000/2 шириной 1100 мм и внешним диаметром 300 мм) соответственно трубчатого ленточного конвейера в виде пузырей. Эти дефекты приводят к повреждению внутренних обкладок ленты, что значительно отражается на ее сроке эксплуатации. В процессе движения по трассе происходит радиальное смещение ленты относительно вертикального положения. Смещение приводит к соприкосновению края ленты, выполненной внахлест, с неподвижными элементами промежуточных опор, что повреждает края ленты, разрушает крайние тросы, а также поперечные соединения отдельных кусков ленты.

Основными повреждениями резиноканальной и резиноканальной лент являются: сквозной пробой, сквозной продольный порез, местные повреждения обкладок, вырыв обкладок, поперечные трещины, нарушение бортов и стыковых соединений, истирание резиновых обкладок по всей длине ленты, появление трещин в местах стыковки ленты, образование местных воздушных пузырей. Воздушные пузыри, образовавшиеся на рабочей поверхности ленты под ее верхней обкладкой, при попадании на барабаны смещаются. Происходит продольное вытягивание воздушного пузыря между обкладками ленты, в результате чего он лопается, подобно тому, как лопаются резиновые шары, с образованием дефекта обкладки ленты.

Решение проблем эксплуатируемых лент трубчатых конвейеров в рамках импортозамещения выполняет коллектив компании ТД «Транстехмаш-Восток»

с участием Уральского государственного горного университета при использовании механической, горячей и холодной вулканизации. При соблюдении всех норм и правил при выполнении стыкового соединения наибольшую прочность обеспечивает метод горячей вулканизации — до 90 % прочности конвейерных лент. При холодной вулканизации достигается прочность до 70–80 % прочности ленты, при механическом соединении до 60 % прочности ленты. Ремонтные работы резиноканальных и резиноканальных лент выполняются, как в стационарных условиях ремонтных предприятий, так и непосредственно на конвейерах с использованием малогабаритных мобильных переносных вулканизационных прессов. Все работы по ремонту конвейерных лент производятся по известной методике (Подземный транспорт угольных шахт: уч. пособие; под ред. Ю. Н. Малышева и Г. И. Козового. — М.: Академия горных наук, 2013. — 488 с.).

Для увеличения срока эксплуатации ленты и снижения количества аварийных случаев остановки конвейеров применяется ряд механических способов очистки конвейерной ленты при помощи скребков различной конструкции. Скребки повреждают поверхностный слой ленты. Для исключения механических способов очистки ленты на ряде предприятий России и стран СНГ был применен трубчатый переворот ленты в зонах погрузки-разгрузки материала (пат. 2019476 RU. Ленточный конвейер / Давыдов С. Я., Демидов А. Е., Федотов А. Ф., Кабанов В. И., Бюл. № 17).

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ТРУБЧАТЫЕ ЛЕНТОЧНЫЕ КОНВЕЙЕРЫ ДЛЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

(✉)
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. т. н. **С. Я. Давыдов**¹(✉), **М. С. Филатов**¹, **Н. И. Полежаев**², д. т. н. **Г. Г. Кожушко**²,
В. Н. Викулов³

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

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

³ ООО ТД «Транстехмаш-Восток», г. Екатеринбург, Россия

Существует большое количество технологий переработки отходов, накопившихся на металлургических, машиностроительных, химических заводах, ТЭС, ГРЭС, горно-обогатительных комбинатах. Наиболее хорошо изучены и нашли применение золы и шлаки ТЭС, ГРЭС, отходы черной металлургии. По параметрам изменения пластической прочности установлено, что при введении золы происходят повышение нормальной формовочной влажности и снижение прочности связи в коагуляционной структуре. Установлены причины улучшения сушильных свойств глинистого сырья при использовании золы. Техногенные отходы предприятий — это ценное сырье для получения продукции в огнеупорной отрасли. Одним из видов отходов, не утилизируемых в настоящее время, являются отходы производства алюминия (шлаки электролизеров и отражательных печей, шлаки производства вторичного алюминия) — ОПВА. Содержание Al_2O_3 в ОПВА достигает 60 мас. %. Отходы производства вторичного алюминия представляют собой ценное сырье для получения

продукции в отраслях огнеупорной промышленности, а их утилизация улучшает экологическую обстановку в промышленных регионах.

Для перемещения техногенного сырья за рубежом и единично в России (на Лебединском ГОКе и Рефтинской ГРЭС) применяют трубчатые ленточные конвейеры (ТЛК) со специальной дорогостоящей лентой. Лента, свернутая в трубу, позволяет улучшить санитарные условия труда, обеспечить полную сохранность груза, исключить вредное воздействие химических агрессивных грузов на металлоконструкцию конвейера, удлинняя срок его эксплуатации. Появляется возможность транспортировать материалы под углом 20–25°. Однако эта лента в РФ не производится, а затраты при ее замене сопоставимы с ценой самого конвейера, с чем уже столкнулись российские заказчики. Комплекующие в России тоже не производятся, а стоимость их при последующих закупках резко увеличивается. Фактически это продуманная стратегическая политика зарубежных производителей по

созданию зависимости российских потребителей от поставок извне.

В 2015 г. на Рефтинской ГРЭС запущен экологический проект по использованию золы в стройиндустрии. При этом для транспортировки 2200 т/ч материала с температурой +90 °С при температуре окружающей среды -45 °С со скоростью 5,2 м/с использован ТЛК. При длине конвейера 4390 м и высоте транспортировки 30 м система имеет 5 горизонтальных и один вертикальный поворот. Минимальный радиус кривизны 420 м. В системе установлена высокоскоростная резинокотросовая трубчатая конвейерная лента (CONTIR PIPE 2500 S-K2, 8:7, Vulcan T150) шириной 2000 мм с внешним диаметром трубчатой ленты 570 мм.

Для исследования целесообразности использования шаров в ТЛК вместо цилиндрических роликов выполнена сравнительная оценка контактного взаимодействия двух случаев: цилиндр – цилиндр и шар – цилиндр (Давыдов С. Я. [и др.]) Предпосылки создания энергосберегающих конструкций трубчатых ленточных конвейеров. «Новые огнеупоры», 2016, № 10, с. 22–26).

Свернутая в трубу лента представляет собой цилиндр, так же как и опорный ролик, а шаровая опора – шар, поэтому была выполнена сравнительная оценка контактного взаимодействия двух случаев. Расчет контактных опорных цилиндрических и шаровых роликов, одинаковых по массе, и трубчатой ленты был выполнен для ТЛК Лебединского ГОКа с использованием следующих исходных данных: радиус трубы ленты $R_1 = 0,15$ м, радиус опорного ролика или шара $R_2 = 0,054$ м, модуль упругости стали $E_1 = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона для стали $\nu_1 = 0,3$, модуль упругости резины $E = 27$ МПа, коэффициент Пуассона для резины $\nu_2 = 0,5$, модуль упругости углепластика $E_3 = 1,4 \cdot 10^5$ МПа (<http://emtc.ru/media/1444.pdf>), коэффициент Пуассона для углепластика $\nu_3 = 0,3$, насыпная плотность груза $\rho = 2100$ кг/м³, плотность ленты $\rho = 1800$ кг/м³, ширина ленты $B = 1,1$ м, толщина ленты $\delta = 0,012$ м, коэффициент заполнения $\phi = 70$ %, расстояние между роликоопорами $l = 1,2$ м. В результате выполненной работы установлено, что у шарового ролика давление больше, чем у цилиндрического, следовательно, необходимо увеличить их число.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ НПП «ВУЛКАН-ТМ» В ПРОИЗВОДСТВЕ ОГНЕУПОРОВ

(✉)

E-mail: provotorov@vulkan-tm.com

© Д. т. н. В. И. Золотухин^{1,2}, к. т. н. Е. И. Гордеев², к. т. н. Д. А. Провоторов^{1,2} (✉), А. Г. Головкин²

¹ ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия

² ООО НПП «Вулкан-ТМ», г. Тула, Россия

К новейшим разработкам НПП «Вулкан-ТМ» в производстве огнеупоров относятся комбинированные донные продувочные пробки, имеющие традиционные радиальные продувочные щели, и новый элемент — керамические трубки с продольными отверстиями диаметром не более 0,1 мм. Количество трубок и отверстий в них зависит от размеров продувочной пробки. Комбинированная пробка имеет отдельный подвод газа к радиальным щелям и керамическим трубкам. Преимуществами использования комбинированных продувочных пробок являются: обеспечение мелкодисперсных пузырьков газа; обеспечение гарантированной продувки расплава через отверстия в трубках в случае заметалливания радиальных щелей; снижение риска заметалливания радиальных щелей за счет более интенсивного образования пузырьков вблизи рабочей поверхности продувочной пробки.

В 2016 г. НПП «Вулкан-ТМ» было освоено производство разливочных стаканов-дозаторов для стопорных ковшей. Разливочные стаканы, полностью изготовленные из шпинельного бетона, зарекомендовали себя наилучшим образом. На предприятиях, в которых проходили испытания опытных партий разливочных стаканов, отмечены минимальная адгезия металла и отсутствие необходимости притирания стакана и стопорной пробки. Поверхность разливочного стакана, контактирующая со стопорной пробкой, выполняется полностью без раковин с применением инновационной технологии изготовления с использованием полиуретановых оснасток, обеспечивающих высокое качество рабочих поверхностей виброформованных огнеупорных изделий.

Кроме того, НПП «Вулкан-ТМ» разработало ряд основных типоразмеров стопорных пробок из аналогичного шпинельного бетона, обеспечивающих узлу стопорная пробка – стакан-дозатор повышенную стойкость, герметичность соединения и сниженную адгезию.

Для комплектной поставки огнеупоров ответственного назначения для стопорной разливки металла изготавливаются шпинельные трубки для шлакового пояса стопора, отличающиеся оптимально гладкой поверхностью и повышенной стойкостью по сравнению с традиционными шамотными, широко представленными на рынке. Одним из преимуществ использования трубок производства НПП «Вулкан-ТМ» является пониженная теплопроводность материала, исключающего температурные деформации металлического стержня стопора, а также увеличение габаритных размеров трубки шлакового пояса в отличие от известных шамотных трубок.

Среди новейших разработок в производстве неформованных огнеупоров следует отметить улучшенный вариант огнеупорной пасты (мертеля) марки ПО-Ш85Ф, дополнившей линейку высокотемпературных мертелей для вклейки шиберной керамики. В ходе успешных испытаний опытной партии мертеля ПО-Ш85Ф отмечена его улучшенная консистенция, исключающая подтеки и оползания, а также повышенная скорость затвердевания. Кроме того, особенностью мертеля, выгодно отличающей его от других марок, является то, что он не требует обязательной сушки. Потребителями отмечено также, что мертель ПО-Ш85Ф по своим эксплуатационным характеристикам сопоставим с мертелями европейских производителей.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ЛАЗЕРНЫЙ АНАЛИЗАТОР LEA-S500 — УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТАВА ОГНЕУПОРОВ, МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ, МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

(✉)
E-mail: sales@solinstruments.com

© В. Д. Копачевский, к. ф.-м. н. В. Н. Бойков (✉), М. А. Кривошеева, Л. А. Боброва,
Г. И. Астровская

ООО «СОЛ инструментс», г. Минск, Республика Беларусь

Лазерный анализатор элементного состава LEA-S500, реализующий технологию LIBS (laser induced breakdown spectroscopy), быстро и качественно решает задачу комплексного контроля химического состава различных материалов огнеупорной промышленности. Наряду с обычно анализируемыми основными компонентами огнеупоров и сырья для их производства (например, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , TiO_2 , Cr_2O_3) прибор позволяет получать наиболее полную информацию о составе анализируемого материала, предполагающую учет всех компонентов, влияющих на свойства материала, с суммарным их содержанием вплоть до 99,9–100,0 %. Сказанное в полной мере относится и к элементному составу металлов и сплавов. В данной технологии не существует каких-либо разграничений на «трудно» и «легко» анализируемые элементы Периодической системы (щелочные и нещелочные, легкие или тяжелые). Дополнение или расширение номенклатуры анализируемых компонентов, переход при необходимости к материалам с принципиально новым химическим составом осуществляются в рамках одних и тех же эксплуатационных параметров анализатора. При этом анализ однотипных объектов (близких по составу и свойствам) прово-

дится на таблетках порошков либо непосредственно по аналитическим сигналам поверхностных слоев на глубине до 0,5 мм (для монолитных объектов), когда пробоподготовка практически не требуется. В последнем случае при необходимости осуществляется также послойный анализ и/или анализ состава локальных включений объекта.

При отсутствии подходящих калибровочных стандартных образцов для разрабатываемого нового типа объектов или недостаточном их числе для производимых материалов используется разработанный нами метод сплавления различных проб в стеклянной матрице. Этот метод не требует использования специального дорогостоящего оборудования и платиновых или аналогичных емкостей. Он позволяет проводить аттестацию стандартных образцов предприятия новых и известных материалов на основе сравнения с аналитическими сигналами самых разнородных образцов (CRM, ГСО, ОСО, в том числе металлов и огнеупоров). Тем самым постоянно наращивается и совершенствуется метрологическая база контроля качества выпускаемой продукции. В этом смысле лазерный анализатор рассматривается как универсальная мини-лаборатория для предприятий огнеупорной промышленности.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

КРУТОНАКЛОННЫЙ ЛЕНТОЧНЫЙ КОНВЕЙЕР ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(✉)
E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. Т. Н. В. Н. Макаров (✉), к. т. н. К. В. Кокарев, к. т. н. Н. В. Макаров, В. А. Чуркин
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург, Россия

Применяемые в настоящее время при производстве огнеупоров типы конвейеров имеют ряд технических ограничений, главными из которых являются функционирование только при углах наклона 35–40 %, а также невозможность полной локализации пылеобразования. Для решения этой проблемы предлагается крутонаклонный ленточный конвейер с замкнутым рабочим объемом для транспортировки сыпучих кусковых грузов при углах наклона от 40 до 70°. Конструкция такого конвейера должна обеспечивать безопасность работы при перемещении грузов, высокую производительность, надежность и повышенную степень локализации пылеобразования.

Изучение конструкции и принципа действия известных крутонаклонных конвейеров показало, что в большинстве случаев задача по транспортированию грузов под значительным углом наклона решается за счет обжатия перемещаемого груза, т. е. увеличения силы трения, препятствующей смещению груза под действием силы тяжести. Такое конструктивное решение оправданно, когда стоит задача по перемещению

небольших или сыпучих грузов, которые легко обжимаются и способны плотно прилегать к ленте. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для перемещения негабаритных кусковых грузов при больших углах наклона необходимо нейтрализовать воздействие сил тяжести на груз.

Поскольку разрабатываемая модель конвейера предназначена прежде всего для перемещения грузов при изготовлении огнеупоров, то для ограничения мобильности таких грузов нет необходимости создавать на их пути препятствия по всему периметру насыпного контура — достаточно предусмотреть в конструкции конвейера специальные опорные стенки, препятствующие сползанию груза вниз под действием сил тяжести. При этом с боков по ходу движения конвейера груз будет фиксироваться свободными краями ленты под действием специальных рычагов, принимающих желобчатую форму (которая дополнительно служит для локализации пылеобразования). Опорные стенки должны фиксироваться на поверхности ленты конвейера и располагаться по ее длине через определенное

расстояние, что позволит на рабочем ходу конвейера формировать одинаковые секции, закрытые с одной стороны опорной стенкой, а с другой — боковыми краями ленты, принявшими желобчатую форму.

Одним из факторов, обеспечивающих возможность создания крутонаклонного конвейера для перемещения грузов на угол от 40 до 70°, является трансформация ленты конвейера — при рабочем ходу ее свободные боковые края загнутся кверху, формируя тем самым замкнутый трубчатый профиль. Однако для разгрузки и на холостом ходу боковые края ленты снова раскрываются, а при прохождении через направляющий барабан, как было сказано выше, лента полностью расправляется. Исходя из этого, был предложен следующий способ крепления опорной стенки к ленте. Так как опорная стенка в рабочем положении необходима только на период рабочего хода конвейера, когда лента принимает трубчатое положение, то ее профиль должен иметь овальный или близкий к окружности вид, поскольку требуется максимально плотное облегание краев опорной стенки лентой. Когда лента распрямляется, площадь контакта опорной стенки с лентой конвейера приближается к частному случаю определения точки соприкосновения окружности и прямой линии. Очевидно, количество этих точек тем больше, чем больше радиус окружности. Однако для данного

конкретного случая радиус опорной стенки, исходя из определенных техническим заданием конструктивных параметров разрабатываемой модели конвейера, не может превышать 80 см, поэтому необходимо обеспечить надежность соединения опорной стенки с лентой не только в трубчатом положении, но и при полном раскрытии. Таким решением стало разделение опорной стенки на три отдельных поперечных сегмента, каждый из которых имеет отдельное крепление к ленте, снижая тем самым на нее общую нагрузку. Жесткость крепления позволяет повысить надежность конструкции, а ограничение числа степеней свободы не влияет на эффективность формирования опорной стенки при соединении и перехлестывании сегментов, поскольку их движение относительно друг друга обеспечивается изгибом части ленты (при формировании трубчатой формы), на которой эти сегменты закреплены.

Использование предлагаемого крутонаклонного ленточного конвейера с поперечными перегородками позволяет значительно увеличить не только угол его наклона, но и массу транспортируемых грузов за счет более эффективного заполнения и противодействия силе тяжести. Это обеспечивает рост эффективности производства огнеупорных материалов, в частности, повышаются производительность конвейера в среднем на 16 %, степень локализации пылеобразования на 59 %.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ИННОВАЦИОННАЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОГО ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. т. н. **В. Н. Макаров** (✉), **В. А. Чуркин**, к. т. н. **Н. В. Макаров**

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

Технологические процессы, связанные с получением огнеупорных материалов, связаны с переработкой и транспортировкой мелкодисперсных фракций, что приводит к неизбежному присутствию в воздухе определенного объема взвешенных веществ.

В данной разработке предложено комплексное высокопроизводительное техническое решение, позволяющее эффективно подавлять как крупные, так и мелкие частицы пыли без какой-либо перенастройки установки динамического пылеподавления. Для точечного аэрогидроконтроля среды обогащения полезных ископаемых, сокращения количества вспомогательных устройств (вентиляторов, пылеуловителей), снижения финансовых и трудовых затрат были запланированы внедрение способа равномерного смешивания аэро- и гидросреды, а также исследование и разработка оптимальной конструкции проточной части форсунки для получения оптимального способа распыления.

Принцип действия системы следующий. Установка динамического пылеподавления содержит блок управления, источник высокого давления, форсунки тонкого распыления, воздухопроводы и водяные магистраль, емкости сифонного типа с ионизированной водой противоположной полярности, причем в емкостях сифонного типа установлены перфорированные барботажные воздухопроводы. В баки с барботажными

трубками подается ионизированная жидкость, которая затем параллельно с воздухом через трубопровод подается на форсунки; при этом давление непостоянно и регулируется генератором колебаний. В итоге из форсунок с разным импульсом выходит ионизированная водовоздушная смесь в зависимости от давления в диапазоне от одиночных крупных капель до состояния так называемого тумана. Попадая на крупные частицы пыли, водовоздушные капли прибавляют их вниз за счет сил тяжести, значительно увеличивая их массу, а мелкие фракции притягиваются благодаря статическому притяжению. Такой подход обеспечивает инновационность этой разработки. Во-первых, в системе используется не обычная жидкость, а ионизированная. Во-вторых, благодаря использованию ионизированной жидкости и переменному давлению на выходе образуются разные капли водовоздушной смеси — мелкие и крупные. Мелкие капли притягивают самые мелкие частицы пыли, а крупные капли, попадая на крупные частицы пыли, под действием сил тяжести подавляют их. Таким образом, система пылеподавления оказывает комплексное воздействие практически на всю пыль. В-третьих, используется особая вихревая форсунка специальной конструкции, которая разработана на основе математической модели диффузионных потоков, обеспечивающей высокое давление на выходе (10 ат)

при сравнительно низком расходе жидкости (4 л/мин) и покрытие рабочей зоны площадью до 25 м². Поступающие по трубопроводам воздух и ионизированная жидкость смешиваются в форсунке и за счет ее конструкции закручиваются особым образом, получая дополнительное ускорение и вращательное движение, увеличивая тем самым эффективность угла смачивания при контакте с частицей пыли.

Главный результат оценки эффективности разрабатываемой установки пылеподавления — объем остаточной пыли; по данным проведенных промышленных

испытаний, он составляет 7–12 % от исходного значения показателя. Кроме того, планируется увеличение показателей уровня покрытия пылезащитной среды на фабриках по производству огнеупорных материалов, снижение энергозатрат на обеспыливание фабрик на 30 % и повышение эффективности пылеподавления в массовом объеме пыли не менее чем на 12 %. Наряду с экономическим эффектом установка динамических систем пылеподавления снизит влияние вредных веществ на организм человека и повысит уровень безопасности при производстве огнеупоров.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

СОВРЕМЕННОЕ ФУТЕРОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(✉)
E-mail: andrey@cemmet.com

© А. С. Спицин (✉)
Фирма «Bricking Solutions» Inc., г. Монро, США

Предприятия цветной и черной металлургии эксплуатируют различные тепловые агрегаты, в том числе вращающиеся печи, например для обжига известки или кальцинации глинозема. В последние годы в Российской Федерации наметилась устойчивая тенденция к внедрению современного и эффективного способа укладки огнеупоров во вращающиеся печи методом кольцевой кладки. Предпосылкой таких изменений стал более чем полувековой успешный опыт эксплуатации кольцевой футеровки в зарубежных странах в печах этого типа. Накопленный за десятки лет производственный опыт позволяет утверждать, что использование кольцевой кладки обеспечивает более высокую стойкость футеровки. Кроме того, этот метод укладки более эффективен с точки зрения скорости ведения монтажа, а также значительно более безопасен.

Для обеспечения высокого качества монтажа огнеупорного кирпича «в кольцо» необходимо использовать соответствующее футеровочное оборудование. Основанная в 1966 г. в США фирма «Bricking Solutions», Inc. является мировым лидером в производстве такого рода оборудования. Номенклатура продукции: футеровочные машины EZFLEX 50 для вращающихся печей; трапы доступа в печь; подвесные футеровочные платформы для шахтных печей; ленточные конвейеры и системы подачи огнеупоров в печь; клетки безопасности для осмотра печи; приборы для разметки печи под футеровку (Radialign).

Более подробная информация доступна на сайте фирмы www.bricksolutions.com и русскоязычном сайте www.cemmet.ru.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

РАЗРАБОТКА И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ И ОГНЕУПОРНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

(✉)
E-mail: uralniist@mail.ru

© К. Т. н. В. А. Абызов¹ (✉), К. Т. н. В. А. Магилат²
¹ ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск, Россия
² ЗАО «Баштепломонтаж», г. Уфа, Россия

На основании научно-исследовательских работ, выполненных НИИЖБ совместно с проектными и монтажными организациями, была разработана технология строительства дымовых труб из крупноразмерных изделий (царг) из жаростойкого железобетона. Это позволило исключить применение огнеупорного кирпича, механизировать работы, значительно снизить стоимость и сроки строительства. Для централизованного производства царг трестом «Тепломонтаж» был создан Уфимский опытный завод индустриального трубостроения (УОЗИТ), позднее преобразованный в «Баштепломонтаж».

Для изготовления элементов дымовых труб применяли жаростойкий бетон на портландцементе,

тонкомолотом шамоте и шамотных заполнителях. При повышенных температурах дымовых газов внутреннюю поверхность защищали слоем из легкого бетона на жидком стекле и покрывали кислотостойким раствором. Позднее УОЗИТом была разработана технология облицовки наружных поверхностей конструктивных элементов керамической плиткой, позволившая не окрашивать трубы. Помимо элементов дымовых труб, изготавливали изделия для различных тепловых агрегатов, годовая программа составляла 7–10 тыс. м³.

Опытным заводом, УралНИИСтромпроектом и НИИЖБ проведены работы по получению заполнителей, добавок и отвердителей для жаростойких бетонов и

растворов на основе промышленных отходов. Установлено, что в качестве заполнителей может применяться шлак от выплавки высокоуглеродистого феррохрома ЧЭМК, вторичный шамот, а также отсева доменного шлака. Минеральный состав шлака высокоуглеродистого феррохрома представлен в основном огнеупорными соединениями: шпинелью, форстеритом и хромитом. Шлаки отличаются высокой прочностью. На заполнители были разработаны ТУ 14-11-38-96 «Заполнители из шлака высокоуглеродистого феррохрома для жаростойкого бетона». Изучение свойств бетона на заполнителе из боя шамотного кирпича показало, что он не уступает бетону на шамотном заполнителе и может применяться при 1100–1400 °С. На шлакопортландцементе, отсевах доменного шлака и пемзы ЧМЗ получены бетоны с температурой применения 700–800 °С. Так как для изготовления дымовых труб необходим бетон со средней плотностью не более 2200 кг/м³, для снижения средней плотности бетонов используют добавки пемзы из доменных шлаков ЧМК.

В качестве отвердителя жидкого стекла в тяжёлых и легких жаростойких бетонах и растворах вместо кремнефтористого натрия был применен самораспадающийся феррохромовый шлак ЧЭМК по ТУ 14-11-181-89. Это позволило ускорить набор прочности, повысить стойкость к водяным парам. При изготовлении кислотостойкого раствора и жаростойкого бетона как тонкомолотую добавку использовали фер-

ромолибденовый шлак ЧЭМК, что позволило заменить им диабазовую и андезитовую муку. Были разработаны ТУ 14-6-0290035-40–96 «Тонкомолотые добавки из ферромолибденового шлака для жаростойких и кислотостойких бетонов». Помимо ферромолибденового шлака, в качестве тонкомолотой добавки использовали отработанный алюмохромовый катализатор ИМ 2201 по ТУ 38.103544–89 Стерлитамакского завода синтетического каучука — дисперсный порошок с содержанием Al_2O_3 не менее 70 %. Он применяется в качестве тонкомолотой добавки в бетонах на портландцементе и жидком стекле с температурой применения до 1200 °С. На основе шамота, дисперсных отходов корундового производства, синтетического каучука и фосфатных связующих разработан жаростойкий газобетон со средней плотностью 400–1000 кг/м³ и температурой применения 1500–1600 °С.

В течение 1996–2001 гг. с ЧЭМК и ЧМЗ на Баштепломонтаж было поставлено железнодорожным транспортом более 40 тыс. т шлаков и боя вторичного шамота. Из жаростойкого железобетона на шлаковых заполнителях были изготовлены конструктивные элементы, из которых построено 25 дымовых труб высотой 30–64 м и диаметром 1,2–3,2 м и более 100 дымовых труб из бетона на вторичном шамоте. Таким образом, применение заполнителей и тонкомолотых добавок на основе промышленных отходов позволило расширить сырьевую базу, заменив традиционные материалы, и снизить себестоимость жаростойких материалов в 3–4 раза.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: uralniist@mail.ru

ФОСФАТНЫЕ ЖАРОСТОЙКИЕ КЛЕИ И ГАЗОБЕТОН НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

© К. Т. н. В. А. Абызов¹ (✉), Е. Н. Ряховский², Н. Е. Посаднова¹

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

² ООО «Уралбоксит», г. Челябинск, Россия

Стойкость футеровки из штучных огнеупоров в определенной степени зависит от свойств материала, скрепляющего ее. В то время как мертели набирают прочность в процессе спекания, клеи на фосфатных связующих приобретают высокие физико-механические свойства уже после сушки. Для снижения себестоимости клеев целесообразно использовать в качестве сырья дисперсные промышленные отходы.

Южно-Уральским государственным университетом и предприятием «Уралбоксит» разработаны огнеупорные клеи на основе дисперсных наполнителей из промышленных отходов. В качестве отходов были использованы отработанный алюмохромовый катализатор нефтехимического производства с удельной поверхностью 3400–4500 см²/г, содержанием Al_2O_3 70–76 % и Cr_2O_3 9–14 %, а также алюмосиликатные отходы — пыль с фильтров шамотного производства с содержанием около 31 % Al_2O_3 и зола уноса ТЭС — около 27 % Al_2O_3 . Это позволило существенно снизить себестоимость материалов, расширить сырьевую базу, отказаться от помола сырьевых компонентов, так как отходы обладают требуемой дисперсностью.

Клей представляет собой суспензию дисперсного порошка в жидкой алюмосиликофосфатной связке, хорошо наносящуюся на поверхность шамотных, муллитокремнеземистых и муллитокорундовых изделий. Сроки хранения готового клея до 3 мес с сохранением однородности, без существенного изменения вязкости. Разработанные клеи превосходят существующие аналоги по срокам сохранения свойств в жидком состоянии. Установлено, что предел прочности клея при сдвиге после сушки составляет 2–3,5 МПа, после нагрева до температуры применения от 2 до 6 МПа в зависимости от исходного состава. Продукты твердения в фосфатном клее после нагрева до температуры применения представлены высокоогнеупорными соединениями, главным образом $\alpha-Al_2O_3$, муллитом, $AlPO_4$ кристобалитового типа. При этом, по данным электронной микроскопии, фосфаты алюминия и хрома образуют плотную мелкокристаллическую массу, фосфаты хрома не образуют отдельных скоплений.

Исследование огнеупорных свойств показало, что фосфатный огнеупорный клей может использоваться в футеровке с температурой эксплуатации 1650–1750 °С.

Состав и свойства клея регламентируются ТУ 1526-002-53829862–2001 «Клей огнеупорный»; налажено промышленное производство.

С добавками дисперсных алюмосиликатных отходов на шамотном заполнителе и золе был разработан жаростойкий фосфатный газобетон, твердеющий в режиме самораспространяющейся экзотермической реакции, за счет взаимодействия связующего и дисперсного металлического алюминия. Газобетон характеризуется средней плотностью 400–800 кг/м³, пределом прочности при сжатии 1,0–3,5 МПа и температурой применения 1300–1350 °С.

Накоплен опыт использования огнеупорного клея в футеровке различных тепловых агрегатов — в арматурной зоне промежуточных ковшей, футеровке нагревательных печей, а также для кладки вертикальных каналов, торцевых стен и сводов мартеновских печей. Межремонтные сроки футеровки нагревательных печей увеличились более чем вдвое. Улучшились теплотехнические характеристики работы печей за счет повышения плотности швов. В настоящее время ведутся работы по совершенствованию фосфатных клеев и расширению областей применения. В Уралбоксите осуществляется промышленное производство разработанных материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА ПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ИЗ ПАРАВОЛЬФРАМАТА АММОНИЯ

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. х. н. **Р. А. Апакашев**, д. т. н. **С. А. Давыдов** (✉)

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

Карбид вольфрама WC — один из основных компонентов специальной керамики, характеризующейся длительной высокотемпературной стойкостью. Распространенный способ производства специальной керамики — спекание порошков. Получение исходных порошков различных материалов является затратным процессом и влияет на стоимость конечной продукции, поэтому оптимизация технологических параметров синтеза порошков для снижения их себестоимости является актуальной. Объект исследований — технологический метод получения высокодисперсного карбида вольфрама восстановлением порошка паравольфрамата аммония (Способ синтеза высокодисперсного порошка карбида вольфрама // Новые огнеупоры. 2015. № 3. С. 19). Метод способен обеспечить существенное энергосбережение за счет варьирования температуры и длительности синтеза, а также дополнительно позволяет снизить материальные затраты на получение карбида за счет использования доступного вольфрамсодержащего сырья.

Шихту из паравольфрамата аммония и восстановителя готовили тщательным перемешиванием навесок паравольфрамата аммония и активированного угля. Активированный уголь брали в фиксированном избытке. Превышение стехиометрического количества углерода в шихте, необходимого для образования карбида вольфрама WC, составляло от 20 до 40 %. Шихту прессовали в форме брикетов и вносили в реактор. Соотношение суммарного объема прессованных заготовок и внутреннего пространства реактора варьировали, помещая в реактор блоки шамота. Внутреннее пространство реактора герметизировали с помощью огнеупорной замазки и соединяли с атмосферой через гидрозатвор. Реактор устанавливали в высокотемпературную камерную печь, оборудованную термоконтроллером для электронного управления нагревом. Печь выдерживали заданное время при фиксированной температуре. После высокотемпературной выдержки реактор охлаждали до комнатной температуры. Брикеты подвергали механическому разрушению, раздавливая в агатовой ступке. Из-за высокой пористости и отсутствия агломерации частиц брикеты

легко рассыпались. Продукт синтеза — карбид вольфрама отмывали от свободного углерода материала сначала водой, а затем этиловым спиртом.

Всего в настоящей работе проведено 9 синтезов при различных технологических параметрах процесса. Исследовали влияние на выход WC давления прессования исходной шихты, количества углеродного материала в шихте, соотношения объема прессованных заготовок и внутреннего пространства реакционного контейнера, температуры и длительности синтеза. Практический выход WC рассчитывали в процентах от максимально возможного теоретического выхода. Для определения теоретического выхода WC учитывали стехиометрическое количество вольфрама, содержащегося в исходной навеске паравольфрамата аммония. Выход WC в каждом синтезе рассчитывали как среднюю величину из трех значений (по трем образцам в каждой серии). Аттестацию образцов полученного WC проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа «CarlZeiss EVO 40», оборудованного приставкой для химического микроанализа.

На основании результатов проведенных экспериментов определены оптимальные технологические параметры процесса синтеза порошка WC, обеспечивающие высокий (94–98 %) практический выход продукта. Соответствующая оптимальная температура синтеза не ниже 1050 °С при длительности синтеза 3,5 ч. Установлено, что синтезированный при оптимальных параметрах WC по содержанию углерода близок к стехиометрической формуле WC. Массовая доля углерода в частицах порошка не выходит за пределы интервала 5,8–6,2 %. Разложение паравольфрамата аммония происходит с выделением газообразных продуктов, не загрязняющих синтезируемый карбид, что подтверждается результатами аттестации образцов синтезированного WC. Из примесных элементов установлено присутствие кислорода, массовая доля которого в отдельных частицах достигает 2,1 %. В синтезированном материале отмечается присутствие частиц WC размерами 100–200 нм и 2,0–8,0 мкм. Морфология полученного порошка представлена относительно крупными частицами WC, окруженными более мелкими.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail:

belog_oa@chemy.kolasc.net.ru

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЮМОФОСФАТНОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КАРБИДИЗИРОВАННЫХ ГРАНУЛ
КИАНИТОВОЙ РУДЫ**© К. т. н. **О. А. Белогурова** (✉), д. т. н. **В. А. Матвеев, 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

Показана возможность использования некондиционного, непластичного природного алюмосиликатного сырья Мурманской области, а именно сырой кианитовой руды, для создания как плотных, так и теплоизоляционных огнеупорных материалов с применением алюмофосфатной связки (АФС) и γ -глинозема. АФС и γ - Al_2O_3 получены из гидроксида алюминия, который является промежуточным продуктом в технологической схеме производства глинозема на предприятии «Базэлцемент-Пикалево».

Содержание основных компонентов шихты для получения теплоизоляции, мас. %: карбидизированные гранулы из кианитовой руды 85, алюминиевая пудра 0,3–1, γ -глинозем 15. Плотность АФС 1427–1600 кг/м³. При подготовке к формованию шихту увлажняли лигносульфонатом (ЛСТ), затем АФС, перемешивали и заливали в форму. Соотношение АФС:ЛСТ 100:0, 50:50 и 40:60. Для завершения процесса вспучивания были выбраны следующие условия: первичная сушка при комнатной температуре в течение 2 сут, затем термообработка при 50 °С в течение 1 сут. Теплоизоляционный материал обжигали при 500–1000 °С в восстановительной среде. Плотность полученных теплоизоляционных материалов 647–744 кг/м³, изменение объема (усадка)

0,7–1,5 %, теплопроводность 0,141–0,170 Вт/(м·К). Выявлена зависимость физико-технических характеристик теплоизоляции от состава комбинированной связки, температурного режима обжига и количества в шихте алюминиевой пудры.

Состав для получения плотных огнеупоров, мас. %: карбидизированные гранулы 55, сырая кианитовая руда 30–35, γ -глинозем 10–15. В качестве связки использованы ЛСТ совместно с АФС. Соотношение АФС:ЛСТ 100:0, 50:50 и 70:30. Образцы обжигали при 1450 °С в засыпке из коксика. Свойства полученных материалов: кажущаяся плотность 1550–1800 кг/м³, пористость 30–40 %. Объем образцов увеличился на 2–4 %, вероятно за счет перехода γ -глинозема в α -форму. В предыдущих исследованиях было отмечено, что введение сырой кианитовой руды фракции мельче 0,063 мм в шихту на основе карбидизированных гранул обусловило постоянство объема после обжига, в изученных составах отсутствовал γ - Al_2O_3 . Дальнейшее исследование предполагает изучение более широкого спектра свойств и графическую интерпретацию влияния состава шихты на показатели кажущейся плотности, изменения объема, водопоглощения, открытой пористости, прочности и термостойкости.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail:

dina_hussien2002@yahoo.com

**КАРБИДНАЯ/НИТРИДНАЯ КЕРАМИКА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ
В СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**© **Д. Х. А. Бесиса**^{1,2} (✉), **И. М. М. Эвайс**¹, **Я. М. З. Ахмед**¹, **Ф. И. Эльхосины**³, **Д. В. Кузнецов**²¹ Центральный металлургический R&D институт (CMRDI), г. Каир, Египет² ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС», Москва, Россия³ Университет Айн-Шамс, г. Каир, Египет

Возможность преобразовать солнечную энергию в тепловую может стать базой для развития экологически безопасной и рассчитанной на длительную перспективу энергетики. Можно ожидать, что технология солнечной электростанции башенного типа будет способствовать производству большого количества электроэнергии, концентрированной из солнечного излучения в странах с высокими солнечными ресурсами.

В настоящей работе методом синтеза без применения давления получены новые керамические композиционные материалы на основе SiC/AlN для объемных приемников солнечной энергии, используемых в высокотемпературном оборудовании и солнечной технологии. Композиты SiC/AlN получены с разным содержанием AlN (от 0 до 40 %). Исследовали влияние атмосферы спекания, добавок, темпера-

туры и длительности спекания на процесс спекания и уплотнение керамики. Оценены качество и технические характеристики полученных композитов, выполнен анализ методом рентгеновской дифракции, денситометрический, автоэлектронной сканирующей микроскопии, а также термический. Результаты показали, что разные композиты SiC/AlN, полученные методом спекания без применения давления, имеют максимальную относительную плотность 80 % при 2080 °С при выдержке 1 ч в атмосфере Ar/вакуум с использованием добавок Al + иттрий. Композиты имеют совершенную микроструктуру с однородным распределением и полностью гомогенными твердыми растворами AlN и SiC. По результатам наших исследований, термические свойства композитов SiC/AlN весьма обещающие и позволяют использовать их в солнечной и высокотемпературной индустрии.

ОСОБЕННОСТИ ОБЪЕМНОГО СИЛИЦИРОВАНИЯ МНОГОМЕРНО-АРМИРОВАННЫХ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: nikbardin@mail.ru

© И. А. Бубненко¹, Ю. И. Кошелев¹, Н. Г. Бардин² (✉), А. А. Швецов², Н. Н. Степарева¹,
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

Значительное количество отечественных и зарубежных публикаций посвящено исследованию композитов типа C/C-SiC с двумя и тремя направлениями армирования, однако мало внимания уделено изучению особенностей силицирования многомерно-армированных УУКМ, например с четырьмя направлениями армирования. Как показывают многочисленные исследования, данные композиты обладают более изотропными свойствами и лишены таких недостатков 2D- и 3D-УУКМ, как, соответственно, низкий предел прочности на межслоевой сдвиг и высокая вероятность вытягивания углеродных нитей вдоль направления Z в процессе эксплуатации. Кроме того, введение дополнительных рядов волокон позволяет увеличить размер каналов в каркасе и получить более высокую открытую пористость, что благоприятно сказывается на объемной пропитке такого материала расплавом кремния при получении карбидной матрицы.

В данной работе согласно технологии получения углерод-углеродной основы, предполагающей пропитку каркаса из углеродных стержней средне-температурным и высокотемпературным пеком с последующими карбонизацией и высокотемпературной обработкой (ПКД+ВТО), пористость 4D-основы для силицирования регулировали количеством циклов ПКД+ВТО, которое варьировалось от 1 до 5. Таким образом, были получены образцы 4D-УУКМ различной пористости, которые были подвергнуты жидкофазной пропитке кремнием в электровакуумной печи.

Результаты анализа фазового состава силицированного материала и расчета степени пропитки

УУКМ кремнием показали, что максимум содержания карбидной фазы (около 30 %) со степенью пропитки около 50 % может быть получен после проведения двух циклов пропитки и карбонизации под давлением. Оптимальными параметрами углерод-углеродной основы для силицирования при этом являются: открытая пористость ~25 %, средняя пористость 1,55–1,60 г/см³, преобладающий диаметр пор 25–50 мкм, средний диаметр пор ~50 мкм. Исследование высоты пропитки 4D-углерод-углеродной основы расплавом кремния в различных направлениях армирования показало, что скорость пропитки УУКМ в направлении X более высокая, чем в направлении Z. Например, при температуре силицирования 1900 °C за одно и то же время (600 с) кремний поднялся на высоту 9,1 см в направлении X и на 8,4 см в направлении Z. Данная тенденция, которая, предположительно, связана с особенностями схемы армирования 4D-УУКМ, а также с неравномерностью усадки матрицы материала в течение процесса карбонизации, подтверждается и при пропитке углерод-углеродной основы органическими растворителями. Зависимости высоты пропитки 4D-УУКМ кремнием от времени силицирования имеют параболический вид: при достижении некоторого времени увеличения высоты поднятия фронта пропитки кремнием не происходит. Это связано, по всей видимости, с зарастанием транспортных пор образовавшимся карбидом кремния, что подтверждается результатами исследования толщины слоя SiC при различных температурах и времени силицирования.

ВЛИЯНИЕ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЗЕРНА УГЛЕРОДНОЙ ОСНОВЫ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ СРЕДНЕЗЕРНИСТОГО СИЛИЦИРОВАННОГО ГРАФИТА

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: alexshvezcov@gmail.com

© И. А. Бубненко¹, Ю. И. Кошелев¹, А. А. Швецов² (✉), Н. Г. Бардин², Н. Н. Степарева¹,
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

Мнения различных исследователей по вопросу влияния среднего размера зерна углеродной основы на фазовый состав среднезернистого силицированного графита расходятся. Одни считают, что использование углеродной основы со средним размером зерна менее 50 мкм нецелесообразно, другие — что возможна ее полная пропитка и с меньшим размером среднего зерна углеродной основы. По всей видимости, полной пропитки можно добиться, уменьшая средний размер зерна углеродной основы до определенного значения, которое при постоянстве других параметров может явиться крити-

ческим. Проведено исследование, с помощью которого определили критическое значение среднего размера зерна углеродной основы. Для этого использовали наполнитель на основе искусственного графита со степенью графитации более 0,67. Размеры образцов: диаметр 50, высота 50 мм.

В результате экспериментов установлено, что существует узкий диапазон преобладающего диаметра частиц, равный 18–35 мкм, при котором содержание карбида кремния в силицированном графите составляет около 85 мас. %. Эта зависимость носит экстре-

мальный характер. С одной стороны, происходит интенсивное образование SiC на стенках капилляров за счет высокой удельной поверхности пор, с другой — происходит уменьшение диаметра капилляра, что препятствует дальнейшему проникновению Si по глубине заготовки.

Для управления фазовым составом среднезернистого силицированного графита необходим строгий контроль распределения гранулометрического состава в узком диапазоне зернистостей. Следует отметить, что для образцов разных габаритов из силицированного графита критический размер зерна и, следовательно, диаметра капилляра будет различаться. Это следует из того, что уровень внутренних напряжений, вызванных только градиентом температур в заготовке, прямо пропорционален градиенту температур и характеристическому размеру во второй степени. Такую задачу трудно решить рассевом углеродного порошка на промышленных ситах, минимальный размер ячеек которых менее 50 мкм. Возможным решением является подбор режимов работы различного помольного

оборудования с постоянным контролем получаемого углеродного наполнителя на специальном приборе, позволяющем анализировать распределение гранулометрического состава углеродного наполнителя менее 50 мкм.

Из анализа данных лазерной дифрактограммы распределения частиц по размерам в углеродной шихте для силицирования следует, что в полностью пропитанной заготовке с наиболее высоким содержанием SiC минимальный размер частиц составлял 1–2, максимальный 124–127, средний 37–40 мкм. Возможен также подбор фракционного состава при некотором увеличении среднего размера зерна углеродного наполнителя. В данном эксперименте использовали отношения содержания фракций (50–100) X_1 и (70–150) X_2 на заготовках углеродной основы, максимальный размер зерен графита в которых не превышает 150 мкм. С ростом содержания более крупных частиц относительной фракции X_1/X_2 , которая определяет критический размер в капилляре в углеродной основе, можно получить полностью пропитанный кремнием образец.

ВЯЗКОСТЬ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ОБРАЗОВАННЫХ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОГО ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕГО И ШЛАКООБРАЗУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА Изотерм-1600-B-01

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: vildanov@ogneupor.net

© К. т. н. **С. К. Вильданов**¹ (✉), **А. В. Лиходиевский**², д. т. н. **А. Н. Пыриков**²

¹ ФГАУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

² ООО «ОгнеупорТрейдГрупп», Москва, Россия

В настоящее время все большее распространение при непрерывной разливке стали получают так называемые «универсальные» теплоизолирующие и шлакообразующие материалы. Термин универсальные означает, что эти материалы сочетают в себе свойства эффективных теплоизоляторов и шлакообразователей. Их применение в отличие от стандартной схемы подачи на металлический расплав шлакообразующего материала, а затем подачи на оксидный или оксифторидный расплав теплоизолирующего материала, очевидно, сокращает количество технологических операций до однократно нанесения универсального материала на расплав.

Требования, предъявляемые к таким универсальным материалам, достаточно жесткие. Во-первых, подплавляющаяся часть универсального материала должна быстро и в достаточном количестве образовывать на поверхности расплава металла оксидную фазу, надежно предохраняющую металл от окислительного воздействия кислорода воздуха. Во-вторых, оставшаяся часть материала должна сохранять твердое сыпучее состояние в течение достаточно длительного времени и играть основную роль как собственно теплоизолятора, предотвращающего потерю тепловой энергии расплава на конвекцию и излучение. В-третьих, ингредиентный состав универсального материала должен быть максимально инертным по отношению к магнезиальной и алюмосиликатной футеровке, например промежуточного ковша. Скорости протекания химических реакций в жидкой фазе многократно превосходят скорости протекания твердо-

фазных реакций, поэтому изучение свойств оксидных композиций в жидкой фазе, образованных компонентами универсального материала, весьма актуально.

Нами впервые измерена вязкость низкоосновных оксидных композиций с содержанием SiO₂ до 80 % и Al₂O₃ до 20 %, образованных неорганической частью универсального материала Изотерм-1600-B-01, разработанного и запатентованного в компании «ОгнеупорТрейдГрупп». Некоторые физико-химические характеристики материала: массовая доля, %: SiO₂ 30–80, Al₂O₃ не более 20, (S + P) не более 0,3, C_{общ} 3–30; влажность не более 1 %, зернистость <7 мм, температура начала размягчения (1500 ± 50) °C, насыпная плотность 170–290 кг/м³.

Вязкость оксидных композиций измеряли на высокотемпературном ротационном электровязкозиметре ЭВИ-K81, сконструированном и изготовленном в Научно-исследовательском физико-техническом институте Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского с учетом поправочных коэффициентов, вводимых при измерениях в области высоких значений вязкости (>1000 Пз). Калибровку прибора для низких значений вязкости (<100 П) осуществляли по синтетическому оксидному раствору (шлаку) типа доменного следующего состава, %: CaO 39, SiO₂ 36, Al₂O₃ 15, MgO 10, для значений вязкости выше 1000 П — по расплаву оконного стекла следующего состава, %: SiO₂ 72,8, Na₂O 15,8, CaO 10,5, Al₂O₃ 0,5, FeO 0,2, Fe₂O₃ 0,2. Температурный диапазон измерений был ограничен высокотемпературной областью 1550–1650 °C.

При более низких температурах значения вязкости составляют 104–104,5 П; провести градуировку вискозиметра с приемлемой точностью не представилось возможным. В области высоких температур общая ошибка в измерении вязкости существенно снижается, хотя и составляет в лучшем случае 10 %. Исследуемые составы обладают значительной вязкостью даже в высокотемпературной области, существенно превышающей вязкость доменных шлаков. Высокие значения вязкости оксидного раствора в области относительно низких температур на границе раздела твердая фаза – двухфазная область (жидкость – твердая фаза) позволяют материалу довольно длительное время сохра-

нять твердое сыпучее состояние. При этом тепловые и химические условия, создающиеся на поверхности жидкого металла, формируют небольшой (до 30 мм), но достаточно жидкоподвижный слой оксидного раствора, выполняющего роль защиты жидкого металла от окисления кислородом воздуха.

Такая температурная зависимость вязкости является одним из важных факторов, который в конечном итоге и обеспечивает при надлежащем подборе ингредиентного состава материала рациональное соотношение между жидкой фазой, образованной неорганической частью материала, и его твердой фазой, что и определяет универсальность свойств материала в целом.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕЕ ОГНЕЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© С. А. Глазырин¹, д. х. н. Р. А. Апакашев², д. т. н. Н. Г. Валиев², д. т. н. С. Я. Давыдов² (✉),

С. С. Глазырин¹

¹ ООО НПЦ «Уральский инновационный центр энергосбережения», г. Екатеринбург, Россия

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

Для предотвращения критического нагревания металлических конструкций под действием источника тепла необходимо использовать специальные огнеупорные составы с теплоизолирующими и огнезащитными свойствами, наносимые на поверхность металлоконструкций. Широкое распространение получили составы защитных покрытий на основе микросфер из боросиликатного стекла в композиции с жидким стеклом, способные выдерживать действие высоких температур. Смеси на основе жидкого стекла также выдерживают непосредственное огневое воздействие. Несмотря на большое количество известных подобных составов, поиск новых термостойких материалов для повышения защитной эффективности покрытий является актуальным.

Цель настоящей работы — разработка эффективного огнезащитного покрытия на основе жидкого стекла и огнеупорных вторичных материалов кварцевого производства с высокими теплоизоляционными свойствами и длительной огнестойкостью. Предложен состав тонкослойного покрытия с тепло- и огнезащитными свойствами, содержащий основу из вакуумированных микросфер боросиликатного стекла и утилизированного вторичного продукта кварцевого производства, неорганическое связующее из смеси натриевого жидкого стекла, огнеупорной глины и высокодисперсного коллоидного раствора SiO₂, а также модифицирующие добавки ZrO₂, MgO, TiO₂ и пластификатор. Вакуумированные микросферы боросиликатного стекла имеют низкую теплопроводность. Применение микросфер необходимо для обеспечения теплоизолирующих свойств тонкослойных покрытий. Включение микросфер в состав основы теплоизолирующего покрытия обеспечивает также высокую текучесть исходной смеси при нанесении, поэтому ее легко разбрызгивать, нагнетать насосом, наносить кистью и т. д. Сферические наполнители благодаря своей форме снижают усадочную деформацию. При высокой концентрации сферы уплотнены, но дальнейшего уплотнения не происходит, как это может случиться с наполнителями неправильной формы в процессе испарения воды.

Для повышения фактической огнестойкости защитного покрытия в настоящей работе использовали вторич-

ный продукт автоклавного производства синтетических кристаллов кварца для электронной промышленности. На основании серии экспериментов с применением рентгеновского энергодисперсионного анализа (растровый электронный микроскоп JEOL, система Analysis Station JED-2300) установлено, что вторичный продукт имеет стабильный химический состав, близкий к составу промышленно выпускаемых алюмосиликатных микросфер АСПМ-400 (ТУ 5717-001-11843486–2004). Алюмосиликаты и силикат кальция, содержащиеся в алюмосиликатных микросферах, а также в побочном продукте, имеют температуру плавления значительно выше, чем температура размягчения синтетического боросиликатного стекла, поэтому дополнительное их введение в состав защитного покрытия повышает его огнестойкость.

Для проведения огневых испытаний использовали стенд с ванной, изготовленной на базе швеллера шириной 150 мм. Для обеспечения устойчивости пламени вокруг стенда была выложена стенка из огнеупорного кирпича высотой 500 мм. Установлено, что огнезащитная эффективность по металлу при толщине сухого слоя покрытия 2,6 мм и приведенной толщине металла 5,8 мм составляет 90 мин (ГОСТ Р 53295). Теплопроводность защитного покрытия определяли методом эталона, используя в качестве эталона металлическую медь. Для отладки методики проводили исследования для шамота ШЛ-0,4. Установлено, что теплопроводность покрытия в нанесенном состоянии при комнатной температуре не превышает $1 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К).

Таким образом, разработано огнезащитное покрытие с высокими теплоизоляционными свойствами и длительной огнестойкостью на основе жидкого стекла, микросфер из боросиликатного стекла и вторичного огнеупорного материала кварцевого производства. Установлены оптимальные параметры состава защитного покрытия, определены его основные эксплуатационные характеристики. Разработанное защитное покрытие является универсальным и рекомендуется для теплоизоляции и огнезащиты металлических, бетонных, кирпичных и других поверхностей.



E-mail: gorlanove@yandex.ru

© К. Т. Н. Е. С. Горланов¹ (✉), Д. Т. Н. В. Ю. Бажин², С. Н. Федоров²¹ ООО «ЭКСПЕРТ-АЛ», Санкт-Петербург, Россия² ФГБОУ ВО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

В системе Ti-B-C-O образуется ряд известных соединений TiB₂, TiC и B₄C, имеющих большое значение для народно-хозяйственного развития. Однако сложность высокотемпературного (1500–2000 °C) производства порошков этих материалов обуславливает их высокую стоимость и накладывает серьезные ограничения на использование в различных отраслях промышленности. В этой связи предпринята попытка снять это ограничение разработкой технологии низкотемпературного синтеза тугоплавких соединений в системе Ti-B-O-C.

Для дополнительной активации карботермического восстановления эндотермического реакционного процесса $TiO_2 + B_2O_3 + 5C \rightleftharpoons TiB_2 + 5CO$ при 1030–1070 °C предварительно разработана и реализована золь-гель технология подготовки (допирования) TiO₂ по схеме: $TiO_2 \cdot xH_2O \rightarrow Ti(OH)_{2-x}F_x \downarrow \rightarrow TiO_{2-x}F_x \rightarrow a-TiO_{2-x}F_x$. Модифицированный фтором оксид титана $a-TiO_{2-x}F_x$ позволял сместить анатаз – рутил-трансформацию $a-TiO_{2-x} \rightarrow r-TiO_2$ (ART) из интервала 700–800 °C в область 800–1100 °C, при которых становится возможным осуществлять синтез оксикарбоборидов титана. В период ART происходит перестройка порядка кристаллической решетки и стимулируется реакционная способность оксида титана $a-TiO_{2-x}F_x$. После допирования исходного аморфного оксида титана в его гелеобразный раствор $Ti(OH)_{2-x}F_x$ последовательно при постоянном перемешивании добавляли остальные компоненты реакционной смеси: H₃BO₃ и углерод в виде сахарозы до различных молярных соотношений $TiO_2 : B_2O_3 : C$. Готовую смесь сушили и нагревали до температур синтеза 1030–1070 °C в водоохлаждаемой герметичной ячейке с возможностью регулировки газовой среды. По окончании выдержки образцы извлекали из реакционной зоны, взвешивали и направляли на рентгенофазовый анализ (излучение Cu K α).

В серии предварительных экспериментов установлено, что при температуре выдержки в разряженной атмосфере до 1000 °C развиваются только первые две стадии восстановления оксида титана $TiO_2 \rightarrow Ti_4O_7 \rightarrow Ti_3O_5$ с начальным переходом к выделению монооксида при 980 °C: $Ti_3O_5 \rightarrow Ti_xO_{1-x}$. С повышением температуры до 1050 °C развиваются конкурирующие процессы формирования промежуточной фазы TiBO₃ и нестехиометрического оксикарида TiC_xO_{1-x} . В общем виде и в составе смеси эти два параллельно идущих процесса можно представить следующим образом: $TiC_xO_{1-x} + 1/2B_2O_3 + 5/2C \rightarrow TiBO_3 + TiC_xO_{1-x} + 3/2CO$.

Дальнейшее восстановление этой смеси при 1050 °C требует достаточных количеств оксида бора и углерода: $2TiBO_3 + zC \rightarrow TiB_2 + TiC_xO_{1-x} + yCO$ ($0 \leq x \leq 1$), $TiC_xO_{1-x} + B_2O_3 + xC \rightarrow TiB_2 + yCO$. При выдержке смеси $TiO_2-B_2O_3-C$ в атмосфере аргона при 1050 °C получен окисленный диборид титана — борат титана TiBO₃, что связано с присутствием кислорода в инертном газе: $TiB_2 + 9/4O_2 = TiBO_3 + 1/2B_2O_3$. В разряженной атмосфере (1–3 кПа) синтезирован TiB₂ со следами недовосстановленного оксикарида титана: $TiC_xO_{1-x} + B_2O_3 + xC \rightarrow TiB_2 + yCO$.

Таким образом, допирование оксида титана фтором позволяет в системе TiO₂-C осуществлять полный цикл фазообразования в ряду Ti_nO_{2n-1} ниже 1000 °C. В системе $TiO_2-B_2O_3-C$ реализовано последовательное фазообразование: $TiO_2 \rightarrow Ti_nO_{2n-1} \rightarrow TiBO_3 \rightarrow TiC_xO_{1-x} \rightarrow TiB_2$ в условиях низкотемпературного синтеза (1030–1050 °C). В зависимости от исходного состава реакционной смеси и конечных условий синтеза по одной технологии могут быть получены отдельные продукты: TiBO₃, TiC_xO_{1-x} или TiB₂.

E-mail:
petr.gudovskikh@Kerneos.com© П. Гудовских¹ (✉), Кр. Вормейер², Ж.-М. Оврей², К. Цеттерстром²¹ ООО «Кернеос», Санкт-Петербург, Россия² Kerneos SA, г. Пюто, Франция

Удаление как «свободной», так и «связанной» воды из плотного огнеупорного бетона — важный шаг при применении бетонов в современных тепловых агрегатах. При этом существует заметный риск повреждения или полного разрушения бетонной футеровки или изделия, так называемого «парового взрыва». Известно, что риск разрушения такого характера существенно выше для бетонов с плотной структурой и очень низкой газопроницаемостью, что не только может привести к экономическому ущербу, но и представлять собой реальную угрозу промышленной безопасности.

В данной работе рассмотрено влияние инновационной добавки REFRAC®MIPORE 20 (MP20) на процесс сушки плотного огнеупорного бетона на основе алюминаткальциевых связующих. Исследования показали, что порош-

кообразная добавка MP20 взаимодействует с гидратационно активными фазами алюминатов кальция, изменяя механизм гидратации и создавая принципиально новую микроструктуру, что существенно увеличивает газопроницаемость бетона уже при температурах выше 100 °C, в то время как, например, традиционно применяемое полипропиленовое волокно становится эффективным только выше 150 °C. Экспериментальные данные свидетельствуют, что новая микроструктура позволяет более эффективно удалять воду при более низких температурах и за счет этого снижать образующееся внутри пор бетона давление пара. Кроме того, в работе показано, как на процесс удаления воды из монолитного огнеупора влияют состав бетона, условия обработки и размер изделия.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ
КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МУЛЛИТОКАРБИДКРЕМНИЕВОГО
ИСКУССТВЕННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ВЯЖУЩЕГО**© С. В. Зайцев, к. т. н. В. А. Дороганов (✉), к. т. н. Е. А. Дороганов, Т. А. Вареникова
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

С учетом специфических и постоянно возрастающих требований к металлургическим и другим высокотемпературным процессам необходимо расширение ассортимента огнеупоров и создание новых огнеупорных композитов, способных надежно работать при высоких температурах в агрессивных средах. К таким материалам относятся муллитокорундовые огнеупоры, которые используют в различных отраслях отечественной и зарубежной промышленности, а также огнеупоры на основе бескислородных соединений, в частности на основе карбида кремния, который характеризуется высокими прочностью при комнатной и повышенной температурах и теплопроводностью, отличной износостойкостью и коррозионной стойкостью.

Один из возможных способов повышения стойкости огнеупорных композитов — объемное модифицирование структуры путем введения в их состав муллитокарбидкремниевого искусственного керамического вяжущего (ИКВ), полученного по технологии высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС). В связи с этим в данной работе представлены результаты исследования коррозионной стойкости огнеупорных материалов, модифицированных ИКВ муллитокарбидкремниевого состава, к воздействию расплавов коричневого стекла и шлака. В качестве сравнительного аналога в работе использовали муллитокорундовые огнеупоры.

Коррозионную стойкость оценивали тигельным методом и по краевому углу смачивания расплавов. Для этого из муллитокорундового ИКВ и заполнителя на основе высокоглиноземистого шамота методами вибропрессования и полусухим формованием были отформованы тигли и образцы в виде плиток, которые предварительно были термообработаны при 1300 °С.

Анализ смачиваемости поверхности показал, что экспериментальные образцы в температурном интервале начала расплавления шлака смачиваются сильнее заводских, а начиная от 1350 до 1400 °С смачиваемость экспериментальных образцов по сравнению с заводскими уменьшается практически в 2 раза. При использовании расплава стекла у лабораторных образцов во всем температурном интервале испытаний краевой угол смачивания выше, чем у прототипа, а при максимальной температуре 1400 °С повышается практически в 2 раза. Результаты оценки взаимодействия расплава и поверхности композита при конечной температуре показали, что в случае использования для испытаний расплава стекла максимальным краевым углом смачивания и, соответственно, максимальной стойкостью характеризуются экспериментальные образцы, сформованные виброформованием. При использовании в качестве корродиента расплава шлака наибольший краевой угол характерен для экспериментальных образцов, сформованных полусухим прессованием. Площадь пропитки экспериментальных образцов расплавом стекла составила 0,5–1,0 %, а прототипа 6–7 %. При использовании в качестве корродиента расплава шлака этот показатель у аналога составил 23–24 %, у экспериментальных образцов не превысил 1,5 %.

Таким образом, экспериментальные образцы более стойкие к воздействию расплавов стекла и шлака, чем традиционные материалы муллитокорундового состава. При этом срок службы огнеупоров, модифицированных муллитокарбидкремниевым ИКВ, может существенно увеличиться.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ(✉)
E-mail: dva_vadjik1975@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК
ДЛЯ ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ**© С. В. Зайцев, к. т. н. В. А. Дороганов (✉), к. т. н. Е. А. Дороганов, Т. А. Вареникова
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

Огнеупорные композиты на основе гидравлического вяжущего широко используются для изготовления материалов и изделий, применяемых во многих отраслях промышленности. Наиболее востребованными являются сверхнизкоцементные и ультранизкоцементные бетоны, в которых применяют тонкодисперсные модифицирующие добавки различного состава импортного производства, способствующие улучшению реологических свойств бетонной массы и снижению формовочной влажности. Одной из перспективных добавок в огнеупорные бетоны, по свойствам аналогичной импортным,

может стать дисперсная система на основе искусственного керамического вяжущего (ИКВ) высокоглиноземистого состава. В данной работе изучены исходные свойства импортных добавок на основе табулярного, реактивного и диспергирующего глинозема, а также добавки ИКВ, полученной в лабораторных условиях методом мокрого помола с постадийной догрузкой материала на основе термоактивированного при 1200 °С технического глинозема. Из сопоставительного анализа химического и фазового составов следует, что все дисперсные добавки характеризуются высоким содержанием

ем Al_2O_3 , а их основной кристаллической фазой является мелкокристаллический $\alpha-Al_2O_3$ в виде корунда.

Методом лазерной гранулометрии был проанализирован зерновой состав импортных глиноземистых дисперсных добавок в сравнении с ИКВ. Анализ показал, что средний медианный диаметр d_m импортных добавок составляет 3–10 мкм, коэффициент полидисперсности K_p 3,5–5,8, при этом максимальной концентрацией характеризуются частицы диаметром 4–7 мкм. В то же время ИКВ отличаются высокой степенью полидисперсности ($K_p = 5,7$), их средний d_m не превышает 5,5 мкм, при этом максимальной концентрацией характеризуются частицы диаметром 7–10 мкм. Следует отметить, что отличительной особенностью зернового состава ИКВ является присутствие до 1,0 % частиц диаметром менее 0,1 мкм (100 нм), что существенно повышает удельную поверхность системы.

Далее была проведена сопоставительная оценка влияния исследуемых дисперсных систем на основные физико-механические характеристики образцов огнеупорных бетонов до и после термообработки при 1300 °С. Образцы изготавливали методом выкройки в металлические формы из составов, содержащих 10 % высокоглиноземистого цемента и 90 % полифракционного

корундового заполнителя, в котором тонкодисперсная фракция (<0,63 мкм) заменялась дисперсными добавками в количестве 0,5–10 %. Анализ показал, что введение дисперсных добавок в состав огнеупорного бетона приводит к увеличению плотности образцов на 5–10 % как после сушки, так и после термообработки. Максимальной плотностью (2,95–3,05 г/см³) характеризуются образцы с добавкой ИКВ глиноземистого состава. Следует отметить, что повышение концентрации добавок резко увеличивает (до 4–6 раз) механическую прочность образцов, при этом максимальной прочностью характеризуются образцы с добавкой ИКВ.

Таким образом, при использовании ИКВ в качестве модифицирующей добавки к огнеупорным бетонам происходят более эффективное уплотнение системы и более существенный рост прочности, чем при применении импортных добавок. Из этого следует, что дисперсная система на основе ИКВ глиноземистого состава может быть эффективно использована в качестве аналога импортных дисперсных добавок и может быть рекомендовано для промышленного внедрения.

Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития БГТУ им. В. Г. Шухова.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: zroman7777@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТНОГО ВОЛОКНА

© К. Т. Н. Р. В. Зубащенко (✉)

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

Современный уровень развития техники позволяет получать волокна из различных веществ и материалов. Некоторые типы волокон (полимерные, стеклянные, металлические) уже давно и успешно производятся по отработанным технологиям, являясь традиционными материалами. Углеродные и керамические волокна представляют особый интерес на современном этапе развития химической технологии, так как их использование позволяет создавать материалы нового поколения — легкие, прочные, износостойчивые, для службы при повышенных температурах и в агрессивных средах. Волокнистые изделия сочетают высокие теплоизоляционные свойства и удобство применения, их изготавливают в виде матов, листов, войлока, модулей. Волокнистые материалы обладают более высокой термостойкостью по сравнению с ячеистыми и порош-

ковыми пористыми материалами при одинаковой кажущейся плотности.

В работе исследовали термостойкость (1300 °С – воздух) теплоизоляционных изделий муллитового состава (содержание Al_2O_3 не менее 63 %) кажущейся плотностью 1,3–1,7 г/см³. Изделия, сформованные на неорганической связке и обожженные при 1300–1470 °С, состояли из высокоглиноземистого пористого заполнителя и алюмосиликатного волокна ($\sigma_{сж} = 4,0 \div 9,0$ МПа). Испытания показали значительное превышение термостойкости разработанного волокнистого материала по сравнению с термостойкостью ячеистой корундовой керамики ($\rho_{каж} = 1,1 \div 1,3$ г/см³) и позволили рекомендовать освоенные изделия для работы в условиях термоудара (тепловые агрегаты периодического действия) с максимальной температурой эксплуатации до 1500 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: konstanta@ism.ac.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ Ti–В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В КАЧЕСТВЕ СОВРЕМЕННЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© А. С. Константинов (✉), к. т. н. П. М. Бажин, д. ф.-м. н. А. М. Столин

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

Композиционные материалы с титановой матрицей обладают высокой прочностью при комнатной и умеренно повышенной температурах. Керамическое упрочнение

КМ с Ti матрицей может значительно повысить модуль Юнга, предел прочности и сопротивление ползучести. В качестве упрочнителей используют непрерывные и

дискретные волокна, частицы, такие как TiB, TiC, SiC, Al₂O₃ и TiB₂. Бори́ды титана за счет высоких модуля Юнга, предела прочности, превосходной термической и химической стабильности, а в случае с TiB высокого сродства ТКЛР получили в настоящее время широкую популярность у исследователей. Одним из перспективных способов получения металлокерамического композита на основе системы Ti–B является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), который характеризуется большой энергетической эффективностью, повышенной чистотой продуктов синтеза и высокой скоростью. Однако высокая пористость композитов после СВС (до 50 %) требует дополнительного высокотемпературного прессования, при котором композит может разрушаться.

В ИСМАНе, в лаборатории пластического деформирования разработан технологический процесс СВС-экструзии, сочетающий горение в режиме СВС со сдвиговым деформированием. Этот метод обеспечивает синтез материала и получение изделия в одной установке и соединяет в себе достоинства как экструзии (возможность получения изделий нужного профиля с минимальной последующей обработкой), так и других СВС-технологий (экономичность, простота оборудования, малое время процесса, отсутствие необходимости высоких усилий при деформировании, от-

сутствие энергозатрат на внешний нагрев заготовки). Методом СВС-экструзии изготовлены длинномерные материалы на основе TiB–Ti, TiB₂–Ti, TiB₂–Ti–Fe диаметром 3–10 и длиной до 450 мм. В работе показано, что условия деформирования при СВС-экструзии влияют на ориентацию упрочняющих фаз (боридов титана) в материале. На поверхности экструдированного материала волокна TiB, TiB₂ за счет более высоких напряжений, направленных вдоль течения материала и трения о стенки пресс-формы, имеют преимущественно продольную ориентацию. В центральной части образца на материал действуют меньшие по величине напряжения, за счет чего волокна TiB и TiB₂ в меньшей степени выстраиваются по направлению течения материала и ориентируются в двух направлениях.

Полученные керамические материалы были успешно применены для нанесения защитных покрытий методами электроискрового легирования и электродуговой наплавки на различные детали и инструмент, подвергающиеся абразивному износу, а также работающие при повышенных температурах. Установлено, что при нагреве до 1100 °С в материале не происходят структурные и химические изменения, упрочняющая фаза (бориды титана) практически не увеличивается в размерах, не были также обнаружены трещины и поры по всему объему испытываемых образцов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ЛАЗЕРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

(✉)
E-mail: kuzena@post.ru

© Д. т. н. **В. В. Кузин** (✉), к. т. н. **С. Ю. Фёдоров**, к. т. н. **М. Ю. Фёдоров**, **Е. А. Остриков**
ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

В рамках создания методологической основы технологического обеспечения изготовления прецизионных керамических деталей требуемого уровня точности, качества и надежности выполнен анализ эффективности операций их лазерного фрезерования и сверления. Для отработки этих технологий использовали заготовки из высокоплотной керамики на основе оксидов алюминия и циркония, нитрида и карбида кремния, а также установки, генерирующие непрерывное и импульсное лазерное излучение.

В результате выполненных исследований выявлены высокая интенсивность снятия припуска с керамических заготовок под действием непрерывного лазерного излучения и существенные ограничения этой технологии для формообразования. Эти ограничения связаны с весьма дефектной структурой поверхностного слоя керамики и большим числом сколов на заготовках, произошедших в результате экстремального нагрева локальных объемов керамики. Очевидно, что эта проблема может быть решена путем интенсивного отвода тепла из зоны обработки за счет применения охлаждаемых технологических жидкостей.

Импульсная лазерная технология имеет большие перспективы для формообразования миниатюрных керамических деталей сложной формы. Эффективность этой технологии определяется возможностью бескон-

тактного и периодического удаления локальных объемов керамики в режиме абляции с образованием лунок, размеры которых определяются характеристиками лазерного излучения и свойствами керамики. Разные схемы перемещения лазерного луча и заготовки, легко реализуемые на современных технологических лазерах, дают возможность изготовления базовых (плоскости, отверстия и пазы) и уникальных конструктивных элементов в керамических заготовках при практическом отсутствии сколов. Рациональные режимы импульсного лазерного излучения обеспечивают высокую производительность операций обработки горизонтальных и наклонных поверхностей, пазов разной формы и глубины, а также сверления глухих и сквозных отверстий в керамических заготовках.

Существующие проблемы, связанные с процессом съема материала при импульсной лазерной обработке, могут быть решены на основе научно обоснованного технологического проектирования и обеспечения операций формообразования керамических деталей. В частности, некачественный поверхностный слой, погрешности в размерах и конусность боковых поверхностей, образовавшиеся после снятия основного припуска, исправляются за счет включения в технологический процесс чистовых проходов. Эти проходы выполняют для исправления отклонений от формы,

обеспечения требуемой точности детали и уменьшения дефектности поверхностного слоя керамики. Для интенсификации съема материала при значительном увеличении глубины обработки рекомендовано удаление шлама со дна обработанных полостей с использованием системы продувки и наложением ультразвуковых колебаний в циклическом режиме.

Для уточнения мероприятий по технологическому обеспечению операций лазерного формообразования деталей из разных керамических материалов особое

значение приобретает установление закономерностей физических и тепловых явлений при взаимодействии импульсного лазерного излучения с керамикой, а также влияние на них параметров режима обработки.

Настоящая работа поддерживается Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания МГТУ «Станкин» в сфере научной деятельности (регистрационный номер проекта 9.1372.2017).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: kuzena@post.ru

ЛАЗЕРНАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВЫСОКОПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ

© Д. Т. Н. В. В. Кузин (✉), К. Т. Н. С. Ю. Фёдоров, К. Т. Н. М. Ю. Фёдоров, Е. А. Остриков,
М. Р. Портной

ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «Станкин», Москва, Россия

Проблема эксплуатационной надежности керамических деталей и инструментов может быть решена за счет снижения уровня дефектности поверхностного слоя (ПС) после алмазной обработки, а также повышения его способности эффективно сопротивляться образованию структурных дефектов и зарождению трещин при эксплуатации. Для решения этой комплексной задачи в МГТУ «Станкин» создана технология модификации структуры ПС высокоплотной керамики на основе оксида алюминия и циркония, нитрида и карбида кремния с использованием лазерных технологий. Результаты этих исследований показали возможность целенаправленно изменять структуру ПС этих керамических материалов за счет непрерывного и импульсного лазерного воздействия. Однако эффективность этих воздействий значительно различается.

Установлено, что результатом непрерывной лазерной модификации является существенное изменение структуры ПС керамики на глубину, которая зависит от режима обработки и вида керамики. При этом образуются «новые» структурные элементы, в том числе периодические микроструктуры. Однако структурно-модифицированный слой имеет высокую дефектность; в нем обнаружены многочисленные трещины, кратеры, области локального разрушения и расплавления керамики. Другим недостатком этой обработки является то, что ее режимы не позволяют осуществлять «тонкое» управление процессом структурной модификации ПС керамики.

Большие функциональные возможности имеет импульсное лазерное излучение, позволяющее выполнить модификацию структуры ПС разной керамики с обеспечением его стабильных характеристик. В результате изучения физики взаимодействия импульсного лазерного излучения с поверхностью разных керамических материалов выявлены взаимосвязи параметров импульсного лазерного излучения, схем

обработки и свойств керамики с морфологией, структурной дефектностью и шероховатостью поверхности. При исследовании размеров, формы и концентрации «новых» элементов структуры, а также состояния межзеренных границ обнаружены периодические микро- и наноструктуры, отсутствовавшие во внутреннем объеме и поверхности керамики до лазерной обработки.

Определено, что структурная модификация ПС керамики с формированием периодических микро- и наноструктур (благоприятная структурная модификация) влияет на его трещино- и износостойкость позитивно, а с образованием аморфного слоя (неблагоприятная структурная модификация) — негативно. Предложенный механизм реализации благоприятной структурной модификации связал процесс фрагментации ПС керамики с экстремально высокими напряжениями, формирующимися на границах зерен под действием мощного теплового источника — лазерного луча. С использованием этого механизма обоснована возможность управляемой «благоприятной структурной модификации» ПС керамики, на основе которой разработан лабораторный технологический регламент импульсной лазерной модификации ПС режущих пластин из оксидно-карбидной керамики. Испытания этих инструментов подтвердили высокую эффективность разработанной технологии, позволяющей не только «залечивать» дефекты технологического происхождения в ПС высокоплотной керамики, но и формировать структуру ПС, затрудняющую образование эксплуатационных дефектов.

Настоящая работа поддерживается Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания МГТУ «Станкин» в сфере научной деятельности (регистрационный номер проекта 9.1372.2017).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКООГНЕУПОРНОЙ ОСОБОПЛОТНОЙ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ШЛИКЕРНОГО ЛИТЬЯ

(✉)
E-mail: ukrniio.us@ukr.net

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

В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» разработана и внедрена технология высокоогнеупорных особо-плотных корундовых изделий, которая предусматривает изготовление их методами шликерного литья в гипсовые формы, экструзии и литья под давлением из термопластичных масс. Для совершенствования технологии высокоогнеупорных особоплотных корундовых изделий методом шликерного литья исследовано влияние новых сырьевых материалов — глиноземов с высокой удельной поверхностью (8–10 м²/г) и различных целевых добавок на свойства образцов из корундовой керамики.

Установлено, что введение диспергирующей добавки в глиноземистый шликер способствует улучшению его реологических и литевых характеристик, а

упрочняющая добавка приводит к повышению прочности сырца, в результате чего образцы и изделия из корундовой керамики после обжига при 1580 °С характеризуются содержанием Al₂O₃ не менее 99,5 %, открытой пористостью 0 и пределом прочности при изгибе не менее 270 МПа. Высокоогнеупорные особоплотные корундовые изделия, полученные из новых сырьевых материалов методом шликерного литья, соответствуют требованиям ТУ У 26.2-00190503-347:2012 с изм. № 1 и изготавливаются в виде чехлов, труб, тиглей, стаканов (марка КОПМ), а также в виде ступок и пестиков для тонкого измельчения проб различных материалов, кернов для производства кирпича, сопел, пластин (марка КОП) и других изделий для службы при температуре до 1850 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МИКРОСТРУКТУРА И ТКЛР ПРЕССОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ Al – 5 % Cu С ДОБАВКАМИ Si₃N₄, B₄C И BN

(✉)
E-mail: alotfy@isis.ru

© **А. Лотфи** (✉), **А. В. Поздняков**, **В. С. Золоторевский**
ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Цель исследования — разработать альтернативный материал для замены алюминиево-кремниевых сплавов, используемых в автомобильной промышленности. Материал разрабатывали, изучая три типа композитов Al – 5 % Cu с добавками B₄C, BN или Si₃N₄ в виде микрочастиц с низким ТКЛР. Для получения композитов компоненты, содержащие 2, 5 и 7 мас. % B₄C, Si₃N₄ и 2,5 мас. % BN, плавил с интенсивным перемешиванием, далее подвергали литью под давлением. Процесс литья под давлением снижал пори-

стость конечных композитов. Композиты состояли из достаточно однородных частиц, распределенных по всему объему матрицы сплава. По результатам исследования микроструктуры и рентгеновской дифракции композитов можно предположить, что на границе между частицами и сплавом могут проходить химические реакции. Самое низкое значение ТКЛР в экспериментах показали композиты Al – 5 % Cu – B₄C (17·10⁻⁶–19·10⁻⁶ °C⁻¹) и (19·10⁻⁶–20·10⁻⁶ °C⁻¹) в интервале 20–100 и 20–200 °С соответственно.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

(✉)
E-mail: dina-brazhnik@ukr.net

© **В. В. Макаренко**, **Д. Т. н. Г. Д. Семченко**, к. т. н. **Д. А. Бражник** (✉), **Е. Е. Старолат**
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
г. Харьков, Украина

Композиционные керамические материалы (ККМ) благодаря высоким температуре плавления, стойкости к окислению, прочностным характеристикам, сохраняющимся при повышенных температурах, показателям прочности на растяжение и термостойкости нашли широкое применение для изготовления наиболее ответственных тяжело нагруженных деталей газотурбинных двигателей (рабочих и сопловых лопаток).

В настоящей работе представлены результаты исследований по изготовлению подложек для пайки, эксплуатирующихся в агрессивных средах, в частности потоках ионизированного газа. Исследования

показали, что наиболее оптимальным методом изготовления подложек для пайки является метод шликерного литья в гипсовые формы. При этом рекомендовано проводить измельчение электрокорунда (как основной фазы) до фракции 0,6 мм, а затем вводить модифицированное алкоксидом кремния муллит-кремнеземистое волокно. Поскольку взаимодействие волокна с керамической матрицей при совместном помолу обычно сопровождается его разрушением и потерей армирующих свойств, то нанесение на поверхность волокна кремнийорганического вещества способствует его предохранению от рекристаллиза-

ции и разрушения при обжиге. В процессе термообработки на поверхности волокна образуется тонкий слой химически активного аморфного SiO_2 , способствующий повышению вязкости расплава и сохранению армирующих свойств волокна, особенно муллитокремнеземистого, при более высоких, чем обычно, температурах.

Авторами теоретически обосновано и экспериментально доказано, что применение алкоксида кремния, который поставляется аморфный SiO_2 , не только снижает температуру спекания массы, но и интенсифицирует процесс образования муллита при спекании, обеспечивая самоармирование корундовой матрицы, и, как результат, повышает термостойкость и трещиностойкость материала.

На основании проведенных исследований тепло- и электрофизических свойств ККМ обоснована целесообразность введения вышеуказанных веществ в массы на основе электрокорунда и модифицированного поликристаллического корундового и муллитокремнеземистого волокна в количестве не более 2 мас. % и до 40 мас. % соответственно, что способствует снижению теплопроводности от 12, 5 до 8 Вт/(м·°C). При этом показатели электросопротивления не изменяются и составляют более $1 \cdot 10^{11}$ Ом·м. Данный композиционный керамический материал был рекомендован для работы в потоках ионизированного газа в качестве более дешевой замены известного однородного корундового материала с эвтектической спекающей добавкой или более дорогих материалов типов АБН и БГП, которые изготавливаются методом горячего прессования.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КАРБИД КРЕМНИЯ КАК ОСНОВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ОГНЕУПОРОВ БУДУЩЕГО

(✉)

E-mail: davidovtrans@yandex.ru

© Д. Т. Н. В. Н. Макаров¹ (✉), И. А. Волежанин¹, В. А. Чуркин¹, Ю. Г. Осинцев²,
К. Т. Н. Ю. В. Холодников³

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

² ООО «КарбоКварц», г. Екатеринбург, Россия

³ ООО СКБ «Мысль», г. Екатеринбург, Россия

Главным условием качества композиционных огнеупоров является использование высококачественного сырья, в частности кремния и композиционных соединений с ним. Одним из таких соединений является карбид кремния, который помимо использования в качестве сырья при производстве огнеупоров может найти широкое применение в ряде стратегических отраслей. Применение карбида кремния в композиционных материалах при производстве огнеупоров может быть значительно более эффективным за счет разработки и использования матричной технологии формирования заданных свойств. Это позволяет создавать готовую продукцию с программируемыми функциональными и физико-механическими свойствами. Уникальные свойства ультрадисперсных порошков карбида кремния обуславливают их применение в качестве различных наполнителей, модификаторов сплавов, для получения специальной конструкционной керамики и защитных покрытий. Однако существующая в настоящее время процедура производства нанокарбида кремния является довольно дорогостоящей.

В настоящее время практически весь ультрадисперсный порошок карбида кремния получают из $\alpha\text{-SiC}$ по многостадийной технологии, включающей дробление, сепарацию и очистку порошка, полученного из материала, изготовленного по методу Ачесона. Главный недостаток этой технологии — невозможность получения требуемой чистоты конечного продукта (содержание вредных примесей не менее 7–9 ppm). В связи с этим актуальной является разработка синтеза ультрадисперсного порошка $\beta\text{-SiC}$ в автономной защитной атмосфере. Карботермический синтез $\beta\text{-SiC}$ проходит при 1400–1600 °C в течение 6 ч. Технически синтез реализуется следующим образом.

В огнеупорный тигель, изготовленный из Al_2O_3 , помещается еще один тигель меньшего размера, изготовленный из графита. В графитовый тигель загружается реакционная смесь $\text{SiO}_2 + 3\text{C}$, после чего тигель закрывается графитовой крышкой. Сверху укладывается двухслойный защитный покров из графита и инертного порошка маршалита до уровня верхнего края основного тигля, что позволяет защитить реакционную среду из тонкого кварцевого порошка SiO_2 и графита от вредного воздействия воздуха и предотвратить окисление. При нагреве образуется дополнительная защитная среда, защищающая от вредного воздействия воздуха. Эта среда представляет собой автономную защитную атмосферу, которая генерирует CO, образующийся в процессе реакции $\text{SiO}_2 + 3\text{C} = \text{SiC} + 2\text{CO}$. В результате синтеза образуется продукт — порошкообразный волокнистый наноструктурированный карбид кремния, при этом крупность отдельных частиц составляет в среднем 30–50 мкм, а диаметр волокон 260–310 нм.

Разработанная и предложенная авторами методика базируется на собственных исследованиях и достижениях, при этом реализуется принципиально новая технология. Научная составляющая карботермического синтеза карбида кремния состоит в комплексной совокупности использования высококачественных материалов и специальных технологических ноу-хау.

Применение композиционных материалов, армированных углеводородным волокном (углепластики), или стекловолокном (стеклопластики), или другим наполнителем (базальтовые волокна, тригидрат алюминия, каменная крошка и т. д.), позволяет создавать новые виды огнеупоров, конструктивные элементы и изделия с заранее заданными свойствами. С помощью композитов можно в 1,5–3 раза увеличить ресурс тех-

ники, сократить до минимума потери от коррозии, снизить расход топлива на средствах передвижения. Согласно экспертной оценке, в последующие несколько десятилетий практически половина применяемых в настоящее время материалов будет заменена совершенно новыми; при этом композиционные материалы уже активно применяются. Практически каждый пятый вы-

даваемый в мире патент относится к области, описывающей разработку или изготовление композиционных материалов. За счет практически безграничных возможностей модификации изделия из композиционных материалов уже находят и в ближайшее время еще найдут применение в различных отраслях, в том числе в производство огнеупоров.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ КАОЛИНА НА ЕГО СВОЙСТВА

(✉)

E-mail: manushina-1994@mail.ru

© А. С. Манушина (✉), Д. Т. Н. Е. Н. Потапова

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

Каолиновые глины — ключевое и в современных условиях дефицитное сырье, применяемое во многих отраслях промышленности. В основе применения каолинов для производства тонкой керамики, огнеупоров, пропантов, добавок в цемент и оптоволокно лежат термические свойства каолинита. Выше 550 °С структура каолинита необратимо разрушается с формированием рентгеноаморфного метакеолинита, в структуре которого до 830 °С сохраняется ближний порядок, свойственный каолиниту. При 930–1000 °С начинается нуклеация муллита. Остаточный рентгеноаморфный кремнезем переходит в кристобалит при 1250 °С. Термические реакции каолинита могут происходить без плавления, но опыт изучения керамики показывает присутствие контактового расплава, который, с одной стороны, обеспечивает прочность керамических изделий, а с другой — является мешающим фактором в технологических процессах, использующих метакеолин. Метакеолин ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) — продукт обезвоживания (дегидроксирования) минерала каолинита — относится в настоящее время к одной из самых высокоэффективных пуццолановых добавок. Однако надежные результаты при использовании метакеолина могут быть достигнуты только при оптимальном режиме термообработки каолина. В зависимости от вида и состава каолиновых глин параметры термообработки могут различаться. Поэтому каолин обжигали по разным температурным режимам. Термообработанные образцы, а также исходный каолин и промышленный метакеолин исследовали методами рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии, а также определяли их истинную плотность методом гелевой пикнометрии.

Анализ полученных рентгенограмм показывает, что при 800 °С и времени изотермической выдержки 120 мин исчезает дифракционное отражение, соответствующее кристаллической фазе кварца, и наблюдается большая высота гало (т. е. в обожженном продукте содержится больше аморфной части, что должно сказываться на активности метакеолина). При анализе ИК-спектров замечено, что интенсивность связи О–Н-групп уменьшается с повышением температуры. Наименьшая интенсивность колебания О–Н-групп наблюдается при обжиге каолина при 800 °С в течение 2 ч, что подтверждает ранее полученные результаты и свидетельствует о наибольшей активности образовавшегося метакеолина.

Методом гелевой пикнометрии измерена истинная плотность метакеолина. При повышении температуры плотность начинает снижаться. Наименьшей плотностью характеризуется состав, обжигаемый в течение 120 мин при 800 °С. Это свидетельствует о том, что образуется более активная разрыхленная структура. Для подтверждения этой гипотезы была определена активность для всех составов. Активность минеральных добавок, т. е. способность связывать гидроксид кальция в присутствии воды при обычных температурах, обусловлена содержанием в них веществ, находящихся в химически активной форме. Наибольшей активностью (360,47 мг/г добавки) обладает метакеолин, полученный при обжиге 800 °С в течение 120 мин. Таким образом, установлено, что оптимальным режимом обжига метакеолина является температура 800 °С и время изотермической выдержки 120 мин.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОРУНДОВЫЕ ЛЕГКОВЕСНЫЕ ОГНЕУПОРЫ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

(✉)

E-mail: ukrniio.us@ukr.net

© К. Т. Н. В. В. Мартыненко, К. Т. Н. Н. М. Казначеева, К. Т. Н. Ю. А. Крахмаль,
К. Т. Н. К. И. Кущенко (✉)

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

Корундовые легковесные огнеупоры применяют в металлургии, энергетике, нефтехимии и других отраслях промышленности для теплоизоляции печей и других агрегатов, работающих при температурах выше 1500 °С, в том числе в восстановительных средах. Благодаря содержа-

нию Al_2O_3 не менее 95 % такие легковесные огнеупоры используют как в теплоизоляционном, так и в рабочем слое футеровки на контакте с агрессивной газовой средой.

В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» выполнены исследования по доработке технологии корун-

довых легковесных огнеупоров методом полусухого прессования, изготавливаемых институтом (марка КЛА-1,3 по ТУ У 26.2-00190503-335:2011). С использованием добавки отходов производства микропористого гексаалюминаткальцевого заполнителя полусухим прессованием получен корундовый легковесный огнеупор кажущейся плотностью 1,14–1,17 г/см³ с пределом прочности при сжатии 13,6–14,5 МПа, те-

плопроводностью 0,45–0,48 Вт/(м·К) при средней температуре 650 °С и температурой службы 1550 °С. По теплотехническим характеристикам разработанный огнеупор превосходит промышленно выпускаемые изделия марки КТ-1,3 по ГОСТ 5040–2015 и ГОСТ Р 52803–2007. Изготовление корундовых легковесных огнеупоров по доработанной технологии освоено на опытном производстве института.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

НИЗКОЦЕМЕНТНАЯ КАРБИДКРЕМНИЕВАЯ БЕТОННАЯ СМЕСЬ

(✉)
E-mail: ukniio.us@ukr.net

© К. т. н. **В. В. Мартыненко**, д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **Л. А. Бабкина**, к. т. н. **Л. К. Савина**,
Л. М. Щербак, **Т. Г. Тишина** (✉)

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

В ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного» исследованы влияние вещественного состава на свойства низкоцементной карбидкремниевой бетонной смеси, зависимость свойств смеси от вида глиноземсодержащего и кварцесодержащего компонентов, вида пластифицирующей добавки и количества добавки тонкомолотого карбида кремния. В результате исследований разработана технология изготовления низкоцементной карбидкремниевой бетонной смеси марки НКБС, содержащей карбид кремния различной зернистости, неметаллургический глинозем, пылевидный кварц, высокоглиноземистый цемент и пластифицирующую добавку. Исследованы растекаемость и прочность структуры низкоцементного карбидкремниевобетона. Установлено, что бетон остается подвижным в

течение 3 ч, а максимальную прочность набирает в течение 50–52 ч после затворения смеси водой.

Низкоцементная карбидкремниевая бетонная смесь характеризуется следующими показателями (средние значения): массовая доля SiC 85 %, Al₂O₃ 11,5 %, CaO 1,35 %; зерновой состав <2 мм; предел прочности при сжатии образцов из бетона после 7 сут твердения на воздухе и термообработки при 110 и 1580 °С (2 ч) 36,0 и 124,0 МПа соответственно. Смесь рекомендуется для футеровки агрегатов и изготовления изделий, работающих в экстремальных условиях — при воздействии высоких температур, химических агрессивных сред, восстановительной среды, например в плавильных печах, топках котлов, миксерах, на линиях разлива металла и др.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

НИЗКОЦЕМЕНТНЫЙ ГЛИНОЗЕМОШПИНЕЛЬНЫЙ ВИБРАЦИОННЫЙ БЕТОН СО ШПИНЕЛЬСОДЕРЖАЩИМ ЦЕМЕНТОМ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

(✉)
E-mail: ukniio.us@ukr.net

© К. т. н. **В. В. Мартыненко**, д. т. н. **В. В. Примаченко**, к. т. н. **Л. А. Бабкина**, к. т. н. **И. В. Хончик**,
Л. Н. Никулина (✉)

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

В ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного» разработаны состав и технология изготовления низкоцементного глиноземошпинельного вибрационного бетона с использованием шпинельсодержащего цемента. Использование в качестве гидравлически твердеющего вяжущего шпинельсодержащего цемента марки СМА 72 обеспечивает уменьшение примерно 1,5 раза пропитки шлаком образцов, изготовленных из разработанного бетона, и количество алюмомаг-

незимальной шпинели в составе бетона, а также упрощает технологический процесс его изготовления за счет исключения необходимости виброизмельчения шпинели.

Показатели физико-химических свойств разработанного бетона: химический состав, %: Al₂O₃ не менее 90 %, CaO 1,0–2,5 %, MgO 5,0–7,0 %, Fe₂O₃ не более 0,5 %; зерновой состав <6 мм; предел прочности при сжатии после термообработки при 110 и 1450 °С не менее 25 и 85 МПа соответственно. Бетон рекомендуется для футеровки сталеразливочных ковшей.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ БЕТОНОВ СИСТЕМЫ Al₂O₃–SiC–C ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ШЛАКОУСТОЙЧИВОСТЬ

(✉)
E-mail: pva-vostio@bk.ru

© Д. г.-м. н. **В. А. Перепелицын**¹ (✉), **А. М. Гороховский**², **Л. В. Остряков**²,
М. Н. Дунаева², **А. Ю. Колобов**²

¹ ФГАУ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

² ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

В инженерном центре ОАО «Динур» выполняются научно-исследовательские работы по улучшению качества, усовершенствованию технологий и разработке новых износостой-

чивых огнеупоров. Объекты данного исследования — новые многофункциональные низкоцементные высокоогнеупорные бетоны на основе неравновесной композиции корунд

– карбид кремния – графит с переменным соотношением компонентов. В качестве корродиента использовали доменный шлак следующего химического состава, мас. %: CaO 34,5, SiO₂ 27,8, MgO 13,0, FeO 0,56, TiO₂ 9,56, V₂O₅ 0,18, S 0,59. Основность шлака 1,21–1,24. Цель работы — определение оптимального вещественного и гранулометрического состава бетона для службы в футеровке главных желобов доменных печей. Шлакоустойчивость определяли классическим тигельным методом путем длительной термообработки при максимальных температурах 1390 (в течение 75 ч) и 1650 °С (в течение 10 ч) в окислительной среде. Расплавостойчивость измеряли по площади коррозии и пропитки огнеупора шлаком в плоскости разреза тиглей.

Во всех образцах в результате испытаний сформировалась зональность, представленная наименее измененной, реакционной и шлаковой зонами. Наименее измененная зона по окраске подразделяется на две подзоны: наружную белого цвета и черную внутреннюю. С повышением температуры испытаний от 1390 до 1650 °С толщина белой подзоны и реакционной зоны увеличивается в 10–15 раз, также многократно возрастает глубина корродированной площади (объема) некоторых образцов. Фазовый состав зон определяли микроскопическим и рентгенофазовым анализами. Для выявления фазово-структурных превращений всех минералов бетона при взаимодействии со шлаковым расплавом проводили детальный структурно-генетический анализ аншлифов с использованием оптического микроскопа «Olympus» (при 1000-кратном увеличении). Ниже кратко изложены главные результаты петрологического исследования.

В белой подзоне произошло полное окисление SiC до SiO₂ по реакции 1: $\text{SiC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{CO}_2$ (парциальное давление кислорода $P_{\text{O}_2} = 0,021$ МПа). В темной подзоне в условиях дефицита кислорода ($P_{\text{O}_2} < 0,021$ МПа) также наблюдается окисление SiC, но исключительно дисперсных частиц (<0,09 мм) и преимущественно по другой реакции: $\text{SiC} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO} + \text{CO}$. Находясь в герметизированном пространстве между плотноспеченной белой подзоной и реакционной (пропитанной шлаком) зоной, парообразный монооксид кремния SiO диспропорционирует (разлагается) по реакции $2\text{SiO} \rightarrow \text{Si} + \text{SiO}_2$ (реакция 2). Конденсат Si отлагается на поверхности частиц углерода (графит и кокс), реагирует с ним с образованием микронных выделений вторичного карбида кремния (β-SiC). Исходный (первичный) карбид кремния представ-

лен гексагональной модификацией в виде α-SiC. Новообразованный β-SiC на поверхности чешуйчатых пластинок графита армирует и упрочняет структуру бетона, так как механическая прочность в β-SiC примерно на 2,5 порядка больше прочности графита (по шкале Мооса твердость графита и SiC 1,0 и 9,5 соответственно).

В реакционной зоне происходили в основном фазово-структурные превращения, обусловленные массообменными процессами огнеупора со шлаковым расплавом. При этом каждый минерал огнеупора подвергался селективному химическому взаимодействию с компонентами шлака в слабовосстановительной высокотемпературной газовой среде. В этих условиях графит почти полностью окислен с выделением CO и CO₂, которые являются активными газовыми корродиентами карбида кремния. В реакционной зоне образцов бетона, испытанных при 1650 °С, установлено псевдоморфное разложение SiC с образованием на месте его зерен рентгеноаморфного углерода (типа сажи), окруженного оболочкой вторичного элементарного кремния. Это явление обусловлено, вероятно, синергетическим воздействием нескольких корродиентов — газовой среды (CO + CO₂) и шлакового расплава, содержащего четырехвалентные катионы (Ti⁴⁺) и свободные анионы кислорода (O²⁻). В этих условиях SiC мелких и средних фракций полностью разлагается по реакциям: $\text{SiC} + \text{CO} \rightarrow \text{SiO} + 2\text{C}$, а SiO распадается на Si и SiO₂. Корунд восстановлению не подвергался, но прореагировал со шлаком с образованием реакционного расплава, из которого кристаллизовались шпинель MgAl₂O₄, бонит CaO·6Al₂O₃ и геленит 2CaO·Al₂O₃·SiO₂.

Устойчивость к агрессивному титансодержащему доменному шлаку минералов снижается в ряду: графит, α-SiC, β-SiC, корунд, стеклофаза (примесная). Восстановление TiO₂ в реакционной зоне происходило в несколько стадий с образованием низших оксидов: TiO₂, Ti₂O₃, Ti₂O, TiO. При полном окислении углеродсодержащих компонентов в белой подзоне при 1650 °С трехфазная исходная неравновесная система бетона трансформируется в бинарную: (Al₂O₃–SiC–C) → (Al₂O₃–SiO₂). При этом практически не возрастает пористость, так как потери массы компенсируются значительным приростом объема при окислении SiC и синтезе муллита. На основании результатов материаловедческих исследований скорректированы оптимальный вещественный и зерновой составы компонентов бетонов системы Al₂O₃–SiC–C для износостойчивой футеровки желобов доменных печей и других тепловых агрегатов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)

E-mail: pva-vostoi@bk.ru

УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО БЕТОНА К СИНТЕТИЧЕСКОМУ КОВШЕВОМУ ШЛАКУ

© Д. Г.-М. Н. В. А. Перепелицын¹ (✉), М. Н. Дунаева²

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

² ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

Условия службы огнеупорных перегородок в промежуточных ковшах характеризуются циклическим высокотемпературным нагревом (до температуры расплавленной стали), коррозионным и эрозионным воздействием расплавленного синтетического шлака и металла. Для снижения теплотерь зеркало металла покрывают

синтетическим шлаком. Синтетический шлак отличается от конвертерного меньшей основностью и содержанием оксидов железа. Для снижения вязкости и температуры плавления шлака используют плавиковый шпат CaF₂, который обладает повышенной коррозионной способностью к большинству огнеупорных материалов.

Цель исследования — разработка технологии производства высокоглиноземистого бетона для перегорода промежуточных ковшей. Высокоглиноземистый бетон марки ВГБВ должен обладать высокими металло- и шлакоустойчивостью, механической прочностью выше 1600 °С, плотностью и термостойкостью. Прежде всего определена устойчивость двух составов высокоглиноземистых бетонов к синтетическому ковшевому шлаку: бетона С (серийного) и бетона О (опытного). Химический состав ковшевого шлака, мас. %: SiO₂ 9,98, Al₂O₃ 21,0, Fe₂O₃ 0,38, R₂O 0,17, CaO 50,5, MgO 8,0, Δ_{т.прк} 1,71, MnO 2–5, TiO₂ 0,75, F₂ ~5, V₂O₅ 0,5–1,0. Химический состав бетона О, мас. %: SiO₂ 2,8, Al₂O₃ 93,2, Fe₂O₃ 0,47, R₂O 0,13, CaO 1,49, MgO 0,47, Δ_{т.прк} 0,23, TiO₂ 1,21. Химический состав бетона С, мас. %: SiO₂ 3,4, Al₂O₃ 92,1, Fe₂O₃ 0,53, R₂O 0,25, CaO 1,52, MgO 0,51, Δ_{т.прк} 0,29, TiO₂ 1,4. Шлакоустойчивость бетонов определяли тигельным методом при 1390 °С в течение 72 ч. После испытаний оба образца бетона приобрели зональное макростроение с формированием двух зон: наименее измененной (спеченной) и реакционной, пропитанной шлаковым расплавом. Визуально заметной коррозии на контакте огнеупора со шлаком не было.

Минеральный состав зон определяли петрографическим и рентгенофазовым методами. Микроструктура наименее измененной зоны бетона С отличалась большим размером диаметра открытых пор в связи с повышенным содержанием собственной жидкой фазы в системе CaO–Al₂O₃–SiO₂, что способствовало интенсивному спеканию и коалесценции (укрупнению) пор. Минеральный состав наименее измененных зон практически не отличался от состава исходного бетона.

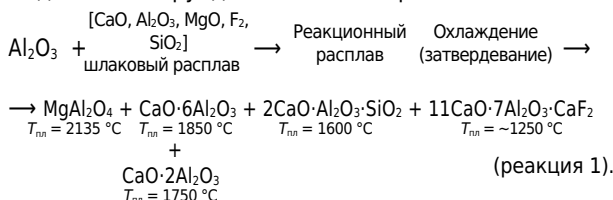
В связи с присутствием фтора в синтетическом шлаке при взаимодействии его с бетонами в их реакционной зоне образуются фторалюминат 11CaO·7Al₂O₃·CaF₂ (назван условно фтормайенитом) и фторсиликат 3CaO·2SiO₂·CaF₂ (аналог природного минерала куспидина).

Минеральный состав реакционной зоны, мас. %, образцов бетона представлен в таблице.

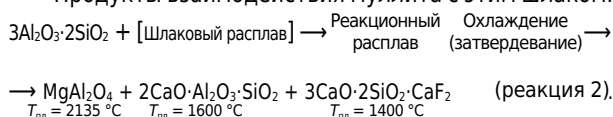
Минерал	Бетон С	Бетон О
Анортит + геленит	15–20	12–15
Стеклофаза	8–10	5–8
Фторалюминат	5–7	3–5
Фторсиликат (Ca ₅ Si ₂ O ₇ F ₂)	30–50	20–30
Шпинель (MgAl ₂ O ₄)	8–10	5–7
Корунд (α-Al ₂ O ₃)	10–30	35–60

В обоих образцах, особенно в образце бетона С, помимо реакций (1) и (2) происходили массобменные процессы по схеме Ж+Т₁→Т₂, где Ж — расплавленный шлак; Т₁ — твердый огнеупор (корунд); Т₂ — твердые продукты взаимодействия (диалюминат кальция, бонит). Главным реакционным компонентом шлакового расплава, участвующим в роли Ж — CaO, а в роли Т₁ — корунд, при этом (особенно в серийном образце) образуются: CaO·2Al₂O₃ (ΔV = +30,5 %), CaO·6Al₂O₃ (ΔV = +7,5 %). В результате больших объемных изменений возникают сильные внутренние напряжения, вследствие которых реакционная зона (слой пропитки) подвергается интенсивному разбуханию (объемному расширению) с образованием трещин отрыва от наименее измененной зоны. Фактически толщина реакционных зон равна глубине пропитки шлаковым расплавом, которая у образцов бетона О и бетона С составляет 5 и 12–15 мм соответственно. Шлакоустойчивость бетона О хорошая, бетон С более интенсивно прореагировал со шлаком.

Установлены схемы фазовых превращений корунда и муллита со шлаковым расплавом. Продукты взаимодействия корунда со шлаковым расплавом:



Продукты взаимодействия муллита с этим шлаком:



Главным недостатком бетона С является интенсивная глубинная пропитка шлаковым расплавом. Вследствие меньшего диаметра капиллярных (открытых) пор опытный бетон О пропитан шлаковым расплавом всего на 3–5 мм, а на стенках пор формируется своего рода гарнисаж, состоящий из тугоплавких минералов: бонита (T_{пл} = 1850 °С) и CaO·2Al₂O₃ (T_{пл} = 1750 °С). Устойчивость главных минералов огнеупорных высокоглиноземистых бетонов резко снижается в ряду: корунд >> муллит > анортит > стекло. На основании исследований установлена достаточная шлакоустойчивость бетона О для службы в промежуточном ковше.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: ceramika-1@mail.ru

ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ВКВС КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА И ЖЕЛОБНЫЕ МАССЫ В СИСТЕМЕ Al₂O₃–SiO₂–SiC–C НА ИХ ОСНОВЕ

© Д. Т. Н. Ю. Е. Пивинский¹, Д. Г.-М. Н. В. А. Перепелицын²(✉), П. В. Дякин³, К. Т. Н. А. Д. Бураков¹, А. М. Гороховский⁴, Л. А. Карпец⁴, Л. В. Остряков⁴, А. Ю. Колобов⁴, Д. А. Коротаев⁴

¹ ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

² ФГАОВ ВО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

³ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

⁴ ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

Высококонцентрированные керамические вяжущие суспензии (ВКВС) на основе обожженного китайского боксита нашли широкое применение в производстве желобных масс в системе Al₂O₃–SiO₂–SiC–C. Для улучшения

эксплуатационных характеристик набивных желобных масс получены ВКВС композиционного состава на основе боксита, электрокорунда и высокодисперсного плавленого кварца влажностью 11 %. Изучены свойства образцов,

лагаемых в последнее время решений, они не находят широкого применения в промышленности ввиду дороговизны, подверженности абразивному износу и сложности внедрения в действующее производство.

Проведенные исследования с литиевыми электролитами различного состава в электрохимической ячейке с обратной полярностью показывают значительное улучшение физических свойств и эксплуатационных характеристик катодных блоков за счет интеркаляции лития в поверхностные слои. Полученный эффект внедрения лития можно рассматривать в качестве наиболее предпочтительного решения улучшения эксплуатационных и физических характеристик катодных блоков при формировании барьерного антидиффузионного интеркаляционного слоя за счет внедрения атомов лития в межслойную структуру графита.

Во время проведения экспериментов обнаружено, что при нагревании в шахтной печи Li_2CO_3 до 750°C происходит образование оксида лития по реакции $\text{Li}_2\text{CO}_3 = \text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Во время электролиза расплава Li_2O , а именно при включении источника постоянного тока, в расплаве наблюдается свечение розового цвета. Это явление объясняется эффектом ионизации (анодным эффектом электролиза), когда пары металлического лития под воздействием постоянного тока 10А переходят ионную форму и под давлением паров внедряются в поверхностные слои графита. При структурном изучении поверхности прослеживается граница взаимодействия расплава с образцом. Однако при взаимодействии углеграфитового материала (УГМ) с литием происходит вспучивание поверхности в некоторых зонах, из-за которых образуются разрывы при переизбытке по всей активной площади. Данный эффект от внедрения лития можно объяснить частичной адгезией оксида лития на микропорах УГМ, при этом внедренные ионы лития создают эффект локальных раковин на поверхности. Поверхность в той части исследуемого образца, которая находилась над расплавом во время электролиза при 960°C , не была

подвержена окислению, в отличие от стандартного образца. Вероятно, при возгонке лития из расплава он взаимодействует с кислородом, предотвращая разрушение поверхности исследуемого образца.

Для определения фазы Li_xC_y в исследуемом образце применяли метод порошковой рентгеновской дифрактометрии с использованием картотеки рентгенограмм JCPDS для интеркаляционных соединений лития с углеродом. Для этого отбирали пробы из той части УГМ образца, где происходило непосредственное взаимодействие с расплавом, и из той части, которая находилась над расплавом. Модель образования ионов лития, восстановления лития и его взаимодействия с УГМ образцом до процесса интеркаляции во время электролиза расплава можно представить следующим образом:

- после нагревания электролита Li_2CO_3 до 750°C происходит образование Li_2O по реакции $\text{Li}_2\text{CO}_3 = \text{Li}_2\text{O} + \text{CO}_2$;
- при 960°C под воздействием тока через электролит $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--Li}_2\text{O}$ происходит образование ионов лития;
- при нарастающем воздействии и повышении давления паров во время эффекта ионизации атомов лития происходит внедрение в графитированные слои УГМ;
- с увеличением выдержки образцов в электролите при усилении эффекта ионизации возможно внедрение лития в глубину слоистых структур с последующим образованием интеркалятов различного состава.

После изучения полученных результатов на рентгеновском порошковом дифрактометре XRD-7000 фирмы «Shimadzu» выявлено, что в прореагировавшей части содержатся фазы исходных веществ Li_2CO_3 и УГМ (графит). Присутствие Li_2CO_3 обусловлено его неполным протеканием реакции разложения на оксид лития с последующим высвобождением свободного лития в виде металла и ионов. Таким образом, эффект ионизации лития при прохождении тока и воздействии избыточных паров создает условия для внедрения в слоистые структуры графита и упрочнения поверхности катодного блока электролизера.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПРЕКУРСОР ДЛЯ СИНТЕЗА ПОРОШКА АЛЮМОМАГНЕЗИАЛЬНОЙ ШПИНЕЛИ

(✉)

E-mail: snnmarina@rambler.ru

© М. О. Сенина (✉), к. т. н. Д. О. Лемешев

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

Одно из перспективных направлений развития современной техники — разработка керамических и композиционных материалов с улучшенными физико-механическими свойствами. Особый интерес представляют материалы, обладающие помимо высоких механических свойств также оптической прозрачностью в областях от УФ до ИК.

Оптическая керамика из шпинели — материал с исключительной механической прочностью, износостойкостью, химической инертностью, механической и оптической стабильностью вплоть до 1250°C и выше. При создании керамики наблюдается явление наследования последующей фазой структуры предыдущей. Исходные порошки могут содержать агрегаты, в которых при обжиге наблюдается объединение кристаллов, приводящее к аномальному росту кристаллов и неравномер-

ности структуры. Поэтому большое внимание при получении оптически прозрачных керамических материалов следует уделить синтезу исходных порошков.

Целью работы являлось создание прекурсора алюмомагнезиевой шпинели методом соосаждения с последующей термообработкой. Использовали соли $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и раствор аммиака в качестве осадителя. В результате осаждения получен аморфизированный порошок с размером частиц 100–500 мкм. Такой порошок является активным к спеканию, что благоприятно сказывается на дальнейшем синтезе шпинели.

Важным параметром является также температура синтеза. Образование шпинели начинается при $397\text{--}497^\circ\text{C}$. Однако образовавшаяся шпинель находится при этом в чрезвычайно высокодисперсном, почти

аморфном состоянии. Хорошая кристаллизация шпинели наблюдается при температуре синтеза 697–897 °С. Полученный порошок прокаливали при температурах от 800 до 1300 °С. При 950 °С наблюдается интенсивная кристаллизация фазы шпинели $MgAl_2O_4$. Следует отметить, что, основываясь на литературных данных

и данных предыдущих исследований, проведенных на кафедре химической технологии керамики и огнеупоров РХТУ имени Д. И. Менделеева, можно сделать вывод о том, что такой порошок является прекрасным прекурсором для получения оптически прозрачной керамики на основе алюмомагнезиальной шпинели.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОРУНДОВЫЕ СФЕРИЧЕСКИЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ С ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ГРАНУЛОМЕТРИИ И РАЗЛИЧНОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

(✉)
E-mail: sersor_07@mail.ru

© Д. т. н. **В. Н. Соков** (✉)

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

Ряд отраслей промышленности испытывает потребность в пористых корундовых заполнителях, основную массу которых должны составлять специально изготовленные легковесные гранулы с широким диапазоном физико-технических свойств. Они необходимы для создания засыпной теплоизоляции различных промышленных установок с возможностью изоляции пространства сложной конфигурации, для изготовления легких огнеупорных бетонов, фильтров, носителей катализаторов, создания тепловой изоляции поверхности расплавленного металла. Однако в России отсутствует промышленное производство высокопористых корундовых гранул. Единственным источником их получения является дробление корундовых легковесов.

Существенные недостатки многих предлагаемых способов получения пористых корундовых заполнителей — их значительная сложность, малая производительность, высокая энергоемкость и узость фракционного состава. Предлагается получение корундового заполнителя трех типов (полых, пористых и типа керамзит*) методом грануляции формовочных масс на пенополистироле. Изменяя параметры грануляции (угол наклона, частоту вращения и высоту борта тарелки, продолжительность гранулирования), регулировали интенсивность процесса и свойства готового продукта (прочность и насыпную плотность гранул). Процесс окомкования формовочных масс проходит в три стадии: образование зародышей, рост гранул и массообмен между ними. На величину сил сцепления частиц гранулируемого материала существенно влияет их форма. Для получения прочных гранул необходима плотная упаковка частиц, при которой действие сил сцепления осуществляется на максимально возможной поверхности контакта. Подобную упаковку при окомковании образуют частицы сферической формы.

Выбран рациональный состав смеси. За определяющий показатель принимали заданную насыпную плотность гранул при максимальной их прочности. На свойства изделий существенно влияет соотношение между основными компонентами смеси — электроплавленным корундом, молотым техническим глиноземом и пенополистиролом, обеспечивающими наибольший выход гранул фракций 5–10 и 10–20 мм. С увеличением

содержания в гранулируемой массе крупных фракций электрокорунда наблюдается образование более крупных и малопрочных сырцовых гранул.

Зависимость прочностных характеристик гранулята от влажности определяется свойствами твердых компонентов (химико-минеральным и гранулометрическим составами, состоянием поверхности, формой частиц, условиями окатывания и т. п.). Повышение влажности сверх оптимального значения ускоряет процесс грануляции, но вместе с тем ведет к снижению прочности сырцовых гранул. На формовочные свойства масс благоприятно воздействует добавка поверхностно-активного вещества (с. с. б.). Она улучшает гранулируемость без дополнительного увеличения формовочной влажности, поскольку содержащиеся в составе с.с.б. поверхностно-активные вещества, адсорбируясь на поверхности твердых частиц материала, образуют коллоидные адсорбционные пленки гидрофильного характера, способствующие улучшению смачиваемости и подвижности смеси, создавая благоприятные условия для уплотнения масс. Содержащиеся в ней эмульгированные смолы образуют при испарении влаги тонкую пленку клеящего вещества, прочно связывающую частицы смеси. Максимальная прочность обожженных сфер и благоприятное соотношение фракций 5–10 и 10–20 мм получается при введении добавки с. с. б. плотностью 1050 кг/м³.

Разработан порядок получения керамзитовых и полых корундовых гранул с гранулометрическим составом 5–40 мм, насыпной плотностью 600–1200 кг/м³, пределом прочности при сжатии (в цилиндре) 1,2–7,0 МПа, термостойкостью 5–34 теплосмен (1300 °С – воздух).

Процесс сушки исследовали на гранулах фракций 5–10 и 10–20 мм. Сырцы как на основе электрокорунда (влажность гранул 16,0 %), так и на основе технического глинозема (влажность гранул 42,0 %) укладывали в сушилку слоем высотой 0,03–0,04 м. На гранулах не было замечено появления трещин и других дефектов. Их объемная усадка не превышала 1,5 %. Предел прочности при сжатии высушенных сфер на основе электрокорунда составлял 0,4–0,5 МПа, сфер на основе технического глинозема 0,15–0,20 МПа. Обжиг сырцовых гранул сопровождается пиролизом органических компонентов. Наиболее интенсивное разложение и улетучивание пенополистирола происходят в интервале 250–320 °С, полное удаление остатков органики заканчивается при 420 °С. Скорость нагрева сырцовых гранул должна быть подо-

* В изломе имеет прочную плотную оболочку и вспененную сердцевину.

брана таким образом, чтобы выделяющиеся газообразные продукты успевали диффундировать сквозь стенки материала, не нарушая сплошность его структуры. Обжиг гранул вели в насыпном состоянии слоем различной толщины. При насыпной плотности гранул 600, 800 и 1000 кг/м³ максимальная толщина слоя не должна превышать соответственно 0,15, 0,20 и 0,25 м. Толщина слоя при обжиге полых сфер не должна превышать 0,05 м. Важнейшие характеристики корундовых сфер — размер и форма пор. Использование пенополистирола позволило получить материал с равномерно распределенными порами сферической формы диаметром 0,6–0,8 мм. Для полых гранул характерно наличие одной центральной полости сферической формы диаметром от 3,0 до 16,0 мм.

Эффективная теплопроводность корундовых засыпок существенно зависит от гранулометрии исходных материалов. При низких температурах теплопроводность мало различается и находится в пределах 0,22–0,26 Вт/(м·°C). Выше 300 °C характер температурной зависимости эффективной теплопроводности корундовых засыпок в основном определяется размером их межзерновой пустотности, тесно связанным с гранулометрией. Пере-

нос теплоты при указанных температурах будет осуществляться главным образом посредством лучистого теплообмена, доля которого с увеличением крупности гранул, а следовательно, и межзерновой пустотности возрастает. Следовательно, для снижения теплопроводности засыпки следует уменьшать размер межзерновых пустот, уменьшая диаметр гранул либо создавая более плотные полидисперсные композиции. Наиболее плотная и прочная упаковка зерен заполнителя получается при использовании материала сферической формы. Для фракций мельче 5, 10–20 и 20–40 мм коэффициенты формы гранул составляют соответственно 1,1–1,2, 1,06–1,08 и 1,15–1,17, т. е. близки к сферической.

Введение электрокорунда сильно влияет на свойства материала и гранулометрический состав получаемых зерен. Наполнитель крупностью 60 мкм повышает термостойкость гранул из-за образования вокруг его зерен локальной разрядки термических напряжений. При небольшом содержании наполнителя (до 25–30 %) изменение термостойкости не столь значительно. Полые сферы обладают пониженными значениями прочности и термостойкости.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ОГНЕУПОРОВ В СВИНЦОВОНИОБИЕВОМ РАСПЛАВЕ

(✉)
E-mail: sokolov235@yandex.ru

© Д. Т. Н. В. А. Соколов (✉), К. Т. Н. С. В. Махов, Д. Т. Н. Е. В. Богатырева
ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

Сложные кристаллизующиеся стекла с высокой диэлектрической проницаемостью — сиконды, применяются в ряде ответственных изделий, необходимых в современной радиотехнике. В связи с высокой агрессивностью расплавов сикондовых (свинцовониобиевых) стекол их варка осуществляется в платиновых тиглях.

Создание печи с футеровкой из огнеупорных материалов позволит изъять из оборота более 100 кг платины, что существенно облегчит организацию серийного производства сикондовых стекол и конденсаторов на их основе. Выпуск конденсаторов с использованием сикондового материала позволит получить значительный эффект за счет экономии палладия и платины, а также уменьшения энергозатрат вследствие более низкой (на 200–300 °C) температуры обжига по сравнению с конденсаторами из керамики. Учитывая высокую агрессивность свинцовониобиевых расплавов при температуре варки стекла 1440 °C, для коррозионных испытаний были синтезированы плавнелитые высокохромистые огнеупоры системы $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3$, ограниченной содержанием Cr_2O_3 60–93 %, MgO 5–38 %, Al_2O_3 2–10 %. Для улучшения технологичности и повышения плотности изделий в состав огнеупоров вводили оксиды кремния, натрия и циркония, формирующие в их структуре 3–8 % стеклофазы.

Сравнительные коррозионные испытания плавнелитых огнеупоров наиболее технологичных составов, содержащих более 80 % Cr_2O_3 , показали, что они по стойкости в расплаве ситаллизирующегося свин-

цовониобиевого стекла СНМ-1000 превосходят плавный кварц, керамический цирконовый огнеупор, плавнелитой корундовый Кор-95 и бадделеитокорундовый ER 1711 более чем в 10 раз, керамический окиснооловянный в 4–6 раз. Расчетами показано, что использование высокохромистых огнеупоров в кладке варочного бассейна при варке сикондовых стекол обеспечит кампанию ванной печи не менее 10 мес. Другим важным фактором использования синтезированных высокохромистых огнеупоров, кроме коррозионной стойкости, является их способность в результате контактных взаимодействий не изменять заданные электрофизические свойства сикондовых материалов. Проведенными испытаниями по разработанной методике установлено, что по показателям диэлектрической проницаемости и электрической прочности образцы свинцовониобиевого стекла СНМ-1000 после контактных взаимодействий с высокохромистым огнеупором соответствовали регламентированным параметрам.

На основании проведенных исследований для опытно-промышленного опробования технологии получения изделий из плавнелитых высокохромистых огнеупоров рекомендованы два материала: огнеупор ХМГ-81 (Cr_2O_3 81,0 %, MgO 5,0 %, Al_2O_3 9,5 %, SiO_2 3,0 %) и огнеупор ХМГ-84 (Cr_2O_3 84,0 %, MgO 5,0 %, Al_2O_3 2,0 %, SiO_2 7,0 %). Использование этих типов плавнелитых высокохромистых огнеупоров в футеровке ванной печи при получении сикондового стекольного гранулята позволит обеспечить экономию платины и расширить производство конденсаторных материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ ПЛИТ И СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ
МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ**(✉)
E-mail: amstolin@ism.ac.ru© Д. ф.-м. н. **А. М. Столин** (✉), к. т. н. **П. М. Бажин**
ФГБУН «Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН»,
г. Черноголовка Московской обл., Россия

Композиционные материалы могут быть получены путем магнетронного распыления, электронно-лучевого испарения, вакуумного плазменного напыления, реакционного спекания на воздухе и электротеплового взрыва. Однако эти методы энергозатратны, длительны и включают большое количество технологических операций. Альтернативой является метод свободного СВС-сжатия, сущность которого состоит в сочетании самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и сдвигового высокотемпературного деформирования под действием постоянного невысокого давления (10–50 МПа), что позволяет значительно снизить энергозатраты и упростить процесс получения керамических композитов. К преимуществам метода можно отнести использование наиболее благоприятной схемы напряженного состояния и сдвигового пластического деформирования материала, что способствует к «залечиванию» макротрещин в деформированном материале. Во время свободного СВС-сжатия материал подвергается сдвиговому деформированию, возможность которого базируется на способности горячей массы синтезированного продукта к макроскопическому течению. Для СВС-материалов такая деформация может осуществляться лишь в характерном температурном диапазоне от температуры горения до температуры

живучести, выше которой материал обладает еще способностью к пластическому деформированию, а ниже затвердевает и теряет свои пластические свойства.

Методом свободного СВС-сжатия получены плиты и слоистые композиционные материалы различной геометрии из металлокерамических, интерметаллидных материалов, боридов, карбидов, оксидов, материалов на основе МАХ-фазы системы Ti–Al–C и других материалов. Показано, что варьированием исходного состава смеси, технологическими режимами можно получить плиты с заданными характеристиками: повышенной износостойкостью, жаростойкостью и др. Экспериментально определены оптимальные технологические параметры процесса СВС-сжатия при получении компактных пластин сложной геометрии. Проведены фазовый и микроструктурный анализы полученных образцов, испытания физико-химических и механических свойств: прочности, жаростойкости, термостойкости и электросопротивления материалов. Полученные результаты позволяют по-новому подойти к решению проблем получения огнеупорных плит и слоистых композиционных материалов различной геометрии в условиях сочетания процессов СВС и сдвигового высокотемпературного деформирования.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ВЛИЯНИЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА СВОЙСТВА ОГНЕУПОРНЫХ БЕТОНОВ**(✉)
E-mail: rimvydas.stonys@vgtu.lt© Д. т. н. **Р. Стонис** (✉), д. т. н. **В. Антонович**, д. т. н. **Е. Шкамат**, **А. Куджма**
Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва

При укладке монолитной огнеупорной футеровки тепловых агрегатов в зимний период должен выполняться ряд требований, существенным из которых является поддержание температуры футеровки выше нуля вплоть до ее сушки и первого нагрева. Многолетняя практика показывает, что в ряде случаев после изготовления монолитной футеровки в положительной температуре невозможно избежать последующего замерзания футеровки. Изменения свойств огнеупорного бетона при его замер-

зании изучены недостаточно, что не позволяет адекватно оценить надежность изготовленной футеровки. Цель данного исследования — изучение влияния замораживания на физические и механические свойства различных огнеупорных бетонов после их изготовления в нормальных условиях. В работе представлены результаты исследования физико-механических свойств цементных и бесцементного огнеупорных бетонов в зависимости от циклов замораживания и размораживания.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСКЛИНКЕРНЫХ
ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ДОМЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ШЛАКОВ**(✉)
E-mail: suvorov8225@yandex.ru© **Д. С. Суворов**¹, **Б. Б. Хайдаров**¹, **И. Н. Мазов**¹, **П. А. Жукова**¹, **Я. С. Салтыкова**¹,
А. К. Абрамов², **В. В. Горчаков**³, к. т. н. **Д. В. Кузнецов**¹ (✉)¹ ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСиС», Москва, Россия² ООО НПП «Крона-СМ», г. Новосибирск, Россия³ ООО НПП «Интор», г. Новочеркасск, Россия

Металлургическое производство связано с образованием значительного количества технологических отходов (шлаков, шламов, окалины, пыли газоочистки и др.), которые накапливаются на металлургических

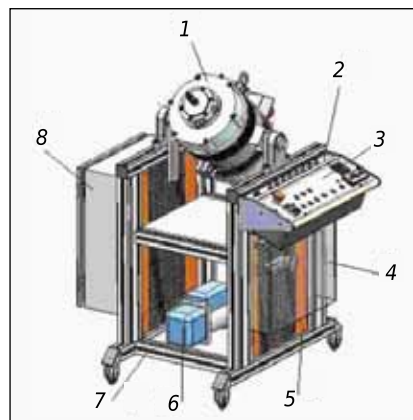
предприятиях, причем совершенствование технологий не всегда сопровождается сокращением объема этих отходов. Основную проблему представляют шлаки, накопленные в виде отвалов — терриконов высотой

до 45–50 м. В России, по некоторым оценкам, только сталеплавильных шлаков накоплено более 250 млн т, они занимают площадь около 1,3 тыс. га. Наибольший объем переработки шлака текущего производства достигнут в доменном переделе. Доменный шлак, как правило, перерабатывается в жидком состоянии, при этом производятся гранулированный шлак, шлаковая пемза или вата.

Одним из перспективных путей применения гранулированных доменных шлаков (ГДШ) является их использование в минеральных вяжущих смесях для гражданского и дорожного строительства.

В настоящее время не существует универсальных технологий, которые бы позволяли энергоэффективно перерабатывать различные шлаки металлургического производства для дорожной и строительной отрасли. В рамках данной работы для измельчения и активации гранулированных доменных шлаков производства НЛМК и Северстали использовали аппараты типа ВЭГ, работа которых основана на принципе вихревой электромагнитной гомогенизации. Важным преимуществом данной технологии являются низкие удельные энергозатраты в случае измельчения относительно нетвердых материалов. Внешний вид лабораторной установки ВЭГ и ее комплектующих представлен на рисунке.

Проведенные исследования показали, что данная технология позволяет получать тонкомолотое минеральное вяжущее на основе ГДШ с существенно меньшими энергозатратами и совместить измельчение с процессом кислотной или щелочной активации. Следует также отметить, что применение данной техно-



Лабораторная установка ВЭГ: 1 — трехфазный индуктор; 2 — панель пневмокоммутации; 3 — пульт управления; 4 — экран монтажной панели; 5 — монтажная панель с пневмоэлементами; 6 — вакуум-насос и (или) компрессор; 7 — стойка установки; 8 — силовой шкаф управления

логии позволяет получать тонкодисперсные шлаковые вяжущие с размером частиц менее 10 мкм и с выходом годного до 95 мас. %, что весьма затруднительно при использовании традиционных технологий измельчения. Марочность разработанного бесклнкерного минерального вяжущего соответствует марке цемента М400–М500. Разрабатываемые материалы могут быть эффективно использованы как материал для изготовления влагостойких изделий для дорожных покрытий (бордюрные камни, тротуарная плитка и др.), укрепления грунтов оснований дорог и аэродромов, а также различного типа микроцементов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ ШОС ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК

(✉)

E-mail: chemic@yandex.ru

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

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

Неравномерное расплавление ШОС на зеркале металлического расплава ведет к формированию неоднородного по составу и свойствам шлакового расплава, сопровождается неравномерным растеканием расплава по поверхности заготовки, что обуславливает изменение теплопроводящих свойств слоя шлака, образование разрывов шлака и переохлажденных зон на поверхности слитка, сопровождается значительными локальными температурными напряжениями, которые могут превышать прочность формируемой заготовки и приводить к появлению дефектов. Исследован и разработан новый технологический подход сопряжения составов многокомпонентных ШОС со свойствами образующихся шлаковых расплавов, характеризующихся однородным химическим составом с узким интервалом температур плавления. Использование таких ШОС с прогнозируемым лабильным состоянием шлака по зонам кристаллизатора и слитка в перспективе может способствовать повышению качества и снижению брака стальных заготовок.

Коммерческие (промышленные) ШОС характеризуются растянутым интервалом поэтапного расплавления

и формирования расплава из-за неоднородности смеси компонентов, их состава и свойств, влияющих на образование и накопление расплава, температуру и время полного растворения в нем тугоплавких составляющих шлака. Экспериментальное определение этапов формирования расплава из ШОС приведено в табл. 1. При нагревании коммерческих образцов ШОС в среде аргона до 1550 °С и охлаждении установлено разделение ШОС на тугоплавкую и легкоплавкую составляющие. Для примера в табл. 2 приведены физико-химические характеристики тугоплавкой/легкоплавкой составляющих коммерческих ШОС после нагрева до 1550 °С:

Микроструктура тугоплавкой составляющей представляет собой пористый конгломерат с порами размерами 1–50 мкм. Микроструктура легкоплавкой составляющей — закристаллизованный расплав с порами размерами 5–30 мкм. Разделение на легкоплавкую и тугоплавкую составляющую при плавлении ШОС может приводить к формированию неоднородного расплава в кристаллизаторе и вызывать неравномерное растекание расплава шлака по поверхности заготовки, ухудше-

Таблица 1

ШОС	Температура размягчения, °С	Температура образования сферы, °С	Температура полусферы, °С	Температура расплавления, °С
Stollbery ST-C39 H12-1	1005	1061	1086	1104
XBBC-1	1035	1072	1117	1185
SLLC-11	820	883	1034	1085
ГШОС № 14	968	1079	1121	1157
XBBD-1	1015	1058	1079	1112
XBSB-2	1135	1180	1214	1253
BRK-22	1028	1071	1098	1140
K-09	1000	1120	1165	1220
K-1	1085	1127	1175	1238
ГШОС № 8	1010	1035	1083	1120

нию смазки слитка, неравномерному теплоотводу в кристаллизаторе и др., усложняет подбор температурного и временного режимов формирования качественной заготовки слитка.

Температура кристаллизации шлаковых расплавов коммерческих ШОС, образованных при (1250 ± 10) °С, составляет 965–1100 °С: у ШОС для разлива сталей типа IF и низкоуглеродистых 965–1010 °С, у ШОС для разлива перитектических марок стали 1090–1100 °С, у ШОС K09, K-1 и ГШОС № 8 1080–1110 °С. Температура кристаллизации шлакового стекла коммерческих ШОС в зависимости от состава 603–790 °С. Значение краевого угла смачивания в зависимости от температуры, марки ШОС и марки стали варьируется в пределах 40,4–65,3 град и увеличивается в ряду: стали IF (40,4–50,2 град) → низкоуглеродистые (44,5–55,9 град) → перитектические (52,1–64,7 град) → высокоуглеродистые (56,8–65,3 град), что связано с ростом содержания в этих сталях углерода.

Разработанные базовые ШОС основностью 0,85 и 1,05 с однородным химическим составом шлакового расплава и узким интервалом плавления (± 20 °С) находятся в корреляции с термодинамическим представлением о совместном эвтектическом плавлении (и смешении) взаимно сосуществующих систем. Интервал значений краевых углов смачивания стальных подложек при 1450 °С расплавом разработанных ШОС (40,8–63,9 град) аналогичен значениям краевых углов смачивания подложек соответствующих марок стали расплавами коммерческих ШОС. Температура кристаллизации шла-

Таблица 2

Характеристика	K-1	ГШОС № 8	SLLC-11
Массовая доля, %:			
CaO	49,50 / 31,10	46,20 / 32,10	44,10 / 28,10
SiO ₂	38,40 / 38,40	40,70 / 36,40	40,80 / 34,80
Al ₂ O ₃	3,18 / 8,41	2,55 / 7,26	3,56 / 7,14
Fe ₂ O ₃	4,15 / 0,34	2,68 / 0,55	1,87 / 0,33
MgO	0,96 / 1,68	2,23 / 4,02	0,73 / 2,17
K ₂ O+Na ₂ O	1,34 / 10,0	1,51 / 8,13	1,05 / 14,90
F	2,26 / 9,10	3,39 / 11,1	4,59 / 12,20
CaO/SiO ₂	1,29 / 0,81	1,14 / 0,88	1,08 / 0,81
Температура, °С:			
начала	1236 / 1062	1219 / 1016	1201 / 865
плавления			
полного	1462 / 1183	1285 / 1034	1269 / 1052
расплавления			

кового расплава разработанных ШОС 1030–1090 °С, температура кристаллизации шлакового стекла 670–720 °С. Вязкость шлакового расплава при 1300 °С разработанных ШОС для кристаллизатора МНЛЗ 0,125–0,225 Па·с, коммерческих аналогов 0,040–0,404 Па·с, соответственно температуропроводность шлакового расплава при 600 °С $1,25 \cdot 10^{-7}$ – $1,34 \cdot 10^{-7}$ и $1,32 \cdot 10^{-7}$ – $1,61 \cdot 10^{-7}$ м²/с. Расплавы разработанных ШОС обладают пониженным индексом шлакоразъедания циркониевографитовых и корундографитовых огнеупоров — соответственно 8,8 и 19,2 % (коммерческих 50,4 и 100 % соответственно). Создано научно-технологическое обеспечение для проектирования химического состава, рецептур ШОС и прогнозирования физико-технических свойств образующихся шлаковых расплавов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ В₄С МИНЕРАЛЬНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ КАРБОНИРОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

(✉)
E-mail: chemic@ya.ru

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

Добавки в углеродсодержащие огнеупоры В₄С и боридов металлов выполняют функции антиоксидантов, замедляющих и уменьшающих выгорание (газификацию) углерода из материала в условиях воздействия окислительных газовых сред. Действие их объясняют различными механизмами участия в физико-химических трансформациях углеродистой фазы с воздействующей газовой средой и высокой температурой. Исследовано влияние интегрального минерального инги-

битора (ИМИ), вводимого в периклазоуглеродистый огнеупор в количестве 0,25, 0,50, 0,75 и 1,00 мас. %, на его физико-технические свойства в сравнении с добавкой В₄С, вводимой в количестве 0,40 мас. %. Добавку ИМИ синтезировали на основе системы В₂O₃–C–Al в восстановительной среде при 1450 °С. Фазовый состав: Al₂OC, Al₄O₄C, Al₈B₄C, Al₂O₃. Использовали приготовленный из ИМИ тонкодисперсный порошок с размером частиц менее 63 мкм.

Испытывали образцы размерами 50×50×50 мм, спрессованные под давлением 200 МПа. Термообработку образцов проводили при 300 °С, коксующий обжиг в восстановительной среде при 1000 °С, окислительный обжиг в туннельной печи при 1510 °С. На сырцах и образцах, подвергнутых термообработке, определяли открытую пористость, кажущуюся плотность, предел прочности при сжатии, термостойкость (1300 °С – вода) после коксующего обжига образцов при 1000 °С, высокотемпературный предел прочности при изгибе при 1300 °С на образцах-балочках после восстановительного обжига при 1000 °С (коксование), степень окисления после длительного окислительного обжига при 1510 °С, температуру деформации под нагрузкой. Исследовали периклазоуглеродистые огнеупоры с содержанием графита 14–18–20 мас. %. Ниже рассмотрены физико-технические свойства огнеупоров с 18 мас. % графита.

Введение добавки ИМИ и V_4C влияет на кажущуюся плотность образцов в зависимости от условий их термообработки: 2,88–2,90 г/см³ (сырец), 2,83–2,85 г/см³ (термообработка при 300 °С), 2,76–2,77 г/см³ (обжиг при 1000 °С), 2,38–2,39 г/см³ (окислительный обжиг при 1510 °С). Открытая пористость периклазоуглеродистых огнеупоров больше зависит от условий термообработки: 2,9–3,8 % (термообработка при 300 °С), 9,9–10,2 % (после коксующего обжига), 32,0–32,6 (после окислительного обжига при 1510 °С). Введение ИМИ и V_4C не приводит к существенному изменению предела прочности при сжатии образцов: после термообработки при 300 °С (44–46 МПа), после коксующего обжига (38–41 МПа); после окислительного обжига при 1510 °С предел прочности при

сжатии в зависимости от количества и вида антиокислительных добавок 10–12 МПа.

Эффект от количества добавки (0,25, 0,50, 0,75 и 1,00 мас. %) и ее состава проявляется в повышении высокотемпературного предела прочности при изгибе при 1300 °С по сравнению с составом без добавки (11 МПа) в 1,4 раза (15,3 МПа) с 0,25 мас. % добавки, в 1,7 раза (19,0 МПа) с 0,50 мас. % добавки, в 1,75 раза (19,3 МПа) с 0,75 мас. % добавки и в 2,0 раза (22 МПа) с 1,00 мас. % добавки ИМИ. Введение добавки V_4C в количестве 0,4 мас. % повышает прочность в 2,2 раза — до 24 МПа. Увеличение количества вводимой добавки в огнеупор приводит к значительному повышению термостойкости до 19 теплосмен (1,00 % ИМИ) против 11 теплосмен без добавки ИМИ. Более значительное повышение термостойкости достигается при введении добавки 0,4 мас. % V_4C — до 22 теплосмен. С увеличением содержания добавки ИМИ степень обезуглероживания образцов после окислительного обжига при 1510 °С снижается от 89 до 85 %. У образцов периклазоуглеродистых огнеупоров с добавкой 0,4 мас. % V_4C степень обезуглероживания составляет 85 %. Высокая степень обезуглероживания периклазоуглеродистых огнеупоров с содержанием 14–20 мас. % углерода обусловлена образованием и развитием открытой пористости, которая способствует повышению скорости выгорания графита. Температура начала деформации под нагрузкой всех образцов исследованных составов выше 1720 °С. Таким образом, интегральный многофазный ингибитор и V_4C способствуют формированию высокопрочной, термостойкой микроструктуры огнеупоров с преимущественным размером пор менее 5 мкм (>75 % пор), снижают выгорание углеродистой составляющей огнеупора.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: chemic@ya.ru

О КОМПЛЕКСЕ ФАЗ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕРОДА ПЕРИКЛАЗОВЫХ КАРБЕНИРОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ

© Д. Т. Н. С. А. Суворов (✉), К. Т. Н. В. В. Козлов, К. Т. Н. С. Н. Бочаров, К. Т. Н. Н. В. Арбузова
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

Проведены моделирование и расчет химических и фазовых превращений, происходящих в периклазовых карбенированных огнеупорах в присутствии различных фаз, дана оценка их действия в окислительных процессах углерода огнеупора. С использованием принципов минимизации энергии Гиббса рассмотрены процессы эволюции состава газовой фазы в порах огнеупора в зависимости от температуры и установлено влияние фаз на способность газифицировать углерод. В качестве термодинамических условий принято, что фазовый и химический составы находятся в равновесном состоянии или близком к нему. Математический алгоритм позволил рассмотреть не отдельные взаимодействия, а весь комплекс взаимосвязанных реакций веществ в зависимости от параметров состояния (температуры, давления, состава). В качестве газовой среды выбран воздух влажностью 30 %, количество которого варьировалось в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-1} м³/кг, что соотносится с объемом пор в образце. Рассмотренный интервал 298–2400 К соответствует условиям эксплуатации периклазовых

карбенированных огнеупоров с учетом возможных отклонений от их нормированных значений.

Полученные данные свидетельствуют об устойчивости твердых фаз MgO , $MgAl_2O_4$, C , SiC для периклазовых карбенированных огнеупоров. Температура 2124 К (1851 °С) является предельной для совместного присутствия MgO и C . В MgO – C -огнеупоре Al вследствие взаимодействия с кислородом воздуха образует двойной оксид $MgAl_2O_4$:



Азот воздуха, находящийся в порах, связывается с алюминием:

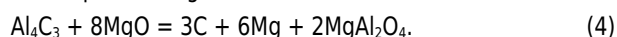


Оставшийся Al образует карбид алюминия:



Образование Al_4C_3 происходит при температуре не ниже 1073 К (800 °С), а $MgAl_2O_4$ — не ниже 1223 К (950 °С). При 1804 К (1531 °С) взаимодействие Al_4C_3 с MgO завершается, в результате чего происходит ре-

генерация твердого углерода, образуются шпинель и газообразный Mg:



Последующий рост температуры приводит к газификации углеродистой составляющей вследствие взаимодействия с MgO наполнителя огнеупора:



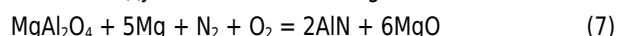
и при 2124 K (1851 °C) углерод, оставшийся после реакций (3) и (4), полностью переходит в оксидную газообразную форму:



Более устойчивый по сравнению с Al_4C_3 AlN при 2070 K (1797 °C) взаимодействует с MgO с образованием шпинели:



Выше 1743 K (1470 °C) в условиях поступления воздуха в огнеупор, когда Al_4C_3 уже перешел в MgAl_2O_4 , O_2 и N_2 из воздуха связываются в MgO и AlN:



и образуется вторичный MgO. Кроме того, вторичный MgO образуется при непосредственном взаимодействии паров Mg с кислородом воздуха при высоких температурах (>1800 K, 1527 °C):



Благодаря присутствию Al и образованию Al_4C_3 окисления и расхода углерода практически не происходит. Лишь в области высоких температур (>1500 K) наблюдается образование незначительного количе-

ства CO, C_2 , H_4 , CH_5 . Выше 1700 K образуется значительное количество газообразных продуктов взаимодействия MgO — в основном паров Mg. Это обусловлено отсутствием свободного кислорода — он связывается с Al, что препятствует образованию слоя вторичного MgO по реакциям (7) и (8).

Выше 1743 K (1470 °C) Al окисляется непосредственно минеральным наполнителем MgO и полностью переходит в шпинель с выходом образующихся паров Mg из реакционного объема, что делает переход необратимым.

Металлический Al меняет состав газообразных продуктов в поровом объеме материала, уменьшает количество углеродсодержащих продуктов газообразных соединений, особенно в интервале 600–1400 °C, пассивирует процесс газификации углеродистой матрицы огнеупора. С увеличением количества углерода возрастает протяженность зоны огнеупора, находящейся в интервале 1400–1600 °C, в котором интенсивно протекают процессы газификации углеродного каркаса огнеупора вследствие взаимодействия с минеральным наполнителем и кислородом воздуха, что приводит к деградации структуры изделия. Металлический Al перестает выполнять защитную по отношению к углероду функцию после достижения системой температуры 1743 K (1470 °C).

После вовлечения в интервале 1890–2070 K всего нитрида кремния в реакцию $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{O}_2 = \text{SiO}_2 + \text{N}_2$ начинает окисляться и распадаться карбид кремния. Защитные функции по отношению к графиту периклазового карбонированного огнеупора выполняют фазы (компоненты) Al, Al_4C_3 , AlN и SiC.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: chemic@ya.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕКСТУРЫ МАССЫ И СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА ПЕРИКЛАЗОВОГО КАРБОНИРОВАННОГО ОГНЕУПОРА

© Д. Т. Н. С. А. Суворов (✉), К. Т. Н. В. В. Козлов, К. Т. Н. С. Н. Бочаров, К. Т. Н. Н. В. Арбузова
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

При анализе технических решений по вещественному составу масс и способов получения периклазовых карбонированных огнеупоров обнаруживается отсутствие комплексного решения по формированию текстуры масс и структуры огнеупорного материала. Выдвигаются и предлагаются направления, касающиеся улучшения физико-технических и потребительских свойств огнеупоров за счет использования высокой чистоты исходных компонентов, введения антиокислительных добавок, модифицированных графитов, модифицированных фенолформальдегидных смол, пеков, связующих, а также нанодобавок оксидов, карбидов, углерода. В многокомпонентных системах, содержащих огнеупорный наполнитель в виде крупной, средней и тонкодисперсной фракций, углеродистый ингредиент, антиокислительную добавку, пластификаторы и другие ингредиенты, возникают серьезные технологические проблемы с равномерным и воспроизводимым распределением ингредиентов в объеме смесей, вызванные изменениями физико-химических свойств образующейся массы по

мере взаимодействия ингредиентов. Это сопровождается существенными колебаниями в физико-технических показателях карбонированных огнеупоров.

В результате проведенных исследований разработаны состав и способ образования массы для периклазовых карбонированных огнеупоров с плотной ненапряженной структурой, повышенной высокотемпературной прочностью, высоким сопротивлением к окислению, что достигается организацией текстуры массы и структуры огнеупора, регулированием распределения антиокислительной добавки и модифицирующих добавок между углеродосодержащим твердым ингредиентом (графитом), коксом углеродной матрицы и огнеупорным зернистым наполнителем полифракционного состава. Сущность способа заключается в том, что в смеситель в поток огнеупорного зернистого наполнителя полифракционного состава в количестве 27–79 мас. % вводят 5–40 мас. % пластифицирующих гранул, 1–3 мас. % композиционного углеродистого пластификатора, компоненты смешивают до полной

пластификации гранул, в смесь добавляют 15–30 мас. % комплексного тонкомолотого наполнителя и продолжают смешение до образования массы с насыпной плотностью 1,5–2,0 т/м³. Массу выгружают из смесителя и подвергают вылеживанию с эвакуацией газовых выделений, после чего формуют изделия.

В работе использован способ формирования гранул, основанный на добавлении к смеси графита, СФП и 18–19 мас. % ингредиентов летучего органического растворителя. Перемешивание массы осуществляется в обогреваемом смесителе. Отличительной особенностью полученных таким образом гранул является их способность пластифицироваться при введении растворителей фенолформальдегидной смолы при температурах, исключающих ее полимеризацию. При добавлении углеродистого ингредиента в виде пластифицирующих гранул в присутствии органического растворителя происходят набухание гранул и их растекание в процессе перемешивания огнеупорного зернистого наполнителя. Это приводит к образованию менее проницаемой структуры, чем при стандартном добавлении компонентов, и отражается на стойкости карбонированных огнеупоров и их окислении: протяженность окислительной зоны у

образцов при гранульном введении компонентов в 1,6 раза меньше, чем при раздельном.

Карбонированные массы, полученные с использованием гранульной технологии, существенно превосходят по насыпной плотности массы, в которые графит и связующее (СФП) вводили раздельно. При этом сформированные из них изделия характеризуются значительно более высоким пределом прочности при изгибе при 1400 °С — более 10,5 МПа.

Разработанный состав и способ образования массы для карбонированных огнеупоров могут быть использованы в технологии производства углеродсодержащих материалов (корундоуглеродистых, алюмопериклазоуглеродистых и др.), модифицированы и трансформированы для безводных виброформованных и литейных бетонов и изделий, а также безобжиговых изделий. Фактические физико-технические показатели опытной промышленной партии периклазовых карбонированных огнеупоров с содержанием углерода 10–11 мас. %: кажущаяся плотность не менее 2,91 г/см³, открытая пористость 2,6±3,0 %, предел прочности при сжатии 61–75 МПа, высокотемпературный предел прочности при изгибе при 1400 °С более 10 МПа.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ОГНЕУПОРНЫЙ БЕТОН В СИСТЕМЕ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC}$

(✉)

E-mail: chemic@ya.ru

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

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

В настоящее время возрастает интерес к неформованным огнеупорам, в частности к огнеупорным бетонам, особенно к огнеупорным бетонам на основе системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC}$ с высокоглиноземистым цементом в качестве связующей системы, модифицированным различными добавками.

Кажущаяся плотность, общая и открытая пористость, механическая и коррозионная устойчивость монолитной футеровки в значительной степени определяется гранулометрическим и фазовым составами бетонной массы. На кафедре ХТТНиСМ СПбГИ (ТУ) разработано программное решение для моделирования оптимального фракционного состава, который обеспечивает максимальную относительную плотность бетонной смеси, на основе различных методов построения идеальной кривой просеивания с учетом морфологических особенностей применяемых порошков. Созданное программное решение существенно снижает время и стоимость разработки составов и рецептур неформованных огнеупоров.

Разработаны компонентный, фазовый и гранулометрический составы огнеупорного бетона на основе системы $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2\text{--SiC}$ и высокоглиноземистого цемента. Проведен анализ влияния алюмомагнезиаль-

ной шпинели ($\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) на физические свойства и шлакоустойчивость предложенного бетона. Введение $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ способствует спеканию образцов, упрочнению их матричной структуры, повышению прочности и снижению пористости. Исследованы различные способы введения и синтеза $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ непосредственно в объеме материала. При синтезе шпинели в бетоне, при термообработке в матрице материала формируются микротрещины из-за образования фазы ($\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) с меньшей плотностью, что неблагоприятно влияет на уплотнение и упрочнение бетона при спекании.

С повышением содержания $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ плотность огнеупорных бетонов сначала возрастает, а затем снижается, пористость, наоборот, имеет экстремуму минимума, а наибольшая плотность и предел прочности при сжатии достигаются при концентрации $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 3 % мас. Максимальная шлакоустойчивость достигается при содержании в бетоне 5 мас. % $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$. Получены монолитные огнеупорные материалы, обладающие общей усадкой менее 1 %, открытой пористостью 15 %, пределом прочности при сжатии до 100 МПа (после обжига на 1300 °С), с содержанием $\text{Al}_2\text{O}_3 > 71,2$ %, $\text{SiC} > 16,5$ %, $\text{CaO} < 1,2$ % и $\text{MgO} < 1,4$ %.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА ТЕРМОСТОЙКОСТЬ СПЕЧЕННЫХ
И ПЛАВЛЕННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ α - Al_2O_3**

(✉)

E-mail: metogneupor@gmail.com

© И. А. Третьяков, Л. В. Миронова, К. А. Сенчева (✉)

ООО «МетОгнеупор», г. Магнитогорск, Россия

В классическом представлении причина преимуществ спеченных материалов над плавленными кроется в различии структуры, формируемой принципиально разными технологическими процессами производства. Различия в структуре обусловлены главным образом величиной и характером распределения пор в объеме материала. Тем не менее суждение о разнице во внутреннем строении спеченных и плавленых материалов в большинстве работ основывается на исследовании внешней поверхности — распределении открытых пор по размерам.

В настоящей работе исследовали внутреннюю микроструктуру плавленых и спеченных материалов с точки зрения влияния на термостойкость зерна на примере табулярного глинозема и белого плавленого корунда. В качестве исследуемых материалов были рассмотрены по два образца белого плавленого корунда и табулярного глинозема разных производителей, серийно применяющихся в технологии МетОгнеупор. Микроструктуру материалов исследовали с применением электронного сканирующего микроскопа; были определены также кажущаяся плотность, открытая пористость и термостойкость зерновых материалов.

Сравнивая структуру табулярных глиноземов и корундов, фактически присутствующих на рынке, можно сделать вывод, что поровая структура обоих материалов отличается от общепринятого представления, полученного с применением анализа размера открытых пор. Фактические показатели среднего размера закрытых пор табулярных глиноземов оказываются значительно выше: доля субмикронных пор не более 5 %, количество пор более 10 мкм ориентировочно 25–30 %. Микроструктура корундов, напротив, характеризуется меньшим средним размером закрытых пор (3–10 мкм) в отличие от средних величин распределения открытых пор (30–45 мкм). У одного из образцов корунда выявлены микротрещины. Отличие корунда от табулярного глинозема заключается в форме и равномерности распределения пор. В табулярном глиноземе поры сопоставимы по размеру, но распределены более равномерно и имеют форму, близкую к округлой.

При изучении свойств рассматриваемых материалов, влияющих на термостойкость, установлены значительные различия в микроструктуре как табулярного глинозема, так и корунда в зависимости от производи-

теля, что подтверждается различиями в показателях открытой пористости, термостойкости и, по-видимому, определяется нюансами конкретных технологических процессов. Различия заключаются в соотношении количества зерен с разной структурой в общем объеме материала. Но несмотря на принципиально разные технологии производства — спекание и плавление, микроструктуры рассматриваемых табулярных глиноземов и корунда первого производителя не являются кардинально различающимися, что подтверждается практически одинаковыми показателями термостойкости с табулярным глиноземом второго производителя.

Таким образом, уровень термостойкости рассматриваемых материалов зависит от совокупности показателей поровой структуры: количества, размера и равномерности распределения замкнутых пор. Однозначным условием блокировки распространяющихся трещин является замкнутость и равномерность распределения пор. Для табулярного глинозема данное условие выполнить проще в силу особенностей технологии производства. Для создания в корунде закрытой равномерно распределенной пористости требуется достаточно быстрое охлаждение слитка, что трудно выполнимо при его массе более 2 т. Сложно однозначно оценить необходимое и достаточное количество пор, обеспечивающее наивысшую термостойкость, но размер пор, по-видимому, не должен массово превышать 20 мкм. Данное условие выполняется только первым производителем табулярного глинозема и, скорее всего, зависит от оптимальности температурного режима спекания, обеспечивающего одновременное отсутствие неспеченных и перегретых зерен. Для корунда регулирование количества и размера пор представляется сложной, но не невыполнимой задачей, связанной с режимами кристаллизации расплава.

Выявленные различия и сходства структур спеченных и плавленых материалов оставляют открытым вопрос: будет ли сопротивляемость термоциклированию огнеупорной системы определяться структурой и, соответственно, показателями термостойкости зерновых материалов, входящих в ее состав? Практический опыт показывает, что такой зависимости нет. Но для подтверждения или опровержения этих наблюдений требуется продолжение исследований.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УНТ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА
ОГНЕУПОРОВ СОСТАВА MgO-C**

(✉)

E-mail: yana-saltykova@mail.ru

© Б. Б. Хайдаров¹, Д. С. Суворов¹, Я. С. Салтыкова¹ (✉), К. Т. Н. Т. В. Ярушина²,
К. Т. Н. Л. М. Аксельрод², К. Т. Н. Д. В. Кузнецов¹¹ ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Огнеупорные материалы применяют практически во всех отраслях промышленности, они обеспечивают эффективное использование технологического оборудо-

вания. Эффективность целых технологических систем во многом зависит от качества и эксплуатационных свойств огнеупорных изделий. В первую очередь это

относится к черной и цветной металлургии, машиностроению, химической и энергетической промышленности. Использование новых высокоэффективных огнеупорных материалов и изделий позволяет значительно снизить удельные расходы и обеспечить стабильность работы тепловых агрегатов.

Одним из наиболее сложных и ответственных типов огнеупорных материалов являются периклазоуглеродистые. В рамках проводимой работы анализируется возможность улучшения эксплуатационных характеристик периклазоуглерода с использованием различных углеродных и керамических наноматериалов. Основной проблемой практического использования наноматери-

алов в промышленности является обеспечение равномерного распределения наночастиц по объему шихты, содержащей частицы различного размера и состава. В рамках работы показана возможность эффективного использования аппаратов типа ВЭГ (вихревое электромагнитное перемешивание) для гомогенного распределения нанодисперсных материалов по объему модельной периклазоуглеродистой шихты. В частности, в лабораторных условиях было показано, что введение углеродных нанотрубок концентрации до 0,1 мас. % позволяет повысить предел прочности при сжатии экспериментальных образцов после коксования при 1000 °С от 27 до 45 МПа.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

(✉)
E-mail: sc@adelinfo.ru

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП КОНСТРУИРОВАНИЯ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА БАЗЕ «УМНЫХ» СЕГМЕНТОВ

© С. И. Церман¹ (✉), д. х. н. А. В. Беляков²

¹ ООО «Дельта» группы компаний «Адель», Москва, Россия

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

В предыдущих совместных исследованиях на производственной базе ООО «Дельта» (группа компаний «Адель») под научно-техническим руководством кафедры химической технологии керамики и огнеупоров РХТУ имени Д. И. Менделеева разработана и внедрена в производство серия новых алмазных инструментов для обработки хрупких неметаллических материалов, не имеющих аналогов в России. В серии статей нами освещены некоторые аспекты конструкции и эксплуатации этих инструментов, напаянных так называемыми «умными» сегментами. В частности, предложен разработанный универсальный сегмент, применяемый для резания огнеупоров. Варьируя количество таких сегментов на отрезном круге (степень заполнения режущего контура), можно оптимизировать применение инструмента для конкретных типов огнеупоров: «твердых» или «мягких», плотных или пористых. В этом случае сегмент, разработанный нами для огнеупоров, можно условно считать инструментальным модулем для конструирования и производства сегментных алмазных отрезных кругов.

Конструктивные особенности разработанных «умных» сегментов позволяют перенести модульный подход с уровня конструкции сегментного инструмента на уровень конструкции (структуры) самого сегмента как элемента отрезного круга. Действительно, при рассмотрении технологии изготовления таких сегментов видно, что она сводится к смешиванию, прессованию и спеканию заранее приготовленных гранул (модулей): режущих, несущих и функциональных. Подход к составу сегментных модулей разработан на основе проведенного анализа сегментов различных произ-

водителей алмазного инструмента. Разработанную конструкцию сегментов можно успешно применять для обработки довольно широкого диапазона хрупких материалов с различными значениями физико-механических свойств: различных типов огнеупоров, керамики, стекла, бетона. Дальнейшее расширение ассортимента обрабатываемых материалов требует увеличения количества конструкций сегментов. В ходе проведенных исследований показано, что эту довольно широкую гамму сегментов можно сконструировать из тех же самых модулей, варьируя всего лишь их содержание в сегментах. Задача подбора «умных» сегментов для инструмента с учетом различных факторов от обрабатываемости материала до характеристик станка и условий обработки сводится к определению так называемого сегментного индекса — соотношения объемов модулей в спеченном теле. Смешивая модульные гранулы в выбираемых соотношениях, можно произвести сегменты различного назначения. Проведены исследования закономерностей сочетания сегментных модулей, а также даны некоторые рекомендации по составлению сегментов из модулей.

Модульные конструкции успешно опробованы в таком инструменте, как отрезные круги, сверла, сменные элементы для обдирки, грубой и тонкой шлифовки огнеупоров, природного камня, бетона, монокристаллов. Для ряда типоразмеров инструмента в ГК «Адель» налажен серийный выпуск. Исследование, с одной стороны, позволяет унифицировать технологию изготовления алмазного инструмента, а с другой — повысить его качество и упростить выбор инструмента для конкретного применения.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ТРУБОК НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ
МЕТОДОМ СВС-ЭКСТРУЗИИ**

(✉)

E-mail: chij@ism.ac.ru

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

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

Керамические материалы в современной промышленности находят широкое применение. Наиболее распространенной является оксидная керамика, в частности керамика на основе оксида алюминия. Такая керамика получила широкое распространение благодаря сочетанию высокой твердости, термостойкости, химической инертности и доступности. Керамика из оксида алюминия является перспективным материалом для получения чехлов для термопар для измерения температуры в агрессивных средах, а также для изготовления струеформирующих сопел для гидроабразивной резки материалов.

Однако современные методы и технологии получения объемных керамических изделий, такие как, например, магнитно-импульсное прессование с последующим спеканием или литье жидкого шликера, являются довольно энерго- и трудозатратными. В качестве альтернативы для синтеза керамических материалов довольно широкое распространение получил метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Этот метод завоевал свою популярность благодаря таким качествам, как отсутствие потребления электроэнергии для нагрева (процесс идет за счет собственного тепловыделения); использование простого и малогабаритного оборудования (нет необходимости в длительном высокотемпературном внешнем нагреве, в печах с системами нагрева, теплозащиты и терморегуляции); высокая производительность (сгорание происходит за минуты или секунды); высокая чистота продуктов (температура горения составляет 200–4000 К, при ней примеси разлагаются и улетучиваются); широкая гамма материалов (порошки, пористые материалы, беспористые компактные материалы, литые, композиционные, наплавки и покрытия).

В традиционном СВС продукт обычно получается в виде твердого спека или порошка. В ИСМАН был разработан метод СВС-экструзии, который сочетает процесс горения в режиме СВС и последующее интенсивное пластическое деформирование. Такой подход позволяет в одну технологическую стадию получать длинномерные

изделия, например электроды для нанесения защитных покрытий или трубки. Предварительно спрессованная заготовка помещается в пресс-форму, после чего вольфрамовой спиралью инициируется процесс горения. После того как волна горения проходит через весь образец, к заготовке прикладывается давление, и материал через формующую матрицу выдавливается в кварцевый калибр.

В данной работе речь идет о получении керамических полых стержней (трубок) на основе Al_2O_3 методом СВС-экструзии. Объектом исследования являлась исходная порошковая система $B_2O_3-Al-Cr_2O_3$. В ходе процесса горения в системе происходит алюмотермическое восстановление оксида хрома и оксида бора, затем восстановленные хром и бор реагируют между собой. По результатам рентгенофазового анализа при горении исследуемой системы на воздухе конечный продукт содержал фазы оксида алюминия и боридов хрома CrB и Cr_3B_4 . Борид хрома Cr_3B_4 является нежелательной фазой, поскольку является не самым химически стойким соединением хрома с бором в отличие от CrB . Однако рентгенофазовый анализ образцов, полученных в ходе СВС-экструзии, показал, что экструдированные стержни содержат две фазы, а именно Al_2O_3 и CrB . По-видимому, это связано с уменьшением теплопотерь при горении материала в изолированной пресс-форме.

Методом СВС-экструзии были получены трубки диаметром 6 и длиной более 100 мм с внутренним диаметром 3 мм. Результаты изучения микроструктуры полученных стержней позволяют выделить в структуре материала три различные области. Первая область находится у внешнего края образца. В этой области зерна имеют наименьший размер из-за высокой скорости охлаждения, возникающей при контакте материала с холодными стенками калибра. Следующая область находится на внутренней границе образца, рядом с отверстием. Здесь условия теплоотвода не такие резкие, поэтому зерна имеют больший размер. Центральная область является теплоизолированной с двух сторон, зерна здесь имеют наибольший размер.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПРЕССОВАННЫХ ГИБРИДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ A359/(SiC + Si₃N₄)**

(✉)

E-mail: essam@mis.ru

© Э. А. М. Шалаби¹ (✉), А. Ю. Чурюмов¹, М. Т. Абу Эль-хаир², А. Дауд²¹ ФГАОУ «НИТУ «МИСиС», Москва, Россия² Центральный металлургический R&D институт (CMRDI), г. Каир, Египет

Исследовали термические свойства и износ при трении-скольжении гибридных композитных материалов с матрицей A359 и добавками упрочняющих частиц (SiC + Si₃N₄) в количестве 5, 10 и 15 мас. %, полученных методом литья под давлением. Характеристики износа композитов A359/(SiC + Si₃N₄) изучали под нагрузкой в интервале

20–50 Н при скорости скольжения 2,75 м/с. Установлено, что упрочненные композиты A359/(SiC + Si₃N₄) имели относительно низкую теплопроводность по сравнению со сплавами A359, а их трибологические характеристики продемонстрировали гораздо более высокое сопротивление истиранию, чем сплавы A359. Коэффициенты трения

и температура контактных поверхностей образцов A359/(SiC + Si₃N₄) увеличивались при возрастании содержания (SiC + Si₃N₄). Изучение поверхности износа показало, что образцы композитов A359/(SiC + Si₃N₄) покрывались ок-

сидами железа, которые служили самосмазывающими слоями. Высокая износостойкость композитов A359/(SiC + Si₃N₄) обеспечивает материалу стойкость, позволяющую применять их в автомобилестроительной индустрии.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ТРУБЧАТЫХ БИМЕТАЛЛОВ

(✉)
E-mail:

© В. Т. Шмурадко (✉), д. т. н. Ф. И. Пантелеенко, д. т. н. О. П. Реут, С. В. Григорьев, А. Ф. Пантелеенко
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Процесс высокоскоростной автоматической контактной сварки биметаллических трубчатых элементов, например медно-алюминиевых, состоит из механизмов непрерывно-циклического и кратковременного электроимпульсного, теплового и термомеханического нагружения свариваемых металлических фрагментов с применением электроизоляционных деталей. Необходимое условие высокоскоростной и качественной контактной сварки биметаллов — создание высокотемпературных оксидных материалов-диэлектриков с заданным комплексным уровнем свойств. В качестве исходных компонентов для получения высокотемпературных электроизоляторов использовались химические соединения с электрической проводимостью менее 10^{-4} См/м при 1000 °С. К ним относятся простые оксиды Al₂O₃, MgO, SiO₂, Y₂O₃, Sc₂O₃, BeO и их структурные композиции на основе Al₂O₃. За основу базового исходного материала были приняты глинозем и его текущие формы, модифицированные оксидами Mg, Si, Ca, Zr, Y, B, Ba и их комплексами, обладающие преимущественно ионным типом химической связи и проводимости. Основная задача исследования — изучение и формирование в керамических материалах изделий управления набора электротехнических, прочностных механических и термопрочностных свойств. Это управление достигалось структурированием алюмооксидной матрицы с применением таких фазовых сочетаний, как Al₂O₃-MgAl₂O₄; Al₂O₃-3Al₂O₃·2SiO₂; Al₂O₃-ZrO₂ ЧЦ (Y₂O₃, MgO, CaO); Al₂O₃ + CaAl₂Si₂O₈; Al₂O₃ + ZrSiO₄; Al₂O₃ + BaAl₂SiO₈ и др.

Основные этапы структурной инженерии в технологии создания электротехнических материалов-изделий с задаваемыми комплексами свойств включали трибохимическую (механохимическую) жидкостную обработ-

ку керамических порошковых композиций в помольных установках; формование и уплотнение заготовок требуемой геометрии; тепловую обработку и спекание создаваемых материалов-изделий в соответствии с разработанными для них температурно-временными диаграммами спекания. Согласно разработанным технологическим приемам и режимам композиционного структурирования алюмооксидной матрицы в созданных высокотемпературных диэлектриках были сформированы следующие диапазоны показателей свойств: диэлектрические проницаемость 8–10,5; tgδ $1 \cdot 10^{-4}$ – $30 \cdot 10^{-4}$ при 20–1200 °С и 10^8 – 10^{10} Гц; проводимость 10^{-13} – 10^{-8} См/м; электрическая прочность 10–30 МВ/м; предел прочности при сжатии 216–498 МПа, при изгибе 89–121 МПа при содержании в материале пористостью 0,5–7 % 85–90 мас. % Al₂O₃; термостойкость оксидных материалов на основе α-Al₂O₃ и твердых растворов 27–70 термоциклов (1000 °С – вода).

Разработаны, изготовлены и испытаны электроизоляторы двух типоразмеров (диаметром 8 и 9 мм) в режиме контактной сварки трубчатых элементов медь – алюминий, которые затем были использованы в узлах холодильно-морозильных установок. Получены положительные результаты испытаний. В зависимости от поставленных задач срок службы одной пары изоляторов составил 1200–2000 рабочих циклов. Дальнейшая разработка диэлектриков и их активное интегрирование в электротехнические, микроэлектронные системы представляют собой направления эффективного решения как электротехнических (сварочных) задач, так и последовательной микроминиатюризации электронных, компьютерных и других устройств, а также создания СВЧ-диэлектриков для техники двойного назначения.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ВОДНЫХ ШЛАМОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ДИАТОМИТОВЫМ ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ ОГНЕУПОРАМ

(✉)
E-mail:

© И. М. М. Эвайс¹ (✉), М. Уолли², Б. Е. Х. Альанадولي³, Р. М. Элсаадни¹

¹ Центральный металлургический R&D институт (CMRDI), г. Каир, Египет

² Каирская компания питьевой воды, г. Каир, Египет

³ Каирский университет, г. Гиза, Египет

Из египетских водных шламов были получены различные типы новых легковесных огнеупоров, которые можно использовать взамен диатомитовых теплозащитных материалов. Количество шлама оценивается 59000 т/г. При разработке технологии изготовления огнеупорных изделий рассматривали два фактора: температуру об-

жига и содержание добавок кремниевой пыли; в технологическую схему включили прессование отфильтрованного шлама. Полученные теплоизоляционные огнеупорные изделия имеют разную структуру и химические свойства, что, в свою очередь, приводит к неодинаковым эксплуатационным показателям. Открытая по-

ристость и насыпная масса полученных изделий были зафиксированы на уровне 40–73 % и 0,35–0,95 кг/см³ соответственно, тогда как холодная прочность при раздавливании и условный предел прочности на разрыв имели значение 14–60 и 3–7 кг/см² соответственно. Огнеупорность изделий около 1250 °С. Изделия могут быть легко разрезаны ручной ножовкой или таким ручным инструментом, как долото или сверло. Цвет теплоизоляционных изделий обычно светло-коричневый.

Основываясь на полученных результатах, можно отметить, что эти теплоизоляционные огнеупорные изделия занимают особое положение среди высокотемпературных теплоизоляционных материалов, поскольку в них уникально сочетаются теплоизоляционные свойства и способности выдерживать нагрузку. Следовательно, они соответствуют требованиям для футеровки внутренних стенок промышленных печей с рабочей тем-

пературой до 1100 °С и их конструктивная прочность и стойкость достаточны, чтобы противостоять эрозионной и абразивной среде. Ожидается, что эти изделия позволят уменьшить потребление энергии в разных отраслях промышленности. Согласно первоначальным оценкам, процесс производства экономически эффективный и энергосберегающий. Имеющийся в наличии шлам позволяет выпускать на рынок наиболее полный диапазон теплоизоляционных огнеупорных изделий. Шлам на основе измельченных изделий, изготовленный при 900 °С, был успешно применен для очистки воды от наиболее распространенных загрязнителей, таких как фуксиновый краситель, остаточный хром, Pb²⁺ и Ni²⁺. Поскольку полученные материалы являются малозатратными адсорбентами, они могут быть использованы в качестве альтернативы дорогим очистителям в водных растворах и в процессах очистки воды.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

НОВЫЙ ПОДХОД К ВЫПОЛНЕНИЮ ФУТЕРОВКИ АГРЕГАТОВ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДСП-120 ОМЗ-СПЕЦСТАЛЬ

(✉)
E-mail: lakselrod@magnezit.com

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹ (✉), К. Т. н. Т. В. Ярушина², К. Т. н. А. В. Заболотский¹, А. О. Мигашкин²

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

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

Сотрудничество специалистов Группы Магнезит и ОМЗ-Спецсталь в совершенствовании дизайна огнеупорной футеровки на основании моделирования термомеханических напряжений, использовании периклазоуглеродистых огнеупоров нового поколения, а также оптимизации состава шлака позволило добиться существенного увеличения стойкости агрегатов сталеплавильного производства: дуговой сталеплавильной печи ДСП-120 и 150-т сталеразливочных ковшей в комплексе с установками внепечного вакуумирования и рафинирования (УВРВ) стали ASEA-SKF и VD/VOD. Разработанные индивидуально для 150-т сталеразливочных ковшей УВРВ и ДСП-120 ОМЗ-Спецсталь схемы футеровки с использованием высококачественных огнеупорных материалов Группы Магнезит в сочетании с высокомагнезимальным флюсом позволили существенно увеличить стойкость футеровки и снизить удельный расход огнеупоров. Испытания в службе трех выполненных по оптимизированному дизайну экспериментальных комплектов футеровки стен и шлакового пояса ДСП-120 ОМЗ-Спецсталь показали максимальную стойкость — 212 плавов при достаточно высокой остаточной толщине футеровки. Испытания в службе шести экспериментальных комплектов футеровки 150-т сталеразливочных ковшей УВРВ, выполненных по оптимизированному дизайну при обработке коррозионно-стойких марок стали в условиях ОМЗ-Спецсталь, показали увеличение стойкости в среднем на 27 %.

Моделирование термомеханических напряжений, возникающих в футеровке ДСП-120, позволило скорректировать дизайн футеровки и печи, и сталеразливочного ковша с минимизацией напряжений. На уровень термомеханических напряжений в футеровке влияет также качество огнеупора:

его вещественный состав и технические характеристики. В качестве основного компонента при изготовлении огнеупоров для обоих агрегатов использовали плавленный периклаз Группы Магнезит. К особенностям этого периклаза относятся: высокое содержание MgO (не менее 97,6 %), крупные кристаллы (70 % кристаллов >500 мкм), высокая кажущаяся плотность (не менее 3,50 г/см³), отсутствие непрерывной прослойки силикатной фазы между кристаллами.

Для повышения устойчивости углеродной составляющей огнеупоров к окислению, а также их микроструктуры к механическому воздействию металлошлакового расплава матричную часть усилили функциональными добавками, а в качестве связующей системы использовали жидкую новолачную смолу с высокой степенью полимеризации. Периклазоуглеродистые изделия характеризовались повышенной стабильностью объема в температурном диапазоне от 20 до 1500 °С.

Результаты исследования образцов периклазоуглеродистых изделий после службы в дуговых сталеплавильных печах и в сталеразливочных ковшах сталеплавильного комплекса ДСП-120 показали, что важнейшую роль в процессе износа играют не только размер кристаллов периклаза и его структурные особенности, но и вещественный состав матрицы, качество углеродного связующего, графита, а также другие показатели, определяющие устойчивость к факторам износа. Исследования периклазоуглеродистых огнеупоров после службы в шлаковом поясе сталеразливочного ковша подтвердили, что конечная фаза износа огнеупора носила механохимический характер и процесс вымывания зерен периклаза из окислившегося огнеупора опережал процесс взаимодействия шлака с компонентами матрицы в межзеренном пространстве.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ
В УСЛОВИЯХ ККЦ № 2 АО «ЕВРАЗ ЗСМК»**(✉)
E-mail:
Tatyana.Ermokhina@evraz.com© **А. В. Амелин, А. В. Календа, Т. Ю. Ермохина** (✉)
АО «ЕВРАЗ ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия

Описан опыт эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей в условиях ККЦ № 2 ЕВРАЗ ЗСМК. Показаны существующая технология, виды ремонта футеровки. Сообщается о последовательности перевода технологии оснащения сталеразливочных ковшей шиберами

затворами типа «книжка» оборудования фирмы «Knoellinger», а также о применении технологии SHOT-кретирования для ремонта рабочего слоя футеровки сталеразливочных ковшей. Представлено описание перспективных технологий в 2017 г.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ
ГРАНУЛИРОВАННЫХ И ВЫСОКООСНОВНЫХ ПОРОШКООБРАЗНЫХ
ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗЕРКАЛА МЕТАЛЛА
В СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ И ЧУГУНОВОЗНЫХ КОВШАХ**(✉)
E-mail: mail@izometica.ru© **А. П. Богун** (✉)
ООО «ИЗОМЕТИКА», г. Воронеж, Россия

Обобщен опыт промышленного применения специализированных теплоизолирующих смесей (ТИС) для утепления зеркала металла (шлака) в сталеразливочных и чугуновозных ковшах. Приведены данные по изменению теплотер в процессе выдержки металла до начала разливки на МНЛЗ (или в слитки) либо до начала слива чугуна в миксер или его разливки в чушки. В условиях современных «малошлаковых» процессов внепечной обработки стали (ВОС) выделены акценты текучести засыпки при ее вводе, особенно на сталеразливочных ковшах малой (30–100 т) и средней вместимости (100–160 т). Применительно к утеплению металла в чугуновозных ковшах выделены аспекты уменьшения основности покровных шлаков при снижении температуры чугуна, вызывающие повышение их вязкости и возможное загущение.

Дана общая оценка известных способов разжижения чугуновозных шлаков в ковшах для обеспечения нормального слива ковшей в миксер. Основные выводы:

- применение ТИС в сталеразливочных ковшах МНЛЗ способствует стабилизации температурно-скоростного режима разливки на МНЛЗ, получению заданного ка-

чества металлопродукции и снижению ряда ресурсо- и энергосоставляющих затрат калькуляции производства стали;

- использование ТИС для сталеразливочных ковшей при разливке стали в слитки способствует повышению выхода «годных» слитков, разлитых сифоном;

- утепление зеркала металла (шлака) в чугуновозных ковшах имеет ряд технологических и технико-экономических преимуществ перед «шлакоразжижающими» технологиями; особенно актуально в условиях ужесточения требований к оборачиваемости чугуновозных ковшей и степени их налива в условиях конкретных производств.

Актуальность работы — в необходимости снижения теплотер через зеркало металла в сталеразливочных и чугуновозных ковшах и сокращения затрат по калькуляции производства. Новизна работы: обобщение многолетнего опыта исследователей СНГ по различным вариантам использования ТИС для сталеразливочных ковшей и технологиям утепления (разжижения) покровных шлаков в чугуновозных ковшах. Адаптация технологических свойств ТИС в условиях малошлаковых процессов ВОС.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ПРИМЕНЕНИЕ ИЗВЕСТКОВО-СИЛИКАТНЫХ
И ИЗВЕСТКОВО-ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ПЛАВЛЕННЫХ РАФИНИРОВОЧНЫХ
ФЛЮСОВ ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ**(✉)
E-mail: mail@izometica.ru© **А. П. Богун** (✉), **Н. А. Годынский**
ООО «ИЗОМЕТИКА», г. Воронеж, Россия

Обобщен опыт промышленного применения плавленных рафинировочных флюсов для внепечной обработки стали (ВОС). Показан ряд технологических процессов по ВОС ответственного назначения с применением плавленных флюсов собственного производства. Приведены данные по параметрам десульфурации и изменению дорогостоящих составляющих производства при ВОС. Актуализованы современные

требования по ограничению прихода неметаллических включений вследствие «вторичного» газонасыщения и увеличения расхода «сильных раскислителей». В условиях «малошлаковых процессов» ВОС выделены технологические варианты применения плавленных известково-глиноземистых флюсов для снижения газопроницаемости покровных шлаков. Приведены рекомендации разработчиков и произво-

дителей АКП по шлаковому режиму доводки стали на АКП с разными вариантами раскисления металла Al и Si. Из практики использования при ВОС флюсов производства компании «Kerneos» выборочно приведены данные по снижению загрязненности неметаллическими включениями проката на строительном и шарикоподшипниковом сортаменте.

Основные выводы:

- применение флюсов повышает кинетику процессов десульфурации при ВОС и сокращает длительность их проведения;

- формирование легкоплавкой «подложки» на основе известково-глиноземистых флюсов снижает вторичное газонасыщение и загрязненность металла неметаллическими включениями, даже высокоуглеродистого сортамента;

- снижение расхода CaF_2 за счет использования флюсов способствует повышению стойкости футеровки сталеразливочных ковшей.

Актуальность работы — ужесточение требований потребителя металлопродукции к загрязненности неметаллическими включениями все большего количества групп проката.

Новизна работы — обобщение многолетнего опыта исследователей СНГ по различным технологиям использования синтетических шлаков для адаптации шлакового режима к современной технологии доводки на АКП (вакууматорах); адаптация физических и технологических свойств покровных шлаков в ковше при их минимальном расходе (10 кг/т) на АКП за счет использования алюминатов кальция для поддержания необходимого содержания Al_2O_3 и быстрого эвтектического взаимодействия.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: toch56@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ОГНЕУПОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИЕМНОЙ КАМЕРЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША НА РАБОТУ МНЛЗ

© Д. т. н. **К. Н. Вдовин**, **Василий В. Точилкин** (✉), **Е. А. Мельничук**

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

Представлены новые компоновки элементов приемных камер промежуточного ковша (ПК) симметричных и несимметричных (одно-, двух- и многоручьевых) МНЛЗ. Проведено моделирование работы конструкций оборудования ПК в процессе прохождения металла. Математическая модель описывает движение жидкого металла в ПК. При ее составлении использованы следующие уравнения: Навье – Стокса, неразрывности потока, конвективной диффузии. Показано существенное влияние новых компоновок системы распределения потоков стали и конструкций ее элементов на параметры потока металла в одно-, двух- и многоручьевых ПК МНЛЗ и на удаление неметаллических включений (НВ). Совершенствование огнеупорных изделий приемной камеры для рационального формирования потоков металла создает условия для повышения качества разливаемой стали. Созданы новые компоновки приемной камеры одно- и многоручьевых МНЛЗ на базе ме-

таллоприемника с пространственно-ориентированными отверстиями: в одну сторону — для одноручьевого ПК и в две стороны — для многоручьевых МНЛЗ. Применение в ПК одно- и многоручьевых МНЛЗ элементов разработанной системы распределения потоков стали обеспечивает гашение интенсивных скоростных поверхностных потоков в приемной камере ПК, позволяет обеспечивать рациональное движение потоков стали со скоростями ниже максимально допустимых (0,16 м/с). Это создает стабильность разлива и повышение качества разливаемого металла благодаря уменьшению количества НВ, попадающих из ПК одно- и многоручьевых МНЛЗ в кристаллизатор. Все это позволяет повысить качество выпускаемой непрерывной заготовки на МНЛЗ. Конструкции огнеупорных изделий с пространственно-ориентированными отверстиями прошли промышленное испытание на одно- и многоручьевых МНЛЗ.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: toch56@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОГНЕУПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМЫ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫЙ КОВШ – ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОВШ МНЛЗ

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

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

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

Рассмотрено огнеупорное оборудование системы сталеразливочный ковш — промежуточный ковш МНЛЗ. Разработаны конструкции элементов устройства для защиты струи металла при разливе стали из сталеразливочного ковша (СРК) в промежуточный ковш (ПК). Рассмотрены конструкции устройства с применением вставок из пластичных огнеупоров, предотвращающие прохождение воздуха в струю металла при разливе и обеспечивающие рациональные параметры подачи аргона в кольцевую выемку огнеупорной трубы. Пред-

ставлено модернизированное устройство для защиты струи металла. Отличительная особенность — выполнение нижней торцевой поверхности прокладки в виде наклонной конусной поверхности, прилегающей к стакану. Рациональное расположение нижней торцевой поверхности прокладки над кольцевой выемкой позволяет обеспечить подачу аргона по всей поверхности трубы в зоне кольцевой выемки и оптимальную отсечку воздуха. Кроме того, надежная фиксация трубы в стакане, а также осевая центровка полостей обеспе-

чивают в процессе разливки формирование струй металла технологически заданной конфигурации без нарушения сплошности. При этом исключаются боковые смещения струй металла в трубе и размывание огнеупора трубы. Это позволяет также повысить качество разливаемого металла за счет исключения попадания в него частиц огнеупорных материалов. В результате обеспечивается стабильность процесса разливки и повышение качества разливаемого металла. Отмечены особенности пневматической системы подачи аргона в

устройство. Разработаны аналитические зависимости по определению параметров подачи аргона для эффективной работы системы СРК – ПК, оснащенной защитной трубой для различных сталеразливочных ковшей, устанавливаемых на МНЛЗ. Совместная подача аргона как в стык устройства для защиты струи металла, так и в элементы ПК (пороги, перегородки) позволяет решить задачу комплексной подачи аргона в элементы ПК. Все это обеспечивает стабильность разливки и повышение качества металла, разливаемого на МНЛЗ.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ВИДЕНИЕ ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ В ЗАПЛЕЧИКАХ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

(✉)

E-mail:

Daria.Petrukhina@sevenrefractories.com

© К. т. н. **Э. А. Вислогузова, Л. Фолько, Р. А. Чеглов** (✉), **Дж. Палмизано**

Компания «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 производительности ДП. В рамках кампании эксплуатации ДП в результате взаимодействия движущихся продуктов плавки с футеровкой изначальный оптимально рассчитанный профиль претерпевает значительные изменения. Особенно это проявляется в нижней части шахты — в зоне заплечиков ДП, в которой интенсифицируется процесс образования металла, ускоряется движение продуктов плавки. Неравномерный и интенсивный износ футеровки нарушает термодинамические условия ДП, что затрудняет ее дальнейшую эксплуатацию и управление технологическими параметрами плавки и в дальнейшем приводит к необходимости преждевременной замены футеровки с остановкой печи и потерями производства. Таким образом, решение вопроса увеличения 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 по времени механические нагрузки от столба шихты, опирающегося на футеровку этой зоны. Поэтому материалы для футеровки в этой зоне должны обладать высокими показателями прочности при высоких температурах, не деформироваться, т. е. быть устойчивыми к ползучести. Традиционно для футеровки зоны заплечиков используются формованные огнеупоры среднеалюмосиликатного 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. Общеизвестно, что карбид кремния обладает исключительной прочностью, приближающейся к прочности алмаза, высо-

кими показателями плотности и теплопроводности, огнеупорности, устойчивости 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 производство такого типа изделий достаточно трудоемко, что приводит к достаточно высокой их стоимости.

В свою очередь, карбидкремнийсодержащие бетоны обладают практически всеми преимуществами, что и формованные обожженные карбидкремниевые изделия. Существенным преимуществом использования бетонов является отсутствие швов в готовой футеровке. Процесс укладки бетона поддается механизации, в то время как укладка штучных изделий требует квалифицированных каменщиков. В случае применения шоткрет-технологии монтажа сроки изготовления футеровки также значительно сокращаются. 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 по сравнению с формованными изделиями такого же химико-минерального состава.

Таким образом, выбор карбидкремниевых огнеупоров формованных или неформованных для футеровки заплечиков 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**ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ МОНОЛИТНАЯ ПЕНОИЗОЛЯЦИЯ**

(✉)

E-mail:
rechkalov@spetsogneupor.ru© Е. Н. Демин¹, А. А. Речкалов² (✉)¹ Компания DEMIN SRM GmbH, г. Герсрид, Германия² ООО «СпецОгнеупорКомплект», г. Екатеринбург, Россия

Монолитная футеровка имеет целый ряд преимуществ перед футеровкой из штучных изделий. В основном рабочий слой монолитной футеровки выполняют из плотных огнеупорных бетонов и торкрет-масс, а теплоизоляционный — из легких бетонов плотностью от 900 до 1500 кг/м³. Более легкие монолитные футеровки в промышленных масштабах практически не применяют. Причин здесь несколько, но основная — сложность создания прочной и легкой структуры, стойкой к вибрации и не имеющей усадки при температурах эксплуатации.

Способ нанесения сверхлегкой и теплоизоляционной монолитной футеровки плотностью менее 500 кг/м³ для создания рабочего слоя в термических печах с температурой применения до 1200 °С разработан компанией UNIFRAX. Компания разработала также мобильную торкрет-установку и трехкомпонентный состав, который может наноситься на любую подготовленную для этих целей поверхность. Основными компонентами этой футеровки являются муллитокремнеземистое волокно (в настоящее время можно применять и биоразлагаемое волокно) и два типа жидкого связующего. Такая футеровка получила название FOAMFRAX и в настоящее время применяется во всем мире в термических нагревательных печах, работающих как на жидком и газообразном топливе, так и на электричестве, а также в котлах и различных тепловых агрегатах, в которых футеровка модулями или плитами из волокна нецелесообразна.

Однако футеровка с волокнистой теплоизоляцией имеет ряд существенных недостатков, из-за которых ее массового внедрения не произошло. В этой связи была создана идеальная сверхлегкая и прочная монолитная футеровка с пеноизоляцией. Полностью исключить керамо- или стекловолокно из состава футеровки нецелесообразно, поскольку в любом случае волокнистые

материалы необходимы для армирования футеровки. Содержание волокна в предлагаемой футеровке может составлять от 10 до 50 % от объема футеровки. Основу предлагаемой футеровки составляет пенокерамика алюмосиликатного или корундового состава, которая образуется в процессе нанесения пеноизоляции и в результате ее термообработки на стадии разогрева теплового агрегата. По существу, механизм образования пенокерамического слоя схож с бытовой теплоизоляцией из пенополиуретана, только окончательные свойства футеровка приобретает в процессе термообработки в интервале от 300 °С и выше.

Температура эксплуатации такой футеровки зависит от огнеупорности основного керамического материала и может достигать 1500 °С. Средняя плотность футеровки находится в интервале 300 кг/м³ и может регулироваться в зависимости от температуры эксплуатации агрегата в ту или иную сторону. Теплофизические свойства за счет микропористой структуры не уступают показателям изделий из силиката кальция и значительно превосходят аналогичные свойства керамоволокнистых материалов в виде плит и модулей. Преимущественный размер пор 10–15 мкм; такие поры как раз и определяют основные теплоизоляционные и механические свойства изоляции. Толщина футеровки при температурах эксплуатации достигает 300 мм и при необходимости может быть увеличена до 400 мм. Количество анкеров не более 25 шт. на 1 м².

Проведенные испытания уже показали возможность работы такой пеноизоляции при скорости газоздушных потоков до 100 м/с и выше, а также достаточно высокую стойкость к вибрации с амплитудой до 3 мм и частотой до 500 Гц. В настоящее время данный вид пеноизоляции доводится до возможности ее использования в промышленных масштабах; создается собственная конструкция торкрет-установки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «ПКФ «НК»
В ФУТЕРОВКЕ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ**

(✉)

E-mail: zroman7777@mail.ru

© К. Т. н. Р. В. Зубашенко (✉), В. И. Кузин

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

В настоящее время в футеровке промышленных тепловых агрегатов широко используются теплоизоляционные материалы двух типов: для защищенной изоляции и для открытой изоляции. Защищенная изоляция не подвергается разрушающему действию высокой рабочей температуры печи, пыли, газов и т. п. Она выполняет в кладке печи лишь роль теплоизолятора. Открытая изоляция является теплоизолятором и противостоит действию всех агрессивных факторов. Одним из основных видов продукции, выпускаемой в ПКФ «НК», являются корундовые легко-

весные изделия (КТ-1,1 и КТ-1,3). На предприятии освоено также производство высокоглиноземистых теплоизоляционных изделий на основе муллитокремнеземистого стекловолокна (НК-29).

Известно, что кристаллизация, протекающая в стеклообразных волокнах при нагревании, ограничивает температурный интервал применения традиционных муллитокремнеземистых изделий на их основе до 1150–1300 °С (ГОСТ 23619). Образующиеся при нагреве микрокристаллические образования вызывают резкое

снижение прочности волокон, они становятся хрупкими и дают усадку. В процессе эксплуатации при повышенных температурах это приводит к разрушению теплоизоляционного слоя и, как следствие, к нежелательным тепловым потерям. Максимальная температура эксплуатации разработанных высокоглиноземистых изделий марки НК-29 составляет 1500 °С. Изделия изготовлены на неорганической связке и состоят из высокоглиноземистого пористого заполнителя, сцепленного круглыми,

тонкими извилистыми алюмосиликатными волокнами, контактирующими в отдельных точках между собой и с зернами заполнителя ($\sigma_{сж} \geq 7,0$ МПа, $\rho_{каж} \leq 1,35$ г/см³). Разработанные корундовые и высокоглиноземистые теплоизоляционные изделия находят применение в рабочем и теплоизоляционном слоях футеровки тепловых агрегатов различных отраслей. В частности, в настоящее время они поставляются на ОЭМК, НЛМК, Теплохиммонтаж, Речицкий фарфоровый завод, ОСМиБТ и др.

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ОБОГАЩЕНИИ УПОРНЫХ ПРОДУКТОВ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail:

AGIvanov@krastsvetmet.ru

© А. Г. Иванов (✉), И. Н. Кулясов, Е. Н. Пузин
ОАО «Красцветмет», г. Красноярск, Россия

В последнее время в России и за рубежом растет интерес к использованию тугоплавких высокотемпературных смесей в процессах пирометаллургии. Они позволяют увеличить время эксплуатации и заменить дорогие огнеупоры, применяемые при футеровке плавильных агрегатов, на более дешевые без потери стойкости футеровки. В настоящем докладе представлены результаты использования на пирометаллургическом переделе в ОАО «Красцветмет» новых высокотемпературных огнеупорных СВС-материалов. В процессе реакции СВС привариваются к огнеупору, что позволяет применить их в плавильных агрегатах с рабочей температурой до 1900 °С.

В результате проведения промышленных испытаний защитного СВС-покрытия и СВС-кладочного раствора при плавке упорных продуктов, имеющих температуру плавления 1425–1700 °С, оценили стойкость СВС-материалов, а также технологичность их использования в пирометаллургическом производстве на пере-

делах плавки сырья и промпродуктов. К промышленному использованию были рекомендованы две группы огнеупорных СВС-смесей.

► СВС-кладочный раствор, основу смеси которого после прохождения экзотермической реакции составляют оксиды магния и алюминия, образующие синтетическую шпинель с небольшими добавками оксидов кремния, кальция, железа;

► защитное СВС-покрытие, представляющее систему тех же оксидов, но с лучшими характеристиками. Образует на поверхности огнеупора тугоплавкий, не смачивающийся расплавами металлов и солей, стойкий к воздействию шлаков защитный слой.

Комплексное применение СВС-материалов замедлило износ футеровки, что позволило увеличить время работы футеровки дуговой плавильной печи в 2 раза. Увеличение срока эксплуатации дает возможность существенно сэкономить на футеровке и, как следствие, снизить себестоимость дальнейшей продукции.

СНИЖЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: toch56@mail.ru

© А. А. Коростелёв¹, А. А. Чернышев¹, К. Т. Н. Н. С. Съёмщиков¹, Д. Т. Н. А. Е. Сёмин²,
К. Т. Н. Г. И. Котельников² (✉)

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

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

Огнеупоры играют важную роль при производстве и разливке высококачественных марок сталей. С течением времени отмечен значительный прогресс в области продувки стали инертными газами через огнеупорные материалы, разрабатываются новые модели емкостей для организации потоков жидкой стали для повышения ее качества.

Компанией «ВПО Сталь» проводятся работы по повышению стойкости огнеупорной продукции, выпускаемой на базе производственной площадки компании «Corwintec», и разрабатываются новые виды огнеупорных изделий, позволяющие обеспечить эффективную разливку качественной стали. В процессе производства стали в ней могут находиться эндогенные и экзогенные неметаллические включения, закономерности образо-

вания которых в жидком металле в настоящее время изучены недостаточно. Неметаллические включения появляются в результате физико-химических процессов, протекающих в расплавленном металле. Они являются инородными телами, нарушающими однородность структуры стали, поэтому их влияние на механические и другие свойства может быть значительным. При деформации в процессе прокатки,ковки,штамповки неметаллические включения, особенно неправильной формы с острыми краями и углами, играют роль концентраторов напряжения и могут вызвать образование трещины, являющейся очагом последующего разрушения стали. Следует отметить, что важными критериями при производстве «чистой» стали являются культура произ-

водства на предприятии и правильный подход к выбору легирующих и огнеупорных материалов.

Учитывая механизмы удаления неметаллических включений, которое происходит в процессе движения металла в промежуточном ковше, и факторы, влияющие на флотацию их к поверхности раздела металл – шлак, компанией «ВПО Сталь» разработана и предложена к эксплуатации рафинирующая огнеупорная перегородка промежуточного ковша. Тело перегородки выполнено из бетона. Перегородка содержит окно, в нижней части которого находится продувочная (рафинирующая) вставка, выполненная из пористого материала. В пористой вставке присутствует полость, к которой подходит газоподводящий канал. При прохождении металла через окно перегородки в ее нижней части осуществляется подача инертного газа для рафинирования металла от неметаллических включений.

Предложенный способ рафинирования металла в промежуточном ковше, разработанный с учетом возможностей производства огнеупорной продукции компании «Corwintec», позволит снизить значительное количество неметаллических включений, в том числе и мелких. Основные преимущества использования рафинирующей перегородки заключаются в следующем:

- рафинирующая перегородка — готовое к эксплуатации изделие, содержащее продувочное устройство. Не требует дополнительной сборки;
- очистка металла происходит на финальной стадии перед разливкой металла, что позволит удалить экзогенные и эндогенные включения, которые образовались во время внепечной обработки и выпуска металла из сталеразливочного ковша в промежуточный;
- во время продувки происходит более полная обработка потока металла, проходящего через окно перегородки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛОТНОЙ ДИАТОМИТОВОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

(✉)
E-mail: e.laktionova@skamol.ru

© А. А. Косолапов¹, М. В. Максимов¹ (✉), К. Линдгард², М. Дженсон²

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

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

Компания SKAMOL с более чем 100-летней историей является одним из мировых лидеров по производству теплоизоляционных материалов на основе диатомита, вермикулита и силиката кальция, в частности более 15 типоразмеров изделий (возможно изготовление блоков специальной формы), теплоизоляционных плиты толщиной от 12,7 до 100 мм, специальных мертелей. Компанией разработаны теплоизоляционные кирпичи марок M-EXTRA и SUPRA, обладающие сочетанием уникальных свойств: низкой теплопроводности — 0,15–0,26 Вт/(м·К) в зависимости от температуры, высокого предела прочности при сжатии (18 и 7,5 МПа соответственно). Изделия применяют для футеровки вращающихся печей в качестве теплоизоляционного слоя, позволяя снизить тепловое воздействие на корпус печи, сократить потери тепла через футеровку, увеличить срок эксплуатации печей. Экономический эффект при футеровке печи диаметром 3,6 м составил порядка 1 млн руб. в год по расходу топлива.

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

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

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ОБ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ФУРМ И СТОЙКОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ НИХ ПРИ ПРОДУВКЕ ДОМЕННОГО ЧУГУНА

(✉)
E-mail: lubjanoy@yandex.ru

© К. Т. Н. Д. А. Лубяной^{1,3} (✉), В. Г. Переходов², А. Г. Черепанов², Ю. А. Арканова³,
С. В. Лубяная⁴, Ю. А. Толстикова³

¹ ООО «Гидромаш-НК», г. Новокузнецк, Россия

² ОАО «ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК», г. Новокузнецк, Россия

³ НФИ Кем ГУ, г. Новокузнецк, Россия

⁴ Новокузнецкий строительный техникум, г. Новокузнецк, Россия

В настоящее время при производстве литейных сплавов все более широко применяется внепечная обработка чугуна азотом. На практике широко применяются два типа продувки — через пористую пробку в дне ковша и через погружаемую сверху фурму. Продувка через пористую пробку имеет преимущество в интенсивности

перемешивания металла в донной части ковша и степени рафинирования металла от газов и неметаллических включений. Недостатки такой продувки — сравнительно большая стоимость огнеупорной пористой пробки и возможность прорыва металла через донную часть ковша. Продувка расплава сверху имеет большую безопасность

в работе, но снижает степень рафинирования металла. В ЗСМК разработана и в течение 10 лет используется технология продувки металла в ковше методом резонансно-пульсирующего рафинирования. Эта технология включает продувку азотом через фурму (полая труба) с пульсатором, футерованную снаружи огнеупорными изделиями ШСП-32/5/250 по ГОСТ 5500–2001 (массовая доля Al_2O_3 не менее 32 %, огнеупорность не ниже 1690 °С, температура начала размягчения не ниже 1320 °С). Температура обработки расплава чугуна находится в интервале 1270–1190 °С, т. е. значительно ниже температуры размягчения огнеупоров.

Данная конструкция и используемые огнеупоры оптимальны в соотношении цена : качество. Сама конструкция фурм выбирается с помощью математической модели,

реализованной в Excel. Стойкость огнеупоров позволяет обрабатывать методом резонансно-пульсирующего рафинирования 20–24 плавки в 60-т ковшах с чугуном. Применение данной продувки позволило значительно улучшить микроструктуру изделий из чугуна, повысить и стабилизировать стойкость сменного сталеразливочного оборудования из доменного чугуна. Эксплуатационный расход изложниц в ЕВРАЗ ЗСМК за период 2007–2016 гг. был на самом низком в СНГ уровне (11,98–12,05 кг/т стали) за предыдущий период и на уровне Японии перед переходом этой страны на непрерывную разливку стали. Следует отметить, что столь низкий показатель был достигнут в Японии за счет нескольких ремонтов, а также отливки части изложниц из высокопрочного чугуна, а в ЗСМК — только за счет повышения качества серого чугуна.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: nepom_va@gc-sp.ru

ПРИМЕНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ БРУСИТА

© В. А. Непомнящих¹(✉), В. А. Богданов¹, К. Т. Н. Д. В. Бойков², К. Т. Н. С. В. Фейлер³, Е. П. Кузнецов²

¹ ООО «Сибпроект», г. Новокузнецк, Россия

² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия

³ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

Одним из основных достоинств технологии выплавки стали под магнезиальными шлаками наряду с уменьшением степени износа футеровки агрегата является улучшение шлакового режима, поскольку оксиды магния ускоряют растворение извести, препятствуя образованию тугоплавкой корочки двухкальциевого силиката вокруг частиц извести и способствуя повышению активности растворенного оксида кальция. Для насыщения шлака оксидами магния применяются материалы на основе различных природных минералов — магнезита ($MgCO_3$), доломита ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$), брусита ($Mg(OH)_2$). Использование в качестве исходного сырья для получения магнезиальных флюсов бруситов отличается от других видов сырья максимальным содержанием MgO (до 69 %) и значительно меньшей энергоемкостью. При этом прокаленный остаток содержит около 96 % MgO . По результатам исследований, проведенных компанией «Сибпроект», разработан флюс марки ФМ-2-1, основной составляющей которого явля-

ется природный минерал брусит, предварительно подготовленный путем его отсортировки, помола и сушки при 400 °С.

По результатам опытно-промышленных испытаний в ЭСПЦ «ЕВРАЗ ЗСМК» установлено, что при меньшем расходе магнезиального материала содержание MgO в шлаке изменяется незначительно от результатов, полученных на сравнительных плавках. При этом шлак, модифицированный опытным флюсом ФМ-2-1, имеет удовлетворительные вспенивание и жидкоподвижность. При осмотре печи наблюдалось наличие шлакового гарнисажа на футеровке, аналогичное гарнисажу, образующемуся при использовании флюса ФОМИ. Минимальная остаточная толщина футеровки стен на уровне разъема печи составила 170 мм при нормативном показателе 150 мм. Средняя стойкость футеровки ДСП при использовании флюса ФМ-2-1 аналогична при использовании флюса ФОМИ и в среднем по году составляет 1250 плавов.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: toch56@mail.ru

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАЗЛИВКИ МЕТАЛЛА И РАЗРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИВОЧНОГО ОТВЕРСТИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША СОРТОВЫХ МНЛЗ

© Д. Т. Н. Виктор В. Точилкин(✉), В. И. Умнов², Василий В. Точилкин¹

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

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

Представлен анализ процесса разливки металла подсистемы промежуточный ковш (ПК) — кристаллизатор на сортовых МНЛЗ. Рассмотрены конструкции оборудования разливочных отверстий промежуточного ковша. Проведено физическое и математическое моделирование работы конструкций оборудования ПК в процессе разливки стали. Математическая модель описывает движение жидкого металла в ПК. При ее составлении

использованы следующие уравнения: Навье – Стокса, неразрывности потока, конвективной диффузии. При представлении результатов численного моделирования в качестве параметров течения использованы поля скоростей и векторы скоростей в окрестности плоскости симметрии разливочного отверстия ПК. Движение металла в объеме ПК в процессе разливки характеризуется интенсивным движением потоков металла к поверх-

ности и по дну ковша, в пространстве между ручьями и сосредоточенными интенсивными потоками из средней и верхней частей ковша в сторону дна ковша, в районе разливочных отверстий ПК. Представлено распределение скоростей в полости разливочного стакана при отсутствии дополнительных элементов в полости разливочного отверстия. Для исключения попадания неметаллических включений и мусора в разливочном отверстии используют специальные огнеупорные изделия — стартовые трубы. Представлены трубы различных конструкций, отмечены их достоинства и недостатки. Было проведено численное моделирование представленных конструкций стартовых труб. Полученные в результате численного моделирования поля скоростей и линии тока показали, что движение металла при ис-

пользовании созданных комплектов огнеупорных изделий обеспечивает движение потоков металла из средней части ковша без вовлечения значительного числа неметаллических включений со дна ПК. Комплекты труб были установлены в промежуточный ковш 5-ручьевого сортовой МНЛЗ. Использование созданного комплекта огнеупорных изделий в производстве показало, что наряду с повышением стойкости всего комплекса оборудования разливочной камеры благодаря хорошей организации потоков металла повышается качество разливаемого металла. В условиях возрастающей конкуренции производства сортового проката, и сортовой заготовки в частности, приоритетным направлением будет оставаться модернизация устройств, позволяющая улучшить качество непрерывной заготовки.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

(✉)

E-mail: chisl.vv@yandex.ru

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ОГНЕУПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

© В. В. Числавлев¹ (✉), К. Т. Н. С. В. Фейлер¹, К. Т. Н. Д. В. Бойков², Д. Т. Неунывахина¹

¹ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

² АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия

Чистота рельсовой стали по неметаллическим включениям является одним из основных факторов, определяющих качество рельсов и долговечность их эксплуатации. Загрязнение стали неметаллическими включениями происходит на всех этапах производства, поэтому целесообразно удалять неметаллические включения на завершающей стадии, а именно в промежуточном ковше МНЛЗ. Условия рафинирования металла в промежуточном ковше во многом определяются гидродинамическими процессами, которые обуславливают распределение и динамику движения металлического расплава и неметаллических включений. Гидродинамические процессы зависят от конфигурации внутреннего объема промежуточного ковша, которую можно изменять установкой специальных огнеупорных элементов с определенными геометрическими параметрами, оптимизированными под условия и параметры процесса непрерывной разливки стали.

Для оценки эффективности и совершенствования конфигурации внутреннего объема промежуточного ковша четырехручьевого МНЛЗ электросталеплавильного цеха ЕВРАЗ ЗСМК разработан лабораторно-экспериментальный комплекс, основным элементом которого является физическая модель промежуточного ковша, выполненная из прозрачного органического стекла в масштабе 1:2,5 с обеспечением подобия исследуемых процессов. В качестве моделирующей жидкости используется вода, визуализация потоков жидкости осуществляется вводом в струю воды индикатора (красителя). В качестве красителя используется водный раствор перманганата калия. Информацию о гидродинамической картине в промежуточном ковше, минимальном времени пребывания металла, объеме застойных зон и площади активного контакта расплава с покровным шлаком при различных технологических параметрах процесса и конструкции промежуточного

ковша получали путем обработки кадров видеосъемки. Оценка степени гомогенизации жидкости и уточнение минимального времени пребывания металла в промежуточном ковше осуществляется кондуктометрическим методом. В качестве индикатора используется солевой раствор. Измерение электрической проводимости и содержания NaCl в воде производится солемером, датчики которого установлены в разливочных стаканах модели промежуточного ковша. Физические модели огнеупорных элементов были реализованы с помощью технологии 3D-печати.

Исследование гидродинамики металла проводили для условий разливки заготовки сечением 300×360 мм со скоростью 0,7 м/мин с подачей металла в промежуточный ковш через защитную трубу. Моделирование проводили при различных вариантах конструкции промежуточного ковша: без огнеупорных элементов (базовый вариант); с установкой струегасителей, различной высоты (64, 96 и 128 мм); с установкой полнопрофильных перегородок различных конфигураций. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о том, что объем застойных зон в промежуточном ковше базового варианта конструкции составляет около 28 %. Использование струегасителя позволяет повысить время пребывания металла в объеме промежуточного ковша от 4 и 33 до 23 и 79 с для центральных и периферийных ручьев соответственно. При этом увеличение высоты струегасителя до 128 мм способствует уменьшению объема застойных зон до 25 %. Однако эффективность применения струегасителя имеет кратковременный характер, поток расплава, отражаясь от поверхности, опускается, образуются придонные потоки.

По результатам моделирования установлено, что наилучшие условия создаются при использовании полнопрофильных перегородок с отверстиями нижнего ряда диаметром 20 мм, верхнего 32 мм. При этом по-

ток моделирующей жидкости направляется к поверхности, создавая замкнутый контур циркуляции, охватывающий практически весь объем промежуточного ковша. Кроме того, при использовании перегородок время достижения потока центральных и периферийных разливочных стаканов максимально и составляет

72 и 76 с соответственно. При этом объем застойных зон менее 18 %.

Работа выполнена в СибГИУ по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МК-1191.2017.8.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ БЕЗУГЛЕРОДИСТОГО ФОРМОВОЧНОГО ПОРОШКА

(✉)

E-mail:

ma_suzuki@shinagawa-ref.com

© Сёго Ямашита, Такаюки Сузуки (✉)

Компания «Shinagawa Refractories Co.», Ltd, г. Токио, Япония

Углерод входит в состав формовочного порошка при непрерывной разливке стали. Углеродистый материал может предотвратить залипание в кристаллизаторе и управляет скоростью плавления формовочного порошка. Однако если остатки нерасплавившегося углеродистого формовочного порошка прямо контактируют с расплавленной сталью, сталь может захватывать углерод. Особенно важно уменьшить захват углерода особо малоуглеродистой сталью, выплавленной с применением кислорода, и нержавеющей. В данной работе описан разработанный авторами безуглеродистый формовочный порошок, предназначенный для уменьшения захвата углерода при плавлении стали.

Формовочный порошок обычно содержит 1–10 % углеродистого материала в виде графита или сажи, и углерод играет важную роль в управлении свойствами расплава. Следовательно, уменьшение количества углеродного материала в формовочном порошке для предотвращения захвата углерода может создать проблемы с поведением расплава, такие как аномальное спекание или декарбюризация. Кроме того, это также ухудшает изоляционные свойства порошка и снижает выделение теплоты при горении. Для решения этих проблем в безуглеродистый порошок вместо углерода вводили металлический материал, который при экзотермической реакции повышает теплоснабжение и может улучшить свойства расплава в отсутствие углерода. Безуглеродистый порошок имеет беловатый цвет, следовательно, он может уменьшить

загрязнение оборудования и обслуживающего персонала.

Требования к качеству сверхнизкоуглеродистых сталей, используемых в автомобильной промышленности, возрастают. Следовательно, важно улучшить качество стали не только путем оптимизации процесса плавки, но и повышением качества формовочного порошка. Предотвращение захвата углерода сталью — одна из наиболее важных задач, которую можно решить использованием безуглеродистого формовочного порошка. Стали, выплавленные с применением кислорода (например, эмалированные), могут иметь внутренние раковины и пустоты. Когда нерасплавившийся формовочный порошок контактирует с расплавом стали, углерод порошка взаимодействует с кислородом, растворенным в расплавленной стали, в результате чего образуется газообразный CO, вызывающий образование пустот в стальном кожухе ванны. Образование пустот влияет на качество поверхности стальных отливок. Применение безуглеродистого порошка улучшает качество отливок благодаря сокращению захвата углерода.

В сталях, выплавленных с применением кислорода, таких как SUS409, и в ферритных нержавеющих сталях ферритная фаза при захвате углерода легко переходит в двухфазное ферритно-мартенситное состояние. Такое фазовое превращение изменяет свойства и цвет поверхности стали, и это является важной проблемой нержавеющих сталей, когда требуется высокая степень чистоты их поверхности.