

**19–20 МАРТА
2015 ГОДА**

МОСКВА, НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ **ОГНЕУПОРЩИКОВ И МЕТАЛЛУРГОВ**



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

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Боровик С. И., Аскаров Р. Т. Оценка содержания бенз(а)пирена в воздухе рабочей зоны при производстве углеродсодержащих огнеупоров 10

Давыдов С. Я., Сёмин А. Н. Применение полимерных пленок для ухода за твердеющим бетоном и при восстановлении земель глинистых месторождений стройиндустрии 11

Заболотский А. В. Моделирование термического разрушения огнеупорных материалов 13

Иконникова И. А., Коварская Е. З., Красный Б. Л., Московенко И. Б., Потапов А. И. Использование неразрушающего контроля при производстве тиглей и других видов огнеупоров 13

Косоногов А. В. Аутсорсинг в металлургии 14

Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Федоровцева А. В., Остряков Л. В., Колобов А. Ю. Методология изучения плавящихся материалов 15

Перепелицын В. А., Капустин Ф. Л., Шешуков О. Ю., Яговцев А. В., Остряков Л. В., Мерзляков В. Н., Ходенев Д. Б. Теоретические и прикладные аспекты прогнозирования огнеупоров будущего 16

Перепелицын В. А., Остряков Л. В., Острякова И. В. Генезис трещин в огнеупорах 17

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Абызов В. А., Ряховский Е. Н. Фосфатные связующие на основе шлаков переработки вторичных алюминиевых сплавов 18

Аксельрод Л. М., Смертин В. В., Назмиев М. И. Освоение производства высококачественных спеченных и плавящихся материалов 19

Апакашев Р. А., Давыдов С. Я. Способ синтеза высокодисперсного порошка карбида вольфрама 19

Бейлина Н. Ю., Петров А. В., Рубинчик О. В., Перевезенцев В. П., Юдина Т. Ф. Особенности получения и использования особочистых природных графитов 20

Давыдов С. Я., Апакашев Р. А., Кийко В. С., Ищенко А. В. Результаты обследования неэксплуатированной известковой пыли, содержащей наночастицы, в ОАО «Серовский завод ферросплавов» 20

Перепелицын В. А., Пивинский Ю. Е., Бураков А. Д., Гороховский А. М., Карпец Л. А., Дунаева М. Н., Пономаренко З. Г., Острякова И. В., Векшин К. М. Материаловедение китайского высокоглиноземистого шамота 21

Суворов С. А., Кузнецова О. С., Сакулин А. В., Скурихин В. В. Исследование сырьевой базы для изготовления алюмосиликатных дискретных материалов 22

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

Аксельрод Л. М., Донич Р. А., Данилова Ю. В. Бетоны для изготовления монолитной футеровки элементов сталеразливочного ковша 23

Аксельрод Л. М., Москаленко О. А., Смертин В. В., Пицик О. Н., Киселёва Е. А. Термостойкие цельнокерамические плиты для шибберных затворов сталеразливочных ковшей 24

Аксельрод Л. М., Шаров М. Б., Смертин В. В., Пицик О. Н., Марясева О. А. Повышение коррозионной устойчивости периклазошпинельных огнеупоров для печей обжига цементного клинкера 24

Аксельрод Л. М., Ярушина Т. В., Бочаров С. В. Концепция выбора огнеупоров для повышения эксплуатационной надежности футеровки электропечей 25

Байздренко В. С., Сошкин В. Е., Кумарин М. В. Высокотемпературный теплоизолятор ВР-350 (ВРП-350). Практика применения 25

Воронина О. Б., Мелихов А. А., Агишева М. В., Власов А. В. Виброформованные изделия для футеровки промежуточного ковша 25

Донич Р. А., Назмудинов Р. Ш. Горелочные камни для стекловаренных печей 26

Кондратьев Е. А., Соловьёв В. Ю. Импортзамещающая огнеупорная продукция Богдановичского ОАО «Огнеупоры» 26

Лялин В. К., Дёмин Е. Н. Биорастворимая волокнистая изоляция 27

Можжерин А. В., Маргшвили А. П., Мусевич В. А., Дука А. П. Совершенствование дизайна и материалов футеровки сталеразливочных ковшей 27

Назмиев М. И., Данилова Ю. В., Лаптев А. П. Саморастекающаяся периклазохромитовая масса 28

Пивинский Ю. Е., Дякин П. В., Остряков Л. В. ВКВС на основе боксита с добавками огнеупорной глины как матричных систем высокоглиноземистых керамобетонов 28

Ряплова А. А., Кашеев И. Д., Поморцев С. А. Оптимизация состава бетона системы $Al_2O_3-SiC-C$ 29

Сакулин А. В., Скурихин В. В., Кузнецова О. С., Гвоздева И. А. Глиноземошпинельный и глиноземомагнезиальный бетоны для футеровки сталеразливочных ковшей 31

Ярушина Т. В., Латкин М. Ю. Шпинелеобразующие углеродсодержащие огнеупоры для футеровки сталеразливочных ковшей 31

Ярушина Т. В., Марясов И. Г. Совершенствование технологии периклазохромитовых изделий для сводов тепловых агрегатов черной и цветной металлургии 32

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

Андреев В. П., Медведев А. Н. Оборудование по отсечке шлака с конвертера во время слива стали из конвертера в сталеразливочный ковш 32

Вохмякова И. С., Стародумов А. В., Солодухин А. А. Измерительная система мониторинга температуры при термообработке огнеупорных материалов и изделий 32

Матюхин В. И., Матюхина А. В., Матюхин О. В. Принципы модернизации шахтных плавильных печей 33

Подковыркин Е. Г., Матюхин В. И., Павлова И. А., Матюхина А. В. Теплофизические особенности тепловой обработки мелкой фракции гипса в условиях роторно-вихревого агрегата 34

Пономарёв В. Б., Катаев А. В., Большаков П. А. Каскадная отмывка шлаков 35

Пономарёв В. Б., Лошкарёв А. Б., Кузнецов В. С. Пневматическая классификация сыпучих материалов 35

Савченко А. В. Сортировка сырого магнезита на дробильно-обогатительной фабрике ОАО «Комбинат «Магнезит» 36

Столярова В. Ю., Эрнандэс Г. Шибберный затвор системы NOVALCO® 37

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Абызов В. А., Речкалов Д. А., Черногорлов С. Н. Вяжущие из шлаков алюминотермического производства и ячеистые бетоны на их основе. 37

Антонович В., Керене Я., Стонис Р., Борис Р., Шкалат Е. Исследование структуры и фазового состава огнеупорного материала футеровки котла, работающего на твердом биотопливе. . . 38

Беляков А. В., Церман С. И. Механическая обработка огнеупорных изделий алмазным инструментом с режущим слоем дискретной структуры. 38

Дерябин В. А., Клевакина Е. В. Изучение возможности использования неорганических связующих для брикетирования порошкообразных материалов. 39

Дороганов В. А., Дороганов Е. А., Трепалина Ю. Н., Переткина Н. А., Евтушенко Е. И., Гавшина О. В. Огнеупорные композиционные материалы на основе модифицированных искусственных керамических вяжущих. 40

Земляной К. Г., Кашеев И. Д., Устьянцев В. М. Исследование возможности оценки технологических свойств графита. . . . 40

Лысова Г. А., Боровик С. И., Попов Г. В. Изучение смачивающей способности периклаза каменноугольными пеками. 41

Михеев М. В., Бажин П. М., Столин А. М., Кузнецов Д. В. Исследование формемости силицидной керамики на основе дисилицида молибдена. 42

Пак Ч. Г., Абызов В. А., Серов П. И. Жаростойкие теплоизоляционные материалы на основе магнезимального связующего и огнеупорных волокон. 42

Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Карпец П. А., Острякова И. В., Смирнова В. В., Остряков Л. В. Формирование микроструктуры алюмопериклазоуглеродистых изделий. 43

Перепелицын В. А., Гороховский А. М., Острякова И. В., Дунаева М. Н., Смирнова В. В. Шлакоустойчивость высокоглиноземистых миксерных изделий. 44

Полухин М. С., Плинер С. Ю., Кашеев И. Д. Высокопрочные магнийсиликатные стеклокерамические сферы, полученные путем электродуговой варки и диспергации расплавов. 45

Поморцев С. А., Кашеев И. Д., Борисова Ю. А., Ряплова А. А. Применение углеродного волокна для армирования структуры периклазоуглеродистых огнеупоров. 46

Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Солошенко Л. Н., Щербак Л. М., Тишина Т. Г. Сухая корундошпильная смесь с добавкой плавящейся алюмомагнезимальной шпинели производства ПАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного». . . 46

Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Бабкина Л. А., Хончик И. В., Никулина Л. Н. Низкоцементная муллитокорундовая саморастекающаяся бетонная смесь с добавкой пылевидного кварца. 47

Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Ткаченко Л. П. Термостойкий муллитокорундовый огнеприпас повышенной прочности. 47

Примаченко В. В., Мартыненко В. В., Шулик И. Г., Чаплянко С. В., Ткаченко Л. П., Тишина Т. Г., Бондаренко Е. А. Исследование корундооксидцирконийсиликатных и корундопериклазовых тиглей после испытаний при плавке коррозионно-стойких сплавов. 48

Промахов В. В., Жуков И. А., Ворожцов С. А., Платов А. В., Жуков А. С., Ворожцов А. Б. Термостойкие керамические композиты на основе диоксида циркония. 48

Соков В. Н., Сокова С. Д. Монолитно-слоистые корундовые изделия с наноструктурированным переходным слоем. 49

Соколов В. А., Махов С. В. Плавнелитые хромосодержащие огнеупоры для плавки алюмоборосиликатного стекла Е. 50

Столин А. М., Михеев М. В., Бажин П. М., Кузнецов Д. В. Синтез силицидной керамики на основе дисилицида молибдена в режиме горения в условиях механических воздействий. . . . 51

Суворов С. А., Козлов В. В., Арбузова Н. В. Свойства периклазовых карбонированных огнеупоров с использованием углеродистых пластифицирующих гранул. 52

Суворов С. А., Туркин И. А. Корундоциркониевые материалы и изделия. 53

Узберг Л. В., Устьянцев В. М. Исследование продуктов обжига известеобжигательной печи. 53

Чижигов А. П., Бажин П. М., Столин А. М., Кузнецов Д. В. Разработка и получение наноразмерной оксидной керамики методом СВС-экструзии. 54

Шешуков О. Ю., Некрасов И. В., Михеенков М. А., Егизарьян Д. К., Овчинникова Л. А., Кашеев И. Д., Земляной К. Г., Каменских В. А. Влияние фазового состава рафинировочного шлака на стойкость футеровки агрегата печь-ковш. 55

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

Амелин А. В., Коверзин А. М., Толстов С. В., Календа А. В., Катанаев С. А. Опыт эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей в условиях ККЦ № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК». 55

Вохмякова И. С., Горбачёв В. А., Солодудин А. А. Анализ футеровки обжиговых конвейерных машин для производства железорудных окатышей. 55

Гареев Р. Р. Совершенствование схемы футеровки сталеразливочных ковшей ККЦ ОАО ЧМК. 56

Егоров И. В., Попов А. Ю., Засолоцкий М. А. Опыт применения огнеупорных материалов компании «Кералит» для футеровки системы желобов доменных печей. 57

Каменских В. А., Кашеев И. Д., Гуляев А. А. Исследование карбидкремниевых бетонов после службы в подине термической печи. 57

Кудряш М. Н., Тарасов Д. А., Тарасов А. А. Использование полых корундовых микросфер в керамических изделиях. . . . 59

Плюхин П. В., Архипов А. М., Чашкин М. А., Новиков В. Г., Ишутин В. В. Опыт сотрудничества Группы Магnezит и ГУП «ЛПЗ». 59

Поваляев Д. А., Федькин М. Е. Шоткрет-технология в современной металлургии. 59

Прошкин А. В., Сакулин А. В., Скурихин В. В., Кузнецова О. С. Муллитокремнеземистые изделия для кладки печей обжига анодов. 60

Съёмщиков Н. С., Зуев А. С. Футеровка и вспомогательные материалы для кислородного конвертера. 61

Фехнер Р. Концепция ухода за футеровкой конвертера с использованием неформованных огнеупорных материалов. Результаты применения. 61

Харин И. В., Турчин М. Ю. Положительный опыт Группы Магnezит в строительстве шахтных регенеративных печей. 61

Целых Г. В., Макаревич А. Н. Опыт переплава легированного скрапа Б26 в ДСП-100 ОАО ЧМК. 62

Шешуков О. Ю., Метёлкин А. А., Кашеев И. Д., Некрасов И. В., Михеенков М. А., Егизарьян Д. К., Овчинникова Л. А., Цепелев В. С. Шлаковый режим агрегатов внепечной обработки стали и стойкость огнеупоров. 63

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ БЕНЗ(А)ПИРЕНА В ВОЗДУХЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОГНЕУПОРОВ

© К. т. н. С. И. Боровик, Р. Т. Аскарар

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

В настоящее время широкое применение во всем мире получили углеродсодержащие огнеупоры. Введение в шихту углеродных материалов позволяет значительно улучшить эксплуатационные свойства огнеупоров, функция которых заключается в повышении термостойкости огнеупора и предотвращении проникновения шлака в огнеупоры вследствие низкой смачиваемости углерода шлаком.

Наиболее распространенными и перспективными углеродными материалами являются средне- и высокотемпературные пеки каменноугольного и нефтяного происхождения. Известно, что пек является остаточным продуктом термической переработки смолы коксования каменных углей, нефтяных фракций, представляет собой сложную полидисперсную систему высококонденсированных карбо- и гетероциклических соединений и служит источником загрязнения окружающей среды канцерогенными веществами.

По данным Всемирной организации здравоохранения, заболеваемость населения раком зависит от действия канцерогенных веществ, в частности полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), отнесенных к первому классу опасности по воздействию на организм человека. Для бенз(а)пирена, общепринятого индикатора канцерогенной опасности, предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны составляет $0,15 \text{ мкг/м}^3$. Бенз(а)пирен присутствует в смолистых веществах, содержащихся в продуктах пиролиза, и образуется при $500\text{--}600^\circ\text{C}$ при совместном пиролизе алифатических и ароматических углеводородов или при неполном сгорании топлива при $300\text{--}400^\circ\text{C}$. Максимальный выход бенз(а)пирена наблюдается при температуре пиролиза около 800°C . Бенз(а)пирен, как чистое вещество, формально не может быть отнесен к опасным для человека соединениям из-за отсутствия случаев профессионального рака у работающих с ним людей. Однако присутствие бенз(а)пирена в количествах, превышающих ПДК, наряду с наличием в окружающей среде модификаторов (фенола, углеродистой пыли) может быть опасным в отношении возникновения риска раковых заболеваний. В ОАО «Комбинат «Магнезит» в производстве углеродсодержащих огнеупоров используют высоко- и среднетемпературные пеки фирмы «Carbores» в твердом агрегатном состоянии. Пековая пыль в воздух рабочей зоны производственных цехов попадает при транспортировке, на технологических переделах смешивания, прессования и термообработки. Поэтому актуальной с точки зрения опасного воздействия канцерогенных веществ на работников цеха является оценка содержания бенз(а)пирена в воздухе рабочей зоны.

В работе проведены сравнительный анализ содержания бенз(а)пирена в пеках отечественного и импортного

производства и оценка загрязнения воздуха рабочей зоны канцерогенными веществами производственных помещений смесительно-прессового и обжигового цехов. Содержание бенз(а)пирена определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром» с флуориметрическим детектированием. Результаты определения бенз(а)пирена в пробах углеродных материалов представлены в таблице. Сравнительный анализ содержания бенз(а)пирена в пеках отечественного и импортного производства показал, что в средне- и высокотемпературных каменноугольных пеках ООО «Мечел-Кокс» содержание бенз(а)пирена примерно в 6–8 раз больше, чем в пеках Carbores F112M и Carbores P. Следовательно, на производстве предпочтительнее использовать импортные пеки вследствие их меньшей канцерогенной активности.

Отбор проб для количественного анализа концентрации бенз(а)пирена в воздухе рабочей зоны проводили на рабочих местах бегунщика, машиниста крана, прессовщика и обжигальщика УПиФОИ № 2 ЦМИ-1. Результаты количественного анализа показали, что концентрация бенз(а)пирена в местах отбора проб ниже ПДК примерно на два порядка. Массовая концентрация бенз(а)пирена на рабочем месте бегунщика смесительных бегунов составила $0,0072 \text{ мкг/м}^3$, машиниста крана $0,0032 \text{ мкг/м}^3$, прессовщика огнеупорных изделий $0,0021 \text{ мкг/м}^3$; минимальная концентрация зафиксирована на рабочем месте обжигальщика на печах УООИ — $0,0011 \text{ мкг/м}^3$. Таким образом, концентрация бенз(а)пирена, определенного в воздухе рабочей зоны вблизи технологического оборудования цеха УПиФОИ № 2 ЦМИ-1 в период изготовления углеродсодержащих огнеупоров, примерно на 2 порядка ниже ПДК, что обусловлено незначительным количеством дозированного порошкообразного пека (1–2 %), отсутствием высоких температур смешивания, прессования и термообработки.

Полученные результаты позволяют заключить, что использование каменноугольных пеков Carbores в производстве углеродсодержащих огнеупоров исключает опасность профессионального риска раковых заболеваний и канцерогенного действия пека на работников.

Материал	Концентрация бенз(а)пирена, ppm	Требования международных стандартов, ppm
Carbores T10 (смола)	210	300–500
Carbores F112M	140	330–500
Carbores P	50	449
СТП 000 «Мечел-Кокс»	820	—
ВТП 000 «Мечел-Кокс»	390	—
Смола 000 «Мечел-Кокс»	260	—

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ УХОДА ЗА ТВЕРДЕЮЩИМ БЕТОНОМ И ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ЗЕМЕЛЬ ГЛИНИСТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОЙИНДУСТРИИ

© Д. т. н. С. Я. Давыдов, д. э. н. А. Н. Сёмин

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

Для интенсификации твердения бетон укрывают пароводонепроницаемой пленкой и выдерживают его в замкнутом таким образом объеме до набора проектной или критической относительно влагопотерь прочностности бетона (Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству Госстроя СССР. Руководство по применению полимерных пленок для ухода за твердеющим бетоном в условиях сухого жаркого климата. М., Стройиздат, 1981 г.). При производстве бетонных работ могут применяться пароводонепроницаемые пленки, выпускаемые отечественной промышленностью на основе естественных, искусственных и синтетических полимеров, в том числе с функциональным защитным покрытием (металлизованные). Применяемые полимерные пленки должны обладать достаточными прочностью, эластичностью, пароводонепроницаемостью на период эксплуатации, а также свариваться при температуре текучести полимера, склеиваться или сшиваться между собой. При непосредственном укрытии бетонной поверхности целесообразно применять полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки толщиной 100–200 мкм, полиэтилентерефталатные толщиной до 50 мкм; в инвентарных устройствах ограждение следует выполнять из пленки толщиной 150–250 мкм, полиэтилентерефталатной — толщиной от 50 мкм и выше. Полотнище из полимерной пленки необходимо укладывать либо непосредственно на поверхность бетона, либо с образованием воздушного зазора (до 10 см) над бетоном.

Ландшафты, нарушенные при добычных работах глинистых сырьевых материалов стройиндустрии для производства керамических материалов и изделий, требуют рекультивации. Эта проблема является весьма актуальной, поскольку ежегодные площади нарушенных земель, требующих рекультивации, увеличиваются на 10 тыс. га в год.

Глинистые почвы отличаются большой плотностью, легко слипаются, являются тяжелыми и труднообрабатываемыми, содержат 80 % глины и 20 % песка. Такие почвы не рассыпаются и во время перекопки образуют крупные трудноразбиваемые комья. Глинистая почва содержит мелкие почвенные частицы (0,01 мм), между которыми практически нет свободного пространства. Несмотря на то что глинистые почвы богаты минеральными веществами и микроэлементами, растения не всегда могут их поглотить. Глинистые почвы холодные, из-за своей плотной структуры они плохо прогреваются, а некоторые участки почвы вовсе остаются непрогретыми и холодными. Улучшить качество глинистой почвы может регулярное внесение разрыхляющих

компонентов, таких как крупнозернистый песок, торф, зола, известь, а для создания хорошей питательной среды — компост и навоз. Внесение песка на глинистых почвах берется из расчета 30–40 кг/м², что значительно снижает их влагоемкость и повышает теплопроводность.

П. Н. Штейнберг в своей книге «Обиходная рецептура садовода. Золотая книга садовода, проверенная временем» (изд-во: АСТ, Полиграфиздат, 2010 г.) для улучшения глинистой почвы рекомендует добавлять дробленый кирпич. Мелко раздробленный кирпич просеивается через крупное решето, разбрасывается по земле слоем 9–13 см, а затем вместе с удобрением вносится в почву. Повторяя эту операцию несколько лет подряд, можно улучшить почву до неузнаваемости, причем результаты получаются тем лучше, чем глубже производится перекопка. Аналогом кирпичу может выступить зола различных сорных трав и земляных веществ, еще лучше — пережженный торф.

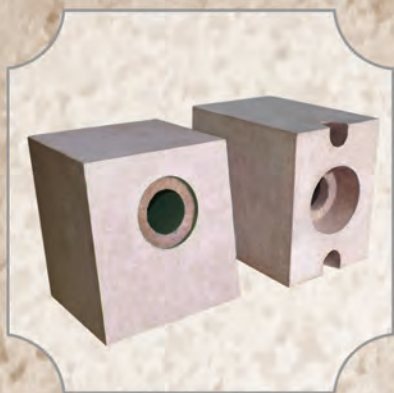
Современная экономика все чаще базируется на энерго- и ресурсосберегающих технологиях. Важнейшим звеном реформирования экономики страны становится сокращение издержек во всех отраслях народного хозяйства, причем в основе этого процесса лежит энергосбережение. Наблюдается тесная связь между экологическими проблемами и энергосбережением. Ускорить процессы, связанные с выращиванием сельскохозяйственных культур на глинистых почвах, можно, используя специальное укрывное устройство. Устройство для укрытия растений на полях и в больших тепличных хозяйствах (с/к «Шиловский» в Свердловской обл.) без дополнительных нагрузок располагается на гибких связях без провисания как в процессе его движения, так и в покое. Повышение надежности, долговечности и эффективности работы укрывного устройства обеспечивают следующие технические решения: наличие поперечной тяги поверх тяговых гибких связей с возможностью скольжения по ним; использование упругих элементов дополнительных гибких связей; приравнивание диаметра дополнительного барабана к диаметрам приводного барабана и приводным шкивам. Устройство отличается от известных легкостью подвижных элементов, отсутствием каких-либо направляющих и повышенной надежностью.

Испытания устройства подтвердили работоспособность конструкции. Следует отметить, что на полях и в больших тепличных хозяйствах можно регулировать высоту полотна вслед растущим растениям. При этом создается парниковый эффект для ускоренного процесса гниения смесей почвы с продуктами распада



ЗАО «НТЦ «Бакор» предлагает
новые эффективные огнеупорные материалы
циркониевого и корундового составов

Горелочные блоки



Подпятники и пяты
влетов горелок



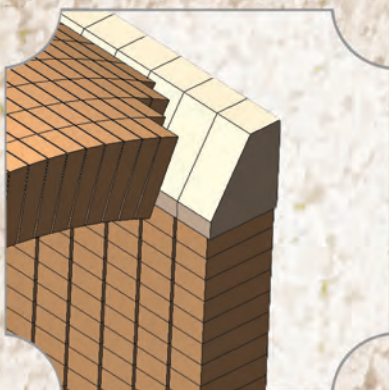
Шиберы и экраны



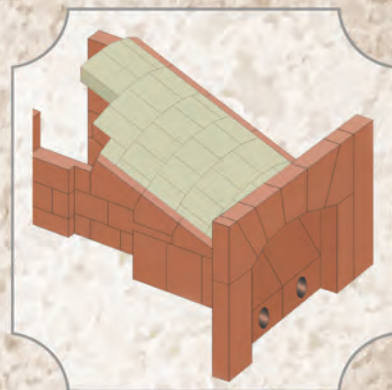
Арки загрузочных
карманов



Верхние ряды
футеровки стен печи,
примыкающие к своду



Свод печи



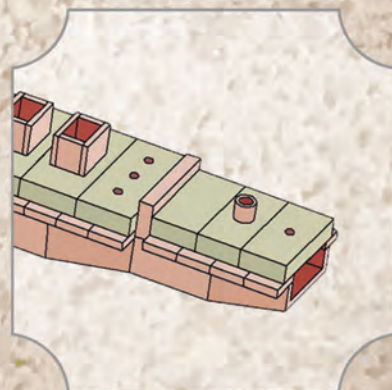
Выстилка влетов
горелок



Кольцо рекуператора



Плиты перекрытия



ЗАО «НТЦ «Бакор»
142172, г. Москва, г. Щербинка, ул. Южная, д. 17
Тел.: +7 (495) 580-56-56
E-mail: do@ntcbakor.ru. Сайт: www.ntcbakor.ru

и роста растений. Использование устройства для дополнительного укрытия растений в отапливаемых тепличных хозяйствах позволяет значительно снизить энергозатраты, а при укрытии растений на полях неза-

щищенного грунта — сократить потери продукции, защитить растения от осенних и весенних заморозков и кислотных дождей, получить экологически безопасные продукты.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© К. т. н. А. В. Заболотский

ОАО «Группа Магнезит», Санкт-Петербург, Россия

Термомеханические нагрузки часто являются причиной выхода из строя футеровки металлургических агрегатов. Футеровка в процессе эксплуатации подвергается термическим ударам при заливке металла и контакте с холодным атмосферным воздухом. Прогнозирование поведения огнеупоров с учетом термических ударов дает преимущества разработчикам огнеупоров, избавляя от необходимости постановки многочисленных экспериментов, но является сложной вычислительной задачей. Во-первых, огнеупоры обладают нерегулярной структурой, а во-вторых, могут содержать скрытые дефекты, заложенные на стадии их производства. Комплексное применение современных расчетных методик в совокупности с моделированием микроструктуры огнеупоров позволяют рассчитывать наиболее вероятные траектории трещин, которые могут образоваться в футеровке при заданном режиме эксплуатации или при термическом ударе, и оценивать саму вероятность их появления.

В настоящее время существует широкий выбор методик определения термостойкости огнеупора в тех

или иных условиях — от эмпирических выражений, позволяющих на основании результатов лабораторных тестов определить, выдержит ли огнеупор заданную термическую нагрузку (не давая информации о геометрии возможной трещины и зоне ее возникновения), до сложных вычислительных методов, позволяющих последовательно выявить температурное поле в футеровке, поле термических напряжений и построить траекторию возможной трещины.

На примере футеровки патрубков циркуляционного вакууматора и крышки установки VD-VOD показана методика применения комплексного подхода, заключающаяся в расчете нестационарных температурных полей футеровки и использовании полученного результата для моделирования разрушения футеровки. Для моделирования роста трещин применены методы теплового смещения и метод клеточных автоматов. Для успешного применения последнего метода была специально разработана фрактальная модель структуры огнеупора. Результаты расчетов в целом демонстрируют картину разрушения огнеупоров, зафиксированную в действительности.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТИГЛЕЙ И ДРУГИХ ВИДОВ ОГНЕУПОРОВ

© И. А. Иконникова¹, Е. З. Коварская², д. т. н. Б. Л. Красный¹, д. т. н. И. Б. Москобенко², д. т. н. А. И. Потапов³¹ ЗАО «НТЦ «Бакор», г. Щербинка Московской обл., Россия² ООО «Звук», Санкт-Петербург, Россия³ ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Современные огнеупорные изделия в зависимости от назначения имеют широкий диапазон форм, размеров и изготавливаются из материалов с существенно различающимися физико-механическими свойствами. Нормативными документами в основном регламентируются механические характеристики — прочность, плотность, пористость, определяемые на специальных образцах, вырезанных из изделий, представляющих собой выборку из технологической партии. При этом технология изготовления огнеупорных изделий не всегда гарантирует полную идентичность свойств в технологической партии, а условия эксплуатации требуют обеспечения именно подбора комплектов изделий, имеющих физико-механические свойства в заданном, в ряде случаев достаточно узком диапазоне.

Надежную оценку свойств огнеупорных изделий с обеспечением сплошного контроля в настоящее время можно получать, применяя методы неразрушающего контроля (НК). Все большее распространение для НК таких изделий начинают находить акустические методы, основанные на определении скорости распространения акустических волн C_L по результатам измерения частот собственных колебаний (ЧСК) изделий. Наиболее простыми изделиями с точки зрения организации НК и разработки методик контроля являются кирпичи прямые. Однако и для изделий достаточно сложных форм также могут быть разработаны специальные методики экспресс-контроля, основанные на применении акустических методов. Примером успешного использования акустического метода является контроль такой сложной и ответственной продукции, как тигли, для

которых оценка свойств каждого единичного образца является условием его успешной эксплуатации. Это тот случай, когда характеристики партии, полученные при выборочном контроле, не могут гарантировать качественную оценку работы каждого изделия из партии. Поскольку эксплуатация тиглей обычно циклический процесс, то кроме исходных характеристик важную роль играет изменение их свойств по мере эксплуатации. Таким образом, для этого вида изделий особенно важно обеспечение возможности сплошного НК как при их изготовлении, так и по мере эксплуатации.

Возможность и целесообразность неразрушающего акустического контроля наглядно подтверждается 10-летней успешной эксплуатацией в ЗАО «НТЦ «Бакор» измерителя частот собственных колебаний «Звук-203М» применительно к контролю высокоогнеупорных тиглей для плавки металлов и сплавов. Контроль производится путем измерения ЧСК и определения приведенной C_I по специально разработанной методике контроля. При этом определены допустимые интервалы изменения физико-механических свойств изделий, изготовленных из различных материалов. На предприятии ЗАО «НТЦ «Бакор» выпускаются четыре основные марки керамических тиглей. Кроме того, имеется большой ассортимент тиглей по размерам. Опытным

путем в результате обработки статистических данных были установлены оптимальные диапазоны параметра C_I , которые позволяют судить о степени спекания и качестве тиглей различных марок: корундомуллитокорундиевых — 2500–2800 м/с, муллитокорундовых — 3000–3500 м/с, корундовых — 3500–4500 м/с, периклазовых — 5400–6000 м/с.

Использование акустического метода контроля позволяет с помощью приборов типа «Звук» вести 100 %-ный НК огнеупорных изделий из различных технологических партий, оценивать их пористость, кажущуюся плотность и прочность по заранее определенным корреляционным зависимостям, а также осуществлять подбор комплектов изделий с заданными физико-механическими свойствами. Результаты, накопленные в ходе испытаний и использования НК для контроля качества огнеупорных изделий, позволяют приступить к более широкому освоению НК изделий различных типов и назначения. Это целесообразно проводить в рамках программ, специально разрабатываемых и согласованных с изготовителями и потребителями соответствующей огнеупорной продукции. Проект подобной программы был представлен на предыдущей ежегодной международной конференции огнеупорщиков и металлургов в апреле 2014 г.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

АУТСОРСИНГ В МЕТАЛЛУРГИИ

© А. В. Косоногов

ОАО «ВМЗ», Инженерно-технологический центр, г. Выкса Нижегородской обл., Россия

В настоящее время не существует однозначного мнения по поводу эффективности технического аутсорсинга на металлургических предприятиях России. Когда речь заходит о передаче значимых технологических функций, например обеспечения огнеупорами тепловых агрегатов, возникают негативные мнения. При этом аутсорсинг широко используется на металлургических предприятиях Европы и США.

Комплексное обеспечение огнеупорами предполагалось на производственной площадке филиала ОАО «ОМК-Сталь» (далее Филиала) изначально, но передача сторонней организации столь значимых функций вызвала большие опасения. Тем не менее от данной идеи не отказывались и долгое время прорабатывали ее. К более решительным действиям в данном направлении приступили с приходом нового руководства Филиала. Для оценки возможности перехода на аутсорсинг была проделана основательная подготовительная работа: выполнен расчет существующих затрат на огнеупоры и работы по футеровке, проанализирован опыт работы металлургических предприятий Европы и России, проведено множество переговоров как с потенциальными поставщиками услуг, так и со специалистами заводов, где аутсорсинг был уже внедрен. В итоге в качестве модели была принята одна из схем аутсорсинга, действующего в Европе, а именно: на компанию-аутсорсе-

ра возлагались функции по обеспечению огнеупорами (включающие определение потребности в огнеупорах, содержание склада, доставку огнеупоров до объекта ремонта) и работы по футеровке тепловых агрегатов. Оплата за услуги осуществлялась, исходя из объема выплавленной стали. Для минимизации рисков в качестве потенциальных компаний-аутсорсеров были выбраны лидеры огнеупорной отрасли — компании RHI AG, Австрия, и Группа Магnezит.

В апреле 2013 г. был заключен договор с компанией «РХИ ВОСТОК СЕРВИС» на комплексное сервисное обслуживание сталеразливочных ковшей сроком на 1 год. Ожидался сложный переходный период, но благодаря точно расписанным функциям и ответственности каждой из сторон опасения не оправдались. Компания-аутсорсер незамедлительно включилась в работу и начала постепенно улучшать показатели стойкости и удельного расхода огнеупоров. По результатам совместной работы за год были достигнуты следующие показатели:

- снизились удельные затраты на обеспечение огнеупорами сталеразливочных ковшей на 10 %;
- повысилась стойкость футеровки сталеразливочных ковшей на 8 %;
- высвободилась часть оборотных средств Филиала за счет снижения объема складских запасов;

- снизились затраты на приобретение машин и оборудования для выполнения футеровочных работ;
- снизилась аварийность работы цеха за счет снижения количества нештатных ситуаций, обусловленных проникновением металла через кожух стале-разливочного ковша.

На основании полученного опыта в настоящее время на Выксунской производственной площадке на аналогичный аутсорсинг переведены участок по подготовке сталеразливочных ковшей СПЦ ОАО «ВМЗ» и участок по подготовке ДСП Филиала. Аутсорсером на

этих участках путем проведения тендера определено ООО «Металл Проект Сервис». Кроме того, активно ведутся работы по передаче на обслуживание участка по подготовке промежуточных ковшей Филиала.

Таким образом, технический аутсорсинг возможен и эффективен на металлургических предприятиях России в том случае, если обе компании заинтересованы в долгосрочном и взаимовыгодном сотрудничестве. Минимизация рисков достигается путем детальной проработки юридической и регламентирующей документации.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

МЕТОДОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЛАВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын, А. М. Гороховский, Л. А. Карпец, А. В. Федоровцева, Л. В. Остряков, А. Ю. Колобов

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

ОАО «Первоуральский динасовый завод» в настоящее время осуществляет производство расширенного ассортимента плавленных энергоплотных материалов, вещественный состав которых описывается многокомпонентной системой $Al_2O_3-TiO_2-Cr_2O_3-MgO-SiO_2$. Из теории и практики производства и службы общеизвестно, что относительная износостойчивость большинства плавленных огнеупорных материалов в службе примерно на 30–40 % выше, чем у их спеченных аналогов идентичного химико-минерального состава, и это обусловлено генетическими факторами. В связи с этим генеральным планом завода предусмотрено дальнейшее развитие производства этих и других плавленных материалов и изделий как для собственных нужд, так и для сторонних потребителей.

ОАО «Динур» имеет 20-летний опыт промышленного производства плавленной шпинели нестехиометрического состава, белого и четырех разновидностей легированных корундов, корундомуллита, муллита, форстерита, кремнеземистого (кварцевого) стекла, волластонита и других плавленных материалов. В результате многолетнего опыта огнеупорного материаловедения установлено, что каждый плавленный материал, как и любой искусственный камень, имеет более 30 физико-химических, теплофизических, термомеханических свойств и функциональных технических характеристик в зависимости от сферы его применения. Специфика условий эксплуатации огнеупоров в современных тепловых агрегатах предъявляет высокие требования к показателям качества и главным служебным свойствам сырьевых материалов и огнеупорной продукции. С учетом этого в Инженерном центре завода разработана и успешно применяется своя методология оценки качества плавленных материалов, включающая комплекс стандартных и новых целевых методов определения химического и минерального составов, микроструктуры, открытой и закрытой пористости, истинной и кажущейся плотности, термостойкости и механической прочности.

Для сопоставимости результатов всех методик используются предварительно подготовленные дроблением монофракционные пробы плавленных огнеупорных материалов с постоянным размером частиц (зерен) 3–6 мм. Именно такой унифицированный размер зерен испытываемых материалов является наиболее оптимальным, так как показатели многих минеральных веществ (например, пористость, плотность, термостойкость, прочность и др.) значительно зависят от масштабного фактора, а некоторые — еще и от геометрии образца.

Химический состав определяется по стандартным методикам, применяемым для соответствующих материалов, количественный минеральный (фазовый) состав и микроструктура — минералого-петрографическим и рентгенофазовым анализами в лаборатории материаловедения и ЦЗЛ. Для определения механической прочности монофракционной пробы используется метод сжатия (испытания на раздавливание) в стальной цилиндрической форме при давлении штампа до 1,0 МПа. Подобным стандартизированным методом оценивают прочность дорожно-строительного щебня.

В Инженерном центре завода разработана и постоянно используется оригинальная методика определения термостойкости плавленных материалов путем термоциклирования постоянной навески по заданному режиму, резкого охлаждения в воде и расчета потери массы ($-\Delta m$) вещества вследствие термоударов. Ниже приведены усредненные результаты определения по данной методике термостойкости ряда плавленных материалов и их ТКЛР:

Материал	Термостойкость ($-\Delta m$), %	ТКЛР, $10^{-6}/град$
Муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	3,6	4,5–5,3
Периклаз	15,7	13,5–16,0
Диоксид циркония $ZrO_2(CaO)$	10,4	10,0–11,0
Кварцевое стекло SiO_2	0,6	0,5

Экспериментальные значения термостойкости, выраженные в виде $-\Delta t$, %, в целом вполне согласуются с ТКЛР этих материалов, что свидетельствует о достоверности применяемого метода. Таким образом, комплекс методов определения главных характеристик и свойств позволяет достаточно объективно и полно

оценить качество плавящихся зернистых материалов. Получаемая информация необходима для дальнейшего улучшения качества, совершенствования технологии производства и расширения ассортимента композиционных плавящихся огнеупорных материалов и плавящихся изделий.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОГНЕУПОРОВ БУДУЩЕГО

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын¹, д. т. н. Ф. Л. Капустин², д. т. н. О. Ю. Шешуков³,
А. В. Яговцев¹, Л. В. Остряков¹, В. Н. Мерзляков⁴, Д. Б. Ходенев⁴

¹ ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск, Россия

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

³ ФГБУН «Институт металлургии УрО РАН», г. Екатеринбург, Россия

⁴ ОАО «НПО ВостИО-Урал», г. Екатеринбург, Россия

В последние годы в зарубежной и отечественной научной периодической печати появились суждения о том, что в современной огнеупорной науке и практике возник своего рода кризис в связи с отсутствием на рынке новых высокоэффективных материалов и прорывных технологий их производства. Например, со времени широкого внедрения в пирометаллургию прогрессивных оксидоуглеродистых огнеупоров прошло уже более 30 лет. Авторами сделана попытка высказать свое частное мнение по вопросу грядущего развития огнеупорной отрасли на основе анализа пяти главных факторов: кларка химических элементов в литосфере, гидросфере и атмосфере, относительной износостойчивости тугоплавких минералов, технологичности материалов, экологичности веществ и экономических показателей (цена – качество) производства.

В настоящее время в технологии используют наиболее тугоплавкие неорганические вещества (~120 наименований), являющиеся различными соединениями всего 20 химических элементов таблицы Д.И. Менделеева. Однако имеются еще весьма значительные резервы в расширении ассортимента огнеупоров, так как, по нашим ориентировочным оценкам, в 20-компонентной системе этих элементов имеется более 200 бинарных и тройных соединений с температурой плавления более 1550 °С. Ранее (1980 г.) нами было установлено, что главным количественным оценочным критерием для прогнозирования относительной износостойчивости является термоэнергоплотность вещества T_d , кДж/(см³ · град), равная произведению энергоплотности E на температуру плавления T огнеупорного минерала: $T_d = E \cdot T = \frac{\Delta G}{V} \cdot T = \frac{\Delta G}{M/d} \cdot T = \frac{\Delta G \cdot d}{M} \cdot T$,

где ΔG — изменение энергии Гиббса, кДж/моль; M — молекулярная (молярная или атомная) масса, г/моль; d — плотность (истинная), г/см³; V — молярный (атомный) объем, см³/моль.

Среди всех известных природных и искусственных неорганических соединений наибольшей энер-

гоплотностью и температурой «плавления» (в нейтральной среде) обладает углерод (графит и алмаз); $T_d \approx 400 \cdot 10^3$ кДж/(см³ · град). Расчетное значение T_d наиболее доступных сырьевых огнеупорных минералов снижается в ряду: графит, карбид кремния, CaZrO₃, ZrO₂, периклаз, корунд, шпинель MgAl₂O₄, бонит, CaO · 6Al₂O₃, ларнит β-Ca₂SiO₄, «доломит» (CaO · MgO), известь CaO, муллит 3Al₂O₃ · 2SiO₂, форстерит Mg₂SiO₄, магнезиохромит MgCr₂O₄, циркон ZrSiO₄, эскалит Cr₂O₃, лешательерит (кремнеземистое стекло) SiO₂. В группу пяти наиболее износостойчивых тугоплавких минералов входят графит, карбид кремния, оксидные соединения и твердые растворы циркония, периклаз и корунд. Вторая группа также достаточно стойких материалов представлена шпинелью, бонитом, ларнитом, «доломитом» (продукт термообработки природного CaMg[CO₃]₂) — CaO · MgO и известью. Запасы природного и техногенного минерального сырья этой группы почти на 3 порядка превосходят запасы первой группы. С учетом многочисленных положительных свойств и специфических технических характеристик минералы второй группы значительно расширят ассортимент и объемы производства огнеупоров даже в ближайшем будущем. Уже в наше время наблюдается в мире своего рода ренессанс доломитовых огнеупоров, но модифицированного композитного состава с учетом последних достижений органической и неорганической химии. При этом известковая и доломитовая футеровка ($T_{пл}$ соответственно 2625 и 2370 °С) обладает наивысшей рафинирующей способностью к черным, благородным и редким металлам. Также расширяется производство бонитовых огнеупоров, имеющих в отличие от корунда ряд других, более ценных физико-химических свойств. С учетом высокой энергоплотности в будущем широкое развитие получат сиалоны (система Si–Al–O₂–N₂–R₂O₃) и бескислородные соединения из класса карбидов, нитридов (особенно TiN), оксикарбидов, боридов и др.

Экологический фактор существенно влияет на развитие огнеупоров, поэтому будет снижаться до минимума производство хромсодержащих огнеу-

поров и силикозоопасных материалов. Этот фактор может серьезно ограничить ассортимент огнеупоров будущего. Два важнейших взаимосвязанных фактора — технологичность и экономичность имеют всегда определяющее (интегральное) значение и зависят от всех трех предыдущих. Эти факторы обеспечивают разработку новых энерго-, материало- и ре-

сурсосберегающих нано-, плазмо- и СВЧ-технологий производства, а также высокоэффективного применения новых поликомпонентных композитных огнеупоров. Генератором оптимизации ассортимента, качества и технологий является научно-технический уровень развития главных отраслей — потребителей огнеупоров.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГЕНЕЗИС ТРЕЩИН В ОГНЕУПОРАХ

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын, Л. В. Остряков, И. В. Острякова

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

Макро- и микротрещины являются частыми двухмерными дефектами макро- и микроструктуры большинства огнеупорных изделий, образующимися как при изготовлении, так и особенно в процессе службы огнеупоров в различных тепловых агрегатах. Согласно статистике, примерно 30 % футеровки выходит из строя вследствие формирования трещин и сколов. Выявление скрытых макро- и микротрещин в огнеупорной продукции ответственного назначения, например, в корундографитовых изделиях сталеразливочного тракта МНЛЗ в ОАО «Динур», осуществляется методом рентгеновской диагностики.

В настоящем сообщении обобщены результаты многолетних исследований трещин, возникающих в огнеупорных изделиях во время производства (первичные) и в процессе эксплуатации (вторичные). На основании системного анализа разработана классификация трещин по происхождению (генезису). В основу генетической классификации положены следующие главные критерии: температура зарождения трещины, причины образования этого дефекта структуры, физико-химический механизм развития микро- и макротрещиноватости. В группу «холодных» трещин отнесены: механогенные, кристаллизационные (в водосодержащих бетонах), гидратационные, сушильные, перепрессовочные, криогенные и биогенные. Образование этих трещин обусловлено как внутренними напряжениями вследствие положительного или отрицательного изменения объема и особенно часто внешними механическими нагрузками (механогенные трещины при дроблении и измельчении твердых минеральных сырьевых материалов, перепрессовочные двухмерные дефекты и др.).

В последние годы открыто активное участие микроорганизмов в разрушении строительных материалов — явление биокоррозии — образования микротрещин в бетонах, содержащих фосфатные и сульфатные соединения. Оказалось, что некоторые фосфаты, сульфаты и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов являются питательной средой для бактерий, разрушающих строительные и огнеупорные материалы.

Более многочисленны и разнообразны по своему происхождению «горячие» трещины, возникающие, как правило, в изделиях с уже сформированной

(упрочненной) керамической или плавленной микроструктурой. Температурный уровень образования «горячих» трещин от 20 до 1600 °С (точнее, до температуры перехода материала в термопластичное состояние). Группа «горячих» первичных и вторичных трещин включает две генетические подгруппы: термическую и физико-химическую, возникающие соответственно за счет напряжений первого и второго родов (по К. К. Стрелову). Образование термических трещин обусловлено напряжениями первого рода, возникающими при нагревании и особенно при охлаждении изделий (футеровки). Интенсивность трещинообразования первой группы определяется термостойкостью огнеупоров, которая, в свою очередь, зависит от многих свойств и характеристик материалов: ТКЛР, теплопроводности, температуропроводности, модуля упругости, скорости изменения температуры, геометрии изделия и др. К второй «горячей» подгруппе относятся трещины, зарождение и рост которых происходит в условиях стационарного и переменного высокотемпературного воздействия вследствие различных физико-химических процессов, сопровождающихся как положительным, так и отрицательным изменением объема материала. К ним, в частности, относятся трещины диссоциации (декарбонизации, дегидратации, сублимации, испарения), химических реакций (синтез новообразований, окисление, восстановление, газотранспортные реакции), реакции диспропорционирования низших оксидов (реакция Белла – Будуара и др.), а также образование трещин при охлаждении плавнелитых блоков.

Способность к трещинообразованию определяется ударной вязкостью материала. Наименьшую ударную вязкость имеют хрупкие минералы, обладающие совершенной спайностью. Например, периклаз обладает тремя параллельными системами плоскостей спайности (параллельно граням куба) и шестью плоскостями отдельности (параллельно граням ромбододекаэдра). Аналогично 4 плоскости спайности имеют бонит $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ и β -глинозем. Карбид кремния, кварц, корунд, шпинель, хромит и многие другие тугоплавкие минералы спайностью не обладают, однако отличаются повышенной хрупкостью (например, SiC). Склонность к трещинообразованию,

как и пониженная твердость, улучшает размолюемость материала, однако в большинстве случаев (при повышенном ТКЛР) снижает термостойкость огнеупоров.

Нами предложена также классификация трещин по масштабному фактору: магистральные макротрещины, длина которых соизмерима с размером минимальной плоскости кирпича; межзерновые (межагрегатные) длиной 1–10 мм; внутризерновые (агрегатные) и кристаллитные (внутри кристаллов). Показан также обратимый переход поры в макротрещины и наоборот при службе огнеупоров. Генезис трещин определяется при комплексном визуальном наблюдении и наиболее полно при минералого-петрографическом исследовании микроструктуры огнеупоров. Информация о генезисе макро- и

микротрещин необходима для диагностики технологического брака огнеупорной продукции, а также для выявления причин и механизма износа изделий при службе.

Эффективным направлением существенного повышения термостойкости, ударной вязкости и других термомеханических показателей огнеупоров, особенно углеродсодержащих, является армирование тугоплавкими неорганическими волокнами и тканями (графитовыми, алюмосиликатными, металлическими и др.), а также нитевидными кристаллами (усы, вискерсы). Кроме того, формование изделий из хрупких материалов следует проводить не на фрикционных прессах многократного ударного воздействия, а на гидравлических путем постепенного увеличения удельного давления.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ФОСФАТНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ НА ОСНОВЕ ШЛАКОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

© К. т. н. В. А. Абызов, Е. Н. Ряховский

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

Материалы на основе алюмофосфатных связующих (АФС) отличаются высокой огнеупорностью, термостойкостью, низким смачиванием расплавами металлов и шлаков. Основным фактором, сдерживающим их широкое применение, является высокая стоимость, в связи с чем актуальность приобретают вопросы разработки связующих на основе доступного недорогого сырья. Перспективным в этом отношении представляется применение шлаков переработки вторичных алюминиевых сплавов, богатых глиноземом.

Были исследованы шлаки ОАО «Сухоложский завод вторичных цветных металлов» как текущего выхода, так и отвалы. Установлено, что отвалы содержат дисперсный металлический алюминий в количестве 30–35 %, глинозем различных модификаций и гидроксид алюминия (в пересчете на Al_2O_3) 25–40 %. Кроме того, присутствуют примеси — хлористый натрий и калий, примеси оксидов магния, кремния и железа. Традиционные пути переработки шлаков предполагают для удаления хлоридов либо обжигать шлак, либо выщелачивать соли водой, чтобы в дальнейшем получить наполнитель или сырье для глиноземистого цемента. Хлориды щелочных металлов очень активны и затрудняют применение шлака в сочетании с любым вяжущим.

Установлено, что шлак благодаря присутствующим в нем алюминию и примесям активно взаимодействует с ортофосфорной кислотой (ОФК) даже после обжига, поэтому он представляет интерес с точки зрения получения жидких АФС. Получены жидкие фосфатные связки со степенью замещения водорода в молекуле кис-

лоты примерно от 0,5 до 1. Примеси TiO_2 , Fe_2O_3 и MgO не ухудшают свойства связки, также образуя фосфаты. Полученная связка может быть использована для производства фосфатного газобетона или тяжелого бетона.

В дальнейшем на полученном АФС были разработаны составы фосфатного газобетона с использованием в качестве заполнителя предварительно промытого и прокаленного шлака фракции мельче 3 мм, в качестве газообразователя вводили добавку алюминиевой пудры марки ПАП-2. Применение шлакового заполнителя позволяет существенно снизить расход алюминиевой пудры, так как в шлаке присутствует дисперсный металлический алюминий. Газобетон характеризуется средней плотностью 700–900 кг/м³ и пределом прочности при сжатии от 2,5 до 4,0 МПа. После обжига при 1000 и 1400 °С образцы не имели видимых следов разрушения, прочность не снизилась. Предельная температура применения газобетона составляет 1400 °С.

С использованием предложенного нами АФС, отработанного алюмохромового катализатора ИМ-2201 и каолина получен огнеупорный фосфатный клей с температурой применения до 1650 °С. Введение в клей 0,5-замещенного АФС взамен ОФК позволило повысить однородность и вязкость клеевой композиции, снизить седиментацию. Предел прочности при сдвиге по шамоту после сушки при 300 °С увеличился до 8–10 МПа. Опытные партии огнеупорного клея прошли апробацию в футеровке нагревательных печей ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СПЕЧЕННЫХ И ПЛАВЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, В. В. Смертин², к. т. н. М. И. Назмиев²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Группа Магнезит развивает производственные мощности, продолжая успешно осваивать современные технологии. Комплексное расширение производства огнеупорного материала высокого качества включает освоение карьера на Нижне-Приангарской производственной площадке, ввод на этой площадке в эксплуатацию шахтных печей каустизации магнезита, а также ввод в эксплуатацию комплекса по производству плотноспеченного периклазового клинкера мощностью 120 тыс. т/год на Саткинской производственной площадке. Комплекс включает многоподовую печь кальцинации магнезита, помольно-брикетировочный участок и две высокотемпературные шахтные печи для обжига клинкера. С пуском этого комплекса стало возможным получение материалов с содержанием MgO до 97 % и выше.

На основе высококачественного каустизированного магнезита организовано производство высококачественного плавленного периклаза на обеих производственных площадках Группы Магнезит. В настоящее время производится крупнокристаллический периклаз с содержанием MgO до 98,5 %, в том числе с молярным соотношением $\text{CaO/SiO}_2 > 1,8$. Отработана технология, позволяющая в известных пределах регулировать размеры кристалла периклаза (например, 1000–1200 мкм). Прогресс в качестве плавленных материалов происходит параллельно с модернизацией и наращиванием мощностей по их производству. В 2015 г. объем производства плавленного периклаза удвоится. Наличие высококачественного периклаза позволяет производить продукцию, в первую очередь оксидоуглеродистые изделия высокого качества, с использованием отечественного сырья.

СПОСОБ СИНТЕЗА ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА

© Д. х. н. Р. А. Апакашев, д. т. н. С. Я. Давыдов

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

В качестве компонентов огнеупорной керамики часто используются такие карбиды, как WC, SiC, TaC, TiC, характеризующиеся высокотемпературной стойкостью. Огнеупоры, изготовленные из этих материалов, обладают прочностью и коррозионной стойкостью, а также устойчивы к длительному действию высоких температур.

Распространенный способ получения керамики — спекание порошков. При этом имеет значение дисперсность исходного огнеупорного материала. Малый размер частиц спекаемого порошка способен существенно повысить эксплуатационные параметры огнеупорной керамики. Известные способы получения карбидов тугоплавких металлов, как правило, основаны на восстановлении металлосодержащего окисленного сырья с одновременной карбидизацией. При получении карбидов по этим способам исходят из соответствующих оксидов, которые карбидизируют при температурах, составляющих 50–75 % температуры плавления карбидов. При этом нагрев осуществляют в течение длительного времени.

В настоящей работе предложен энергосберегающий способ получения высокодисперсного порошка карбида вольфрама, обеспечивающего существенное энергосбережение за счет снижения температуры и длительности синтеза. Для достижения поставленной цели использовали специальную установку и порошок паравольфрамата аммония в качестве исходного сырья. Разработанный способ энергосберегающего син-

теза высокодисперсного порошка WC апробирован в лабораторных условиях.

Готовили шихту из паравольфрамата аммония и углеродосодержащего материала. Шихту помещали в форму для прессования и подвергали давлению не менее $1 \cdot 10^9$ Па. Прессованные заготовки в форме брикетов помещали в герметичный реактор. Реактор соединяли с атмосферой через гидрозатвор, нагревали до 1273 К и выдерживали при этой температуре до 3 ч. Гидрозатвор, соединяющий внутренний объем реактора с атмосферой, обеспечивает повышенное давление восстановительной атмосферы оксида углерода (II) и водорода. Образованию оксида углерода (II) способствуют избыток угля и недостаток кислорода в замкнутом пространстве реактора. Газообразный водород образуется при термическом разложении аммиака, выделяющегося при нагревании паравольфрамата аммония. Водородосодержащая восстановительная атмосфера обеспечивает полное восстановление вольфрама (III) и его карбидизацию. Относительно невысокая температура в реакторе и малая продолжительность процесса синтеза минимизируют спекание и рост зерна за счет собирательной рекристаллизации получаемого карбида.

После высокотемпературной выдержки реактор охлаждали до комнатной температуры. Полученный продукт отмывали от свободного углеродосодержащего материала сначала водой, а затем этиловым спиртом. Максимальный выход WC составил 94,0 %. По данным

химического анализа массовая доля углерода в карбиде варьирует в пределах 5,8–6,2 %. По данным электронной микроскопии в синтезированном материале отмечается преобладание частиц WC, соответствующих двум размерным диапазонам: 100–200 и 2,0–8,0 мкм. При этом для частиц микронного диапазона характерно наличие четкой огранки, отсутствующей у наночастиц.

Таким образом, предложенный в настоящей работе способ синтеза WC обеспечивает существенное энергосбережение за счет снижения температуры и длительности нагрева реагентов. Использование павольфрамата аммония в качестве исходного сырья дополнительно снижает материальные затраты на получение WC.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСОБОЧИСТЫХ ПРИРОДНЫХ ГРАФИТОВ

© Д. т. н. Н. Ю. Бейлина¹, А. В. Петров¹, О. В. Рубинчик¹, д. т. н. В. П. Перевезенцев¹, к. т. н. Т. Ф. Юдина²

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

² ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет» (ИГХТУ), г. Иваново, Россия

Создание новой, более совершенной технологии комплексного использования и переработки природных графитовых руд для дальнейшего получения графитового концентрата, используемого огнеупорной и металлургической отраслями, позволит увеличить ресурс использования месторождения, расширить области применения природного графита и получить новые наукоемкие продукты на его основе. Комплекс включает совмещенную технологию обогащения-очистки природного графита с получением готового продукта — особочистого графита; инновационную технологию окисления графита, менее энергетически и материалоемкую в сравнении с существующей, с получением готовых продуктов — окисленного и терморасширенного графита; разработку на основе природного графита новых продуктов: графита для литий-ионных аккумуляторов, адсорбентов, оксида графена и графена.

Получение на основе природного графита особо чистых продуктов с содержанием углерода не менее 99,99 % мас. позволит расширить области его применения в технологических и производственных процессах: при производстве огнеупоров (высококачественных, графитомагнелиевых, алюмографитовых), в литейном производстве, производстве стали, порошковой металлургии, производстве композиционных материалов и изделий из них (тормозные накладки, смазки, тигли, аноды гальванических батарей, щелочных аккумуляторов, углеграфитовые материалы, антифрикционные материалы), производстве термо-

расширенного графита; другие области: красящие и полирующие вещества, огнестойкие материалы и покрытия, детали для электротехники, магнитные ленты, промышленные алмазы, суспензии охлаждающие и смазывающие.

Для наиболее глубокой очистки природных графитов применяют термохимическое рафинирование, разработанное в НИИГрафите, которое состоит в нагревании выше 2200 °С в печи Ачесона в атмосфере галогенсодержащего газа. При этом получают чистый природный графит зольностью менее 0,01 % для его дальнейшего применения в специальных технологиях, требующих высокочистого (особочистого сырья). Это требуется для графита как сырья для производства алмазов, для графита как материала для ядерной физики (где общее содержание примесей не более $1 \cdot 10^{-3}$ %). Для использования в полупроводниковой технике созданы графиты еще более чистые, с содержанием примесей не выше $1 \cdot 10^{-6}$ %.

Усовершенствование способов термохимической очистки и механохимического окисления природного графита показало их преимущества перед существующими промышленными технологиями. В сотрудничестве с ИГХТУ созданы композиционные никелевые покрытия, содержащие высокодисперсную графитовую фазу (терморасширенный графит), обладающие повышенной стойкостью к коррозии. Для разработанного композиционного покрытия токи коррозии снижаются на порядок в сравнении с защитным покрытием без графитовой фазы.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ НЕВОСТРЕБОВАННОЙ ИЗВЕСТКОВОЙ ПЫЛИ, СОДЕРЖАЩЕЙ НАНОЧАСТИЦЫ, В ОАО «СЕРОВСКИЙ ЗАВОД ФЕРРОСПЛАВОВ»

© Д. т. н. С. Я. Давыдов¹, д. х. н. Р. А. Апакашев¹, д. т. н. В. С. Кийко², А. В. Ищенко²

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

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

Производство извести для собственных нужд ОАО «Серовский завод ферросплавов» началось с 1962 г. в цехе обжига известняка проектной мощ-

ностью 210 тыс. т. в год. В настоящее время высокообоженная известь производится в трех вращающихся печах для собственного производства

и используется в производстве рафинированного феррохрома.

Для выполнения работ по замене изношенного оборудования по улавливанию пыли высокообоженной извести в 2014 г. была обследована схема газового тракта вращающихся печей ОАО «Серовский завод ферросплавов». По данным ОАО «Галоген» от 28.04.2004 г., известковая пыль содержит не менее 60 % CaO и от 2 до 10 % MgO и кристаллического SiO₂. По ТУ 14-140-30-04 известковая пыль может быть использована в сельском хозяйстве для известкования кислых почв, в строительстве для приготовления растворов, в горнорудной промышленности в качестве профилактического средства против смерзания материалов и в других отраслях промышленности. По данным замеров цеха обжига извести от 24.03.2014 г., в пыли после электрофильтров ЦН-15 содержится 0,043 г/м³ CaO и его карбоната. Фактический выброс вредных веществ не превышает 1,568 г/с. В настоящее время такая пыль используется частично. Ее физико-химические и технологические свойства исследованы недостаточно.

Авторами был исследован химический состав известковой пыли с помощью сканирующего электронного микроскопа «JSM 6390LA» фирмы JEOL Ltd, Японии, оборудованного приставкой для рентгеновского микроанализа. Данные воспроизводились при произвольном выборе области микроанализа и отражали состав известковой пыли в целом. По данным рент-

геновского микроанализа, массовая доля основных компонентов исследованной пыли — кальция и кислорода составляет 70,03 и 27,45 % соответственно. В качестве примесных элементов присутствуют магний, кремний и сера. При этом общее количество примесей не превышает 3 %.

Изображения морфологии частиц пыли высокообоженной извести получены на растровом электронном микроскопе «Zeiss Sigma VP» фирмы «Carl Zeiss», Германия, при ускоряющем напряжении 3 кВ с регистрацией на детекторе вторичных электронов, встроенном в колонну микроскопа (In-lens detector). Для предотвращения заряда поверхности порошкообразный образец наносили на проводящий углеродный скотч и с применением аппарата «Q150T ES» фирмы «Quorum Technologies», Великобритания, методом магнетронного распыления на его поверхность напыляли тонкий слой золота толщиной 5 нм. Результаты показали, что основной размер частиц пыли варьирует в пределах 50–300 нм. Частицы не имеют естественной огранки, при этом преобладает овальная форма частиц без острых углов и граней. Важно, что отдельные частицы консолидированы в плотные конгломераты, не разрушающиеся при транспортировании пыли. По результатам проведенных электронно-микроскопических исследований размер конгломератов, состоящих из большого количества мелких микрокристаллов, колеблется в широких пределах. Линейный размер наиболее крупных образований достигает 25–30 мкм.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ КИТАЙСКОГО ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТОГО ШАМОТА

© Д. Г.-М. Н. В. А. Перепелицын¹, Д. Т. Н. Ю. Е. Пивинский², К. Т. Н. А. Д. Бураков²,
А. М. Гороховский¹, Л. А. Карпец¹, М. Н. Дунаева¹, З. Г. Пономаренко¹, И. В. Острякова¹,
К. М. Векшин¹

¹ ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

² ООО НВФ «Керамбет-Огнеупор», Санкт-Петербург, Россия

Для производства высокоглиноземистых огнеупоров ряд российских предприятий используют обожженный бокситовый шамот, импортируемый из Китая. Первоуральский динасовый завод также применяет этот сырьевой материал для изготовления широкого ассортимента огнеупорной продукции. Традиционно Китай поставляет бокситовый шамот (БШ) двух марок: Rota HD и MID D, содержащих соответственно не менее 88,0 и 86,0 мас. % Al₂O₃. Главными примесными оксидами являются SiO₂, TiO₂ и Fe₂O₃. Химический состав и кажущаяся плотность каждой марки сырья регламентируются соответствующей нормативной документацией. Наиболее высокое качество имеет БШ марки Rota HD, кажущаяся плотность его не менее 3,30 г/см³ в отличие от марки MID D (3,15 г/см³). Минеральный состав валовых проб БШ обеих марок в целом аналогичен и представлен в основном корундом. К числу второстепенных минералов относятся муллит, титансодержащие соединения — тиазит Al₂O₃ · TiO₂ и рутил TiO₂, гематит

Fe₂O₃ и алюмосиликатное стекло R₂O · RO · Al₂O₃ · nSiO₂ (содержание SiO₂ 65–70 %), R₂O — (Na₂O + K₂O), RO — (CaO + MgO). Почти все минералы (кроме стеклофазы) являются тугоплавкими с температурами плавления, °С: корунд 2050, муллит 1910, тиазит 1860, рутил 1870, гематит 1565.

В настоящее время Китай поставляет БШ четырех фракций: мельче 1, 1–3, 3–6 и 6–15 мм. Каждая партия сырья на заводе подвергается приемным испытаниям, включающим определение химического и минерального составов, кажущейся плотности, открытой пористости и других свойств. В связи с отрицательным влиянием стеклофазы на качество в каждой фракции в обязательном порядке определяется количество аморфного вещества. Характерной особенностью китайского БШ является различная окраска зерен: черная, коричневая, серая, бежевая, белая, часто с сочетанием этих тонов даже в пределах одного зерна. В результате минералого-петрографических исследова-

ний многочисленных проб обеих марок установлено, что фактически каждое зерно БШ имеет собственный, но переменный вещественный состав, крайне неоднородную микроструктуру и резко различающуюся пористую текстуру. Суммарная (открытая + закрытая) пористость зерен различной окраски колеблется в пределах от 2–4 до 15–17 %.

Как показала микроскопия, интенсивность темной окраски зерен обусловлена не только содержанием оксидов-хромофоров — FeO , Fe_2O_3 , TiO_2 , но и температурой обжига сырья, а также составом газовой среды в процессе термообработки в Китае. Наиболее плотную и крупнокристаллическую микроструктуру имеют зерна темного цвета, особенно в БШ марки Rota HD. Минеральный состав различно окрашенных зерен варьируется в широких пределах: от муллитового (Al_2O_3 70–75 %) до почти корундового (Al_2O_3 93–95 %). Муллитовые зерна, как правило, имеют более светлую окраску, небольшое содержание Fe_2O_3 и TiO_2 и плотную микроструктуру (пористость не более 5 %). Корундовые зерна не содержат муллита, их минеральный состав представлен корундом (до 96 %), стеклофазой (до 6 %), соединениями титана (до 5–6 %) и гематитом (до 3 %). Нормативной документацией содержание стеклофазы в валовых пробах ограничено 5 %.

В обеих марках БШ преобладают зерна, состоящие в основном из корунда с содержанием муллита 2–25 % и примесных минералов 1–10 %. Таким образом, не-

постоянство минерального состава, микроструктуры, пористости зерен БШ оказывает, безусловно, негативное влияние на ряд физико-химических свойств высокоглиноземистых огнеупоров, особенно на шлакоустойчивость, так как скорость растворения муллита в основном шлаке примерно в 3 раза больше, чем у корунда идентичной кристаллической микроструктуры и пористости. Сильная фазовая и структурная гетерогенность зерен БШ обусловлена как геологией китайских месторождений боксита, так и технологией переработки сырья, в частности отсутствием необходимого усреднения перед обжигом во вращающихся и шахтных печах.

В последнее время (2014 г.) в Китае выпущены опытные партии так называемого «синтетического боксита», технология которого включает операцию усреднения сырья. Как показало материаловедческое изучение, синтетический боксит представляет собой спеченные гранулы, которые получены из тонкомолотого сырья. В отличие от кусковой традиционной технологии гранульная, несомненно, является более прогрессивной, так как гранулы хорошо обожженного БШ имеют практически постоянный химико-минеральный состав, однородную микроструктуру и одинаковую пористость. Следовательно, усреднение сырья позволяет получить гомогенную микроструктуру БШ, что положительно влияет на свойства огнеупоров, в которых сырье используется в качестве заполнителя (фракции 3–15 мм).

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ДИСКРЕТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Д. т. н. С. А. Суворов¹, О. С. Кузнецова², к. т. н. А. В. Сакулин², к. т. н. В. В. Скурихин²

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

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

Алюмосиликатные дискретные материалы (пропанты) — гранулированный технический продукт с размерами гранул 0,3–1,8 мм, полученный путем предварительной термообработки сырьевых компонентов с последующим измельчением, гранулированием, обжигом гранул, рассевом на товарные фракции. Первые разработки технологии производства пропантов в России были осуществлены в 1994 г. в ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров». В 1996 г. на опытно-промышленной установке была выпущена опытная партия пропантов для испытания их у потребителя, в 1998 г. была введена первая производственная линия по выпуску пропантов мощностью 15 тыс. т в год.

Ежегодно объемы производства пропантов растут, что обусловлено ростом спроса на них со стороны нефтедобывающих предприятий. С 2001 по 2014 г. выпуск пропантов в ОАО БКО вырос почти в 5 раз и достиг практически 250 тыс. т. При всем разнообразии источников сырья бокситы остаются единственным видом сырья для эффективного производства пропантов

высокой прочности. Добавки позволяют регулировать температуру спекания боксита, плотность пропантов и другие характеристики. Использование альтернативных источников сырья для производства пропантов дает возможность получать гранулы, которые можно использовать при ограниченных условиях и срок службы которых значительно меньше, чем срок службы пропантов из бокситов.

По балансовым запасам бокситов Россия занимает 9-е место в мире. Эти запасы сосредоточены в Северо-Западном федеральном округе (Архангельская обл. и Республика Коми) и Уральском (Свердловская обл.). Бокситы российских месторождений в основном низкосортные и среднесортные: их кремниевый модуль (отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$) варьирует от 3 до 21 (в типовых зарубежных бокситах от 8 до 50); они трудно вскрываемы и требуют значительных затрат при добыче. В настоящее время производители пропантов заняты расширением сырьевой базы за счет новых источников алюмосиликатного сырья. Объясняется это

истощением сырьевой базы качественного алюмосиликатного сырья. Имеющееся низкосортное сырье — бокситы с повышенным содержанием гематита, гётита и каолинита не позволяет получать пропант с заданными свойствами без введения модифицирующих добавок, корректирующих его химический и фазовый составы.

В научно-исследовательском центре ОАО БКО проведено комплексное исследование бокситов Иксинского и Вежаю-Ворыквинского (бокситы Тимана) месторождений для определения возможности их использования для производства алюмосиликатных дискретных материалов. Иксинские бокситы представляют собой высокоглиноземистые породы (содержание Al_2O_3 в прокаленном состоянии составляет 50,2–67,3 мас. %) с содержанием щелочных (< 1 мас. %) и щелочно-земельных (~ 1,7 мас. %) оксидов и с содержанием красящих оксидов Fe_2O_3 и TiO_2 (от 5 до 11 мас. %). По химическому составу тиманские бокситы относятся к группе высокожелезистых бокситов (Fe_2O_3 25–30 мас. %, Al_2O_3 49,1–53,4 мас. %).

Минеральный состав исследуемых проб бокситового сырья оценивали с помощью рентгенофазового и термического методов анализа. Выявлено, что иксинские бокситы сложены смесью гидратов оксида алюминия различной водности — бёмита $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ (30–45 %) и гидраргиллита (гиббсита) $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ (10–15 %), а

также каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (20–37 %) с незначительным содержанием гидрослюда типа иллита $0,2K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 1,5H_2O$ (3–5 %). Основными породообразующими минералами тиманских бокситов являются гидрат глинозема в форме бёмита (30–40 %), железистые минералы в форме гематита Fe_2O_3 (12–20 %), гётита $FeO(OH)$ (1–4 %) и глинистый минерал в форме каолинита (2–4 %). Характерны включения бертьерина $(Fe, Al, Mg)_3(Si, Al)_2O_5(OH)_4$ и мусковита $Al_2Si_3O_5(OH)_4$.

Определение спекаемости проводили по ГОСТ 21216.8–81. Установлено, что иксинские бокситы при повышении температуры обжига в интервале от 1100 до 1400 °C не обеспечивают полноты протекания и завершения процесса спекания ($B_{1400\text{ °C}} = 11,7\%$), однако при этом образуют прочные структуры с пределом прочности при сжатии 48–67 МПа. Особенности минерального состава тиманских бокситов обуславливают их полное спекание при 1350 °C ($B_{1350\text{ °C}} = 1,7\%$) с формированием достаточно прочных структур с пределом прочности при сжатии на уровне 50–55 МПа.

Оценивая полученные результаты, можно предположить перспективность использования композиций бокситов Иксинского и Тиманского месторождений для получения высокопрочных алюмосиликатных дискретных материалов.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

БЕТОНЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОНОЛИТНОЙ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЕРАЗЛИВНОГО КОВША

© К. Т. н. Л. М. Аксельрод¹, Р. А. Донич², Ю. В. Данилова²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Разработаны составы огнеупорных бетонов для изготовления футеровки и элементов футеровки сталеразливочного ковша с использованием алюмомagneзиального цемента. Составы обладают хорошей термостойкостью, трещиностойкостью, шлакоустойчивостью. Бетоны изготовлены на основе табулярного глинозема и спеченной алюмомagneзиальной шпинели.

• Magcast A85 — предназначен для монолитной футеровки стен. Бетон имеет следующий химический состав, мас. %: 88,0 Al_2O_3 , 8,13 MgO , 0,02 SiO_2 , 4,10 CaO , 0,04 Fe_2O_3 . Физические свойства бетона (в скобках — после термообработки при 1000/1650 °C): предел прочности при сжатии 146,0 (167,6/162,8) МПа, кажущаяся плотность 3,04 (3,08/2,96) г/см³, открытая пористость 2,4 (14,3/14,4) %, температура начала деформации 1700 °C, дополнительная линейная усадка до 1700 °C 0,1 %. Характеристика поровой структуры: поры закрытые, мелкие, изолированные (< 15 мкм) 5–6 %; закрытые, крупные, округлой формы (< 700 мкм) 5–6 %; открытые, узкие, двоянные, строенные (< 15 мкм)

3–4 %; открытые канальные (< 700 мкм) 1–2 %; открытые канальные (< 50 мкм) 1–2 %; сумма открытых пор 5–6 %; открытая пористость 15–16 %;

• Magcast A90 — предназначен для монолитной футеровки рабочего слоя дна. Бетон имеет следующий химический состав, мас. %: 92,5 Al_2O_3 , 3,06 MgO , 0,12 SiO_2 , 3,98 CaO , 0,03 Fe_2O_3 . Физические свойства бетона (в скобках — после термообработки при 1000/1650 °C): предел прочности при сжатии 110,0 (153,9/146,3) МПа, кажущаяся плотность 3,11 (2,99/3,05) г/см³, открытая пористость 6,2 (14,2/16,3) %, температура начала деформации 1700 °C, дополнительная линейная усадка 0,1 %. Характеристика поровой структуры: поры закрытые, мелкие, изолированные (< 20 мкм) 5–6 %; закрытые, крупные, округлой формы (< 700 мкм) 5–6 %; открытые, узкие, двоянные, строенные (< 20 мкм) 4–5 %; открытые полукольцевые (< 50 мкм) 1 %; сумма открытых пор 4–5 %; открытая пористость 14–15 %.

Снижение доли свободного MgO уменьшает проблемы с реологическими свойствами и сушкой бетонов.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ТЕРМОСТОЙКИЕ ЦЕЛЬНОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПЛИТЫ ДЛЯ ШИБЕРНЫХ ЗАТВОРОВ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, О. А. Москаленко², В. В. Смертин², О. Н. Пицик², Е. А. Киселёва²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Возрастающая потребность в новых видах огнеупоров, позволяющих успешно конкурировать с импортными, обусловила разработку и внедрение в производство цельнокерамических крупноформатных плит для трехплитного поворотного шибера промежуточных ковшей ОАО ММК взамен изделий китайского производства. Вещественный состав плит представлен высокочистым периклазовым наполнителем с массовой долей $MgO > 98\%$ и алюмосодержащим компонентом. Специально подобранный узкофракционный состав зернистых материалов обусловил формирование в обжиге плотной мелкопористой структуры огнеупора. Проведенные петрографические исследования показали, что присутствие алюмосодержащей добавки привело к образованию в межкристаллическом пространстве зерен периклаза тончайших прослоек (шириной 2–3 мкм) алюмомагнезиальной шпинели и алюмината кальция. Различия ТКЛР этих фаз в процессе *in situ* синтеза привели к образованию микротрещиноватой термостойкой структуры плиты.

Цельнокерамические плиты марки ППш-90 разработанного состава успешно испытаны в ККЦ ОАО ММК. Испытания проведены на 45-т промежуточных ковшах МНЛЗ № 1–4 при разливке рядовых и низколегированных марок сталей. Стойкость опытных плит составила в среднем 6 плавов при продолжительности разливки от 2 до 10 ч. Высокая степень чистоты применяемых компонентов обеспечила коррозионную стойкость огнеупора — износа контактной поверхности и стале-выпускных каналов на плитах не выявлено, подтеканий и проникновения металла между плитами не зафиксировано. Физико-химические показатели плит, мас. %: MgO более 89, Al_2O_3 4–6, SiO_2 не более 1,0, углерод не менее 2,0; открытая пористость после пропитки не более 10 %, пределы прочности при сжатии не менее 70 МПа, при изгибе более 30 МПа.

По результатам промышленной апробации плиты ППш-90 рекомендованы к применению в условиях ККЦ ОАО ММК.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРИКЛАЗОШПИНЕЛЬНЫХ ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ПЕЧЕЙ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА© К. т. н. Л. М. Аксельрод¹, М. Б. Шаров², В. В. Смертин², О. Н. Пицик², О. А. Марясева²¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия² ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Ориентирование предприятий цементной промышленности на использование помимо традиционных альтернативных видов топлива потребовало улучшения качественных показателей огнеупоров для поддержания необходимой ресурсной стойкости футеровки вращающихся печей, работающей в более «жестких» условиях. Для увеличения устойчивости футеровки к воздействию продуктов сгорания топлива и расплава клинкера разработана технология изготовления коррозионно-устойчивых термостойких периклазошпинельных огнеупоров.

Полученным огнеупорам, изготавливаемым на основе плотноспеченных клинкеров, присвоены марки ПШат-1 и ПШат-2. Особенностью изделий является высокочистая шпинельная матрица с прямой связью, обогащенная присутствием цирконата кальция. В процессе службы во вращающихся печах обжига цементного клинкера композиционная матрица огнеупора в сочетании с оптимальным соотношением зерен наполнителя обеспечивает ему высокую степень защиты против химической коррозии и абразивного износа. Высокие показатели термостойкости (> 30 теплосмен $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ — вода) и температуры начала деформации под нагрузкой ($> 1680\text{ }^{\circ}\text{C}$) позволяют огнеупору успешно противостоять термомеханическим нагруз-

кам. Типичные показатели свойств изделий ПШат-1/ПШат-2 соответственно: предел прочности при сжатии 57,1/61,6 МПа, открытая пористость 14,4/14,3 %, кажущаяся плотность 3,05/3,03 г/см³, дополнительная усадка ($1600\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 ч) 0,0/0,05 %, предел прочности при изгибе при $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 6,9/6,7 МПа, при $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 9,2/ 6,4 МПа, теплопроводность при $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4,25/4,22 Вт/(м · К), относительное удлинение в интервале $20\text{--}1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1,22/1,21 %, в интервале $20\text{--}1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1,85/1,81 %.

Петрографические исследования разработанных огнеупоров показали, что прямая шпинельная связь расположена в виде равномерно распределенных пленок, присутствие цирконийсодержащего компонента привело к образованию межкристаллических прослоек цирконата кальция. В результате эксперимента на клинкероустойчивость в лабораторной вращающейся печи динамическим методом определено, что изделие марки ПШат-1 выделяется из ряда испытуемых образцов наименьшими глубиной и площадью пропитки при минимальном содержании силикатов в зоне пропитки. Это обусловлено микроструктурными особенностями изделия до службы: наименьшая пористость образца, высокое содержание мелких, изолированных пор (6–8 %) и минимальное (7–8 %) открытых, канальных,

сообщающихся пор. Присутствующие в матрице прослойки цирконата кальция создают дополнительный барьер против проникновения агрессивных компонен-

тов вглубь огнеупора. В настоящее время новые термостойкие периклазошпинельные изделия проходят стадию промышленного внедрения.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

КОНЦЕПЦИЯ ВЫБОРА ОГНЕУПОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ФУТЕРОВКИ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ

© К. т. н. **Л. М. Аксельрод**¹, к. т. н. **Т. В. Ярушина**², к. т. н. **С. В. Бочаров**¹

¹ ООО «Группа Магнезит», Москва, Россия

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

Разработаны периклазоуглеродистые огнеупоры для зоны металла и шлакового пояса футеровки дуговых сталеплавильных печей (ДСП). В качестве исходных материалов при производстве изделий был использован полученный из красноярского сырья (магнезитов Приангарской производственной площадки Группы Магнезит) плавный периклаз марки DTMF 98 с минимальным содержанием примесных оксидов (содержание $MgO > 97,6\%$, кристаллов размером > 500 мкм 70%). Для повышения эксплуатационной надежности футеровки в состав изделий были введены функциональные добавки комплексного действия, назначение которых — защита от окисления структуры коксового каркаса. Кроме того, использовано новое жидкое фенольное связующее с высокой долей углеродистого остатка.

Испытания проведены на высокоэнерговооруженных печах ДСП-130, оборудованных комплексом стеновых горелок на трех предприятиях.

Максимально достигнутая ранее стойкость рабочего слоя футеровки стен на одном из предприятий с использованием флюса марки ФОМИ составляла 502 плавки. При гарантии стойкости рабочего слоя футеровки стен 750 плавков также с использованием флюса ФОМИ была получена стойкость 805 плавков. Удельный расход опытных изделий за кампанию составил 0,648 кг/т. Средний удельный расход ФОМИ 17,5 кг/т. Остаточная толщина изделий по всему периметру шлаковой зоны составляла от 100 до 300 мм (от 22 до 67 % первоначальной толщины), ниже шлакового пояса в зоне металла — от 300 до 400 мм (от 66,7 до 88,9 % первоначальной толщины). Стойкость футеровки ДСП в следующей кампании при использовании новых огнеупоров в сочетании с флюсом марки ФОМИ подтвердила полученный ранее результат — 803 плавки.

В настоящее время в стадии изготовления по новой технологии находятся периклазоуглеродистые огнеупоры для футеровки ДСП еще для трех предприятий.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯТОР ВР-350 (ВРП-350). ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ

© **В. С. Байздренко, В. Е. Сошкин, М. В. Кумарин**

Компания «Волокнистые огнеупоры», г. Тольятти Самарской обл., Россия

В докладе представлен высокотемпературный волокнистый теплоизолятор ВР-350 и ВРП-350 (войлок «мокрый») на алюмосиликатной основе, разработанный в компании «Волокнистые огнеупоры» и производимый на ее производственной базе. Рассмотрены физические и технологические свойства материала применительно к термоизоляции элементов конструкций

тепловых агрегатов. Уделено внимание уникальным свойствам материала.

Изложена практика применения огнеупорного материала ВР-350 на предприятиях металлургии, машиностроения и газовой отрасли (иллюстрации и комментарии): ЕВРАЗ НТМК, НЛМК, Кировский завод (Санкт-Петербург), Воткинский завод, Газпром.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ВИБРОФОРМОВАННЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОВША

© К. т. н. **О. Б. Воронина**¹, **А. А. Мелихов**¹, **М. В. Агишева**², **А. В. Власов**²

¹ ООО «ТПП «Феррокомплекс», Москва, Россия

² ООО «Промресурс», Москва, Россия

Современное развитие технического прогресса предъявляет высокие требования к качеству выпускаемой стали. Важное значение в повышении качества имеет конструкция футеровки промежуточного ковша. Для максимального удаления в шлак из жидкой стали неметаллических включений и получения равномерной структуры слитка многие современные промежуточные ковши оборудуют струегасителями и перегородками. Перегородки и струегасители в зависимости от конструкции ковша имеют различную конфигурацию и производятся методом вибро-

формования из огнеупорных бетонов различного состава. Состав применяемого бетона определяется условиями эксплуатации изделий, химическим составом шлаков промежуточного ковша, который зависит от сортамента разливаемых сталей и применяемых ШОС и ТИС.

ООО «Промресурс» и ООО «ТПП «Феррокомплекс» производят и поставляют перегородки из бетонов глиноземистого состава с содержанием Al_2O_3 50 и 80 %. Изделия успешно применяют при разливке низкоуглеродистых и марганцовистых сталей. Первоначально перегородки и струега-

сители производились из импортного бетона 400008. Изделия применяли на МНЛЗ с преимущественной разливкой марганцовистых сталей. Основной износ перегородок наблюдался по шлаковому поясу за счет химического и абразивного воздействий движущихся слоев жидкого шлака. В результате этого к концу кампании износ в шлаковом поясе перегородок достигал 80 % от первоначальной толщины; нередко были случаи полного прогара перегородки.

Для исключения прогаров перегородок и увеличения надежности таких изделий техническими специ-

алистами ООО «ТПП «Феррокомплекс» и ООО «Промресурс» разработаны бетоны марок 400033 и 400035 на основе сырьевых материалов отечественного производства с повышенной устойчивостью к химическому и абразивному воздействиям шлака в промежуточном ковше. В результате перехода на производство виброформованных изделий из разработанных бетонов 400033 и 400035 износ перегородок в промежуточном ковше по шлаковому поясу снизился с 80 до 18 %.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ГОРЕЛОЧНЫЕ КАМНИ ДЛЯ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

© Р. А. Дониц, Р. Ш. Назмутдинов

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

Разработана и освоена технология изготовления горелочных камней для стекольной промышленности марки MAGSTONE A60A следующего химического состава, мас. %: 57,1–61,7 Al_2O_3 , 2,13–2,18 MgO , 34,0–35,7 SiO_2 , 0,57–1,70 CaO . Изделия изготовлены на основе андалузитов методом виброформования с последующей термообработкой при 300 °С. Состав универсален, изделия могут применяться в различных тепловых агрегатах при температурах от 1200 до 1700 °С. Изделия марки MAGSTONE A60A характеризуются следующими показателями (в скобках — после термообработки при 1000/1500 °С): предел прочности при сжатии 75,4–84,6 (122,2/269,6) МПа, кажущаяся плотность 2,6–2,7 (2,67/2,66) г/см³, открытая пористость 12,2–14,3 (14,2/11,9) %, температура начала деформации 1690 °С.

Горелочные камни марки MAGSTONE A60A были установлены в горелочные узлы стекловаренной печи ЗАО «Южноуральская межрегиональная энергетическая компания» попарно в 2013 г., один комплект в сентябре, второй в декабре соответственно на левую

и правую стороны. Такое применение вызвано нестабильной работой в агрегате стандартных муллитокорундовых блоков, срок эксплуатации которых варьировался от двух недель до 6 мес. Обычно замену горелочных блоков проводят на работающей стекловаренной печи, при этом температура в рабочем пространстве стекловаренной печи достигает 1500 °С. Перед установкой в футеровку горелочных зон блоки подогреваются на площадке у стекловаренной печи до температуры около 200 °С. Во вновь устанавливаемых в узел горелки блочных изделиях конфигурация сформированного выходного отверстия позволяет при зеркальном их размещении в кладке обеспечить факелу сходимость в общий пучок под углом 90°.

Основная причина удаления блоков — их скалывание, которое в итоге приводит к нарушению и изменению направленности факела. В декабре 2014 г. горелочные блоки марки MAGSTONE A60A удалили. При этом стойкость их в кладке узлов горелки стекловаренной печи составила 15 и 12 мес.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ ОГНЕУПОРНАЯ ПРОДУКЦИЯ БОГДАНОВИЧСКОГО ОАО «ОГНЕУПОРЫ»

© Е. А. Кондратьев, В. Ю. Соловьёв

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

В последние годы потребители огнеупоров стали предъявлять к огнеупорной продукции особо жесткие требования. Это обусловлено в первую очередь постоянным повышением производительности тепловых агрегатов за счет использования комплекса мощных технологических воздействий, основными из которых являются интенсивная продувка кислородом и внедрение новых прогрессивных высокотемпературных процессов.

Богдановичское ОАО «Огнеупоры» непрерывно ведет работу по исследованию, разработке и внедрению новых видов огнеупорной продукции, ориентируясь не только на изменения, происходящие у потребителя, но и на новые направления развития науки, техники и производства. В первую очередь стремительными темпами продолжает развиваться производственный участок по выпуску

неформованных огнеупорных материалов. В основной ассортимент продукции участка входит производство огнеупорного бетона различного состава и назначения на основе шамота, муллита, боксита, андалузита и корунда. Огнеупорная продукция изготавливается на современном оборудовании и по уникальной технологии. Большим спросом пользуются бетонные изделия, применение которых направлено как на повышение чистоты стали, так и на увеличение серийности разливки при непрерывной разливке стали на МНЛЗ — перегородки, пороги, металлоприемники, «бойные» плиты. На предприятии в промышленных масштабах налажен выпуск хромосодержащих стартовых смесей, предназначенных для защиты канала ковшевого стакана сталеразливочных ковшей от преждевременного проникновения металла. Получены

положительные результаты при испытании смесей на ряде сталеплавильных предприятий России (ОАО НСММЗ, ОАО «Ижсталь», ООО «УГМК-Сталь», ЗАО ВМК «Красный Октябрь», ООО РЭМЗ).

Один из последних успешных проектов — выпуск и реализация продукции, которая является не совсем традиционной для ОАО «Огнеупоры»; речь идет о продуктовой линейке изделий из материалов на основе MgO. В промышленных объемах реализован выпуск торкрет-масс с различным содержанием MgO, применяемых в рабочем слое футеровки промежуточного ковша. Также налажена технология производства порошков с различной массовой долей MgO для различных отраслей промышленности. Разработана и внедряется технология производства тонкостенной керамики — литниковая система с большим внутренним диаметром (до 150 мм), широко используемая в литейной промышленности. На предприятии постоянно внедряются современные технологии производства корундографитовых изделий, используемых в металлопрокате МНЛЗ для регулирования потока стали.

Перспективен также недавно созданный производственный участок, специализирующийся на выпуске

алюмосодержащих флюсов. Помимо отработки инновационных направлений, компания обеспечивает производство традиционной алюмосиликатной продукции в объемах, удовлетворяющих требования потребителя. При этом происходит постоянное обновление ассортимента — так, расширен ассортимент мертелей от шамотного до корундового состава, разработаны новые модификации набивных масс. Совершенствуется технология производства плавящихся материалов.

Обеспечение постоянного роста объема продаж продукции — одно из самых важных направлений деятельности, заданных маркетинговой стратегией предприятия. Основные направления включают: оптимальный и дифференцированный подход к ценообразованию продукции, создание торгово-технических представительства, расширение географии дистрибьюторской сети, диверсификацию производства по отраслям промышленности и регионам. В целом менеджментом компании обозначена основная стратегическая цель развития Богдановичского ОАО «Огнеупоры» — увеличение доли предприятия на рынках огнеупорной продукции и услуг России и стран ближнего и дальнего зарубежья.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

БИОРАСТВОРИМАЯ ВОЛОКНИСТАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

© В. К. Лялин, Е. Н. Дёмин

ООО «Спецогнеупоркомплект», г. Екатеринбург, Россия

В декабре 1998 г. была принята Директива Евросоюза 97/69/ЕС, устанавливающая требования по охране труда и технике безопасности при работе с изделиями на основе синтетических стеклоподобных волокон (MMVF). В соответствии с этой Директивой, если минераловатное (керамическое) волокно является биорастворимым, это снимает любые подозрения в его канцерогенности. Работа над получением таких волокон и совершенствование технологии идут уже довольно давно в Европе и США; этой проблемой занимаются более 20 лет. На сегодняшний день известны составы волокон и изучены

их свойства. Стоит вопрос в снижении стоимости волокон и получении широкого ассортимента биорастворимых волокнистых материалов для их применения в различных отраслях промышленности.

ООО «Спецогнеупоркомплект» совместно с компанией «Shandong Alert Soluble Ceramic Fiber and Equipment Co., Ltd», Китай, освоена технология изготовления биорастворимых волокон. Проведены исследования волокон, получены соответствующие документы и зарегистрирован товарный знак на продукцию из биорастворимых волокон.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИЗАЙНА И МАТЕРИАЛОВ ФУТЕРОВКИ СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ

© К. т. н. А. В. Можжерин, к. т. н. А. П. Маргишвили, к. т. н. В. А. Мусевич, к. т. н. А. П. Дука

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

Специалисты Боровичского комбината огнеупоров (БКО) уделяют большое внимание повышению стойкости и эффективности эксплуатационных характеристик футеровки сталеразливочных ковшей различных металлургических предприятий. Такой подход достигается за счет выполнения комплекса мер, способствующих достижению необходимого ресурса службы, минимизации тепловых потерь и необходимой температуры на кожухе теплового агрегата. К таким мерам относятся:

— разработка оптимального дизайна кладки, предварительный тепловой расчет с использованием прикладной программы TermoSoft;

- непрерывное совершенствование огнеупорных материалов для арматурного и рабочего слоев футеровки;
- улучшение физико-химических и эксплуатационных свойств изделий;
- комплексные поставки огнеупоров;
- техническое сопровождение поставок (инжиниринг и мониторинг).

Для арматурного слоя футеровки сталеразливочных ковшей разработаны усовершенствованные изделия муллитокремнеземистого состава с инновационным дизайном. Изделия максимально адаптированы к существующим условиям сталеплавильных процессов

(в том числе с высокой долей плавки с вакуумированием) и предназначены для максимального продления ресурса безаварийной эксплуатации арматурного слоя сталеразливочных ковшей. Коэффициент теплопроводности изделий обеспечивает минимальную температуру на броне (кожухе) сталеразливочных ковшей. Огнеупоры внедренного дизайна (форматов) облегчают процесс укладки контрольного слоя футеровки (в том числе с использованием мертелей производства БКО), минимизируют общее количество швов, формируют «гладкий» слой футеровки. Оптимизированные муллитокремнеземистые изделия уже нашли успешное серийное применение на СТЗ, ЧМК, ЕВРАЗ ЗСМК, ВТЗ, ОЭМК и на многих других предприятиях.

Для снижения удельных затрат на огнеупорные материалы испытаны периклазоуглеродистые изделия модернизированных форматов производства БКО для рабочего слоя футеровки 160-т сталеразливочных ковшей СТЗ. Стойкость опытных огнеупорных изделий с экспериментальным дизайном сопоставима со стойкостью обычно применяемых изделий. Во время подготовки к эксплуатации сталеразливочного ковша с опытной футеровкой отмечены следующие преимущества по сравнению с футеровкой из обычно применяемых огнеупорных изделий:

- снижение времени укладки рабочего слоя футеровки из-за применения огнеупорных изделий одного формата вместо двух;
- облегчение процесса укладки футеровки, минимизация общего количества швов;
- отсутствие остатков от футеровки (неликвидов), поскольку используется один формат;
- отсутствие проникновения металла в стыки огнеупоров в процессе службы.

По результатам положительной апробации продукции и достижения эффективности использования принято решение рекомендовать и внедрять разработанные изделия на другие предприятия: Северсталь, ЕВРАЗ ЗСМК, НЛМК и др. Применение улучшенных оксидоуглеродистых огнеупорных изделий, обладающих оптимизированными техническими характеристиками за счет использования сырьевых компонентов высочайшего качества и комплекса антиокислительных добавок, повышающих как сопротивление к выгоранию углеродистой составляющей, так и противостояние к механическим воздействиям в процессе эксплуатации сталеразливочных ковшей, позволяет БКО добиваться высоких показателей стойкости поставляемых комплектов футеровки и обеспечивать гарантируемые обязательства.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

САМОРАСТЕКАЮЩАЯСЯ ПЕРИКЛАЗОХРОМИТОВАЯ МАССА

© К. т. н. **М. И. Назмиев, Ю. В. Данилова, А. П. Лаптев**
 ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Разработан саморастекающийся периклазохромитовый бетон марки MAGCAST PCR45/10SF для заполнения стыка стенки и днища вакууматора. В качестве исходного материала использован плавильный хромитопериклазовый материал системы $MgO-Al_2O_3-Cr_2O_3$, содержание SiO_2 менее 2 %. Физические свойства бетона после обжига при 1650 °C: предел прочности при сжатии 123,6 МПа, кажущаяся плотность 3,15 г/см³, открытая пористость 16,0 %, дополнительная линейная усадка 0, температура начала деформации 1670 °C. Индекс растекаемости бетонной смеси по ГОСТ Р 52541–2006 составляет 175 % при добавлении воды в количестве 6,0–6,5 %.

Бетон марки MAGCAST PCR45/10SF испытан в зоне примыкания рабочего слоя футеровки дна и стен в вакуум-камере ЭСПЦ-2 ЧМК. При заливке отмечены

хорошие реологические свойства бетона, позволившие пролить узкие зоны толщиной до 25 мм. После планового вывода вакуум-камеры из эксплуатации стойкость футеровки составляла 9323 цикла при нормативной стойкости камеры 7800 циклов. Также с положительным результатом масса была испытана при бетонировании участка между внутренней футеровкой и металлоконструкцией патрубка вакуум-камеры: после вывода из эксплуатации при стойкости футеровки 8380 циклов патрубок был демонтирован. Установлено, что бетон в опытной зоне заполнил все пространство и имел плотную монолитную структуру. Бетон можно рекомендовать также для футеровки локальных зон других тепловых агрегатов, имеющих периклазохромитовую футеровку.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ВКВС НА ОСНОВЕ БОКСИТА С ДОБАВКАМИ ОГНЕУПОРНОЙ ГЛИНЫ КАК МАТРИЧНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ КЕРАМОБЕТОНОВ

© Д. т. н. **Ю. Е. Пивинский¹, П. В. Дякин², Л. В. Остряков³**

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

² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», Санкт-Петербург, Россия

³ ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

В конце 90-х годов прошлого века в ОАО «Динур» впервые в РФ освоено производство различных фор-

мованных и неформованных керамобетонов, полученных на основе ВКВС боксита как матричной системы

и различных огнеупорных заполнителей — боксита, электрокорунда, карбида кремния и др. При этом значительную долю этой продукции занимают бетонные смеси для монолитной футеровки желобов доменных печей (желобные массы), меньшую — фасонные огнеупоры в виде гнездовых блоков, горелочных камней, изделий МКТП-85. В зависимости от вида огнеупоров и метода формования в формовочных смесях для их получения содержание матричной системы (ВКВС) находится в пределах 25–35 % (по сухой массе). Для пластификации в состав формовочных смесей вводят добавки высокодисперсной огнеупорной глины от 1–2 % (вибролитые массы, статическое прессование) до 3 % (вибротрамбуемые набивные массы). Последние входят в состав матричных систем керамобетонов, и их содержание ВКВС в зависимости от

метода формования может колебаться в пределах 3–10 %.

Для оптимизации составов масс изучено влияние добавок от 1 до 10 % высокодисперсной нижеульевой глины, содержащей около 30 % Al_2O_3 , на свойства ВКВС боксита и отливок на ее основе, которые обжигали в интервале 800–1500 °С. При этом добавки в состав ВКВС вводили в виде предварительно полученной пасты с последующим интенсивным перемешиванием. Установлено существенное влияние содержания добавки глины на исходную пористость полуфабрикатов, усадку при сушке и спекании, пористость обожженного материала. Особое внимание в работе уделено мулитообразованию в материалах в процессе обжига при различных температурах.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА БЕТОНА СИСТЕМЫ $Al_2O_3-SiC-C$ © А. А. Ряплова¹, д. т. н. И. Д. Кашеев², С. А. Поморцев¹¹ ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия² ФГАУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Интенсификация процессов доменного производства, увеличение полезного объема доменных печей и повышение их производительности значительно ужесточают условия службы желобов, сокращают межремонтный период. Низко- и ультранизкоцементные желобные массы системы $Al_2O_3-SiC-C$ обладают высокими эксплуатационными свойствами и представляют интерес с позиции расширения областей их применения путем модифицирования и усовершенствования состава.

Для улучшения физико-механических и термических свойств виброналивных желобных масс системы $Al_2O_3-SiC-C$ проведены лабораторные исследования. Оптимизация состава бетона позволила повысить его предел прочности при сжатии на 20 %, снизить открытую пористость на 10 %, увеличить термостойкость (> 30 теплосмен), улучшить растекаемость при содержании воды затворителя до 5,0 %. Для уменьшения содержания воды в качестве очень эффективных матричных компонентов применяли материалы с мультимодальным распределением частиц. При использовании в составе бетона компонентов, имеющих широкий диапазон частиц разных размеров, происходят увеличение плотности упаковки структуры и снижение воды затворения.

При испытаниях бетона на основе корунда с 30 % SiC возникали проблемы из-за высокого износа бетона при повышенной температуре. Замена плавного корунда на табулярный глинозем решила эту проблему и снизила удельные затраты. Кажущаяся плотность табулярного глинозема (3,55 г/см³) на 11 % ниже, чем у плавного корунда (3,95 г/см³), что объясняется наличием небольших внутрикристаллических (закрытых)

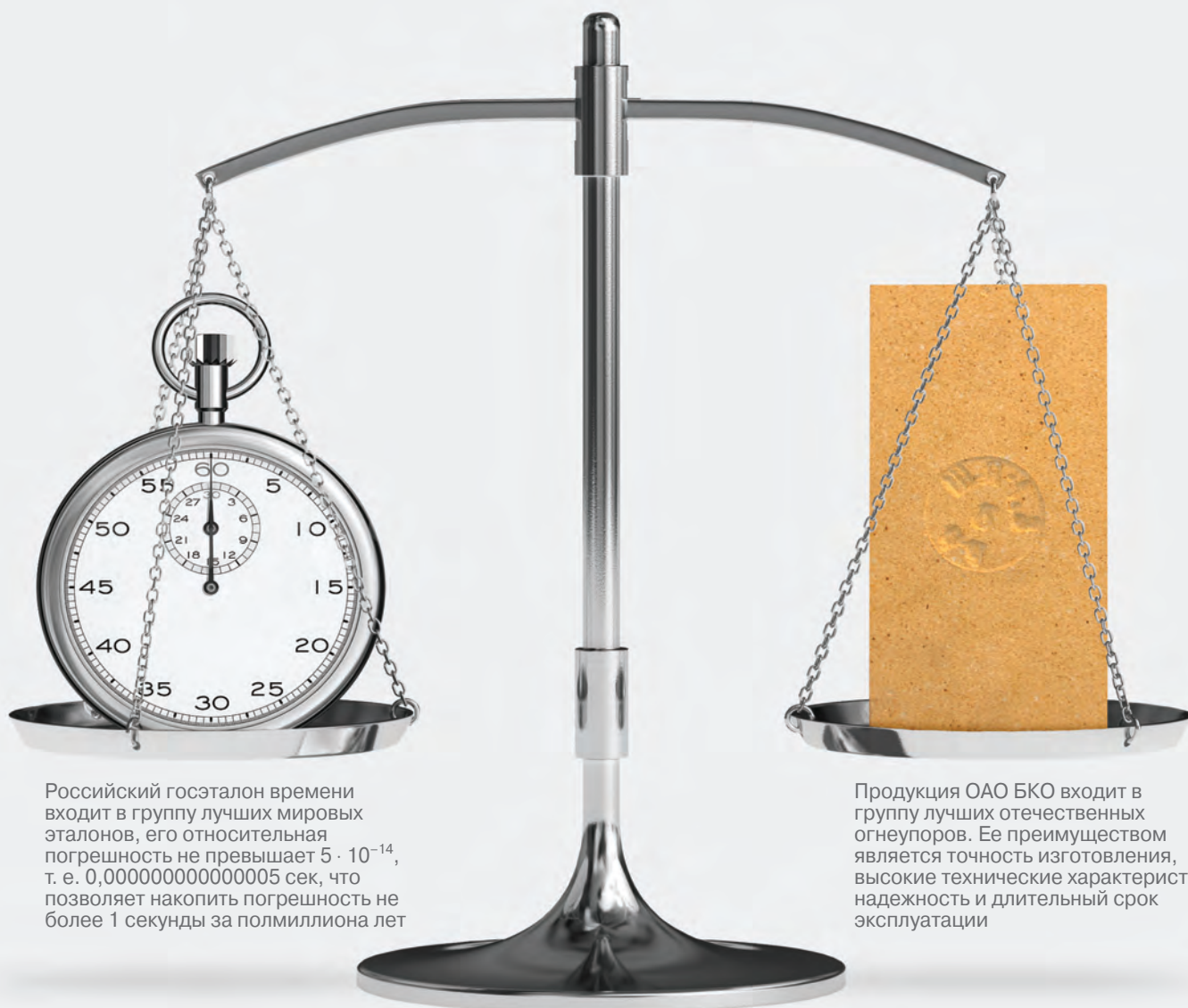
пор размерами менее 10 мкм. Эти поры непроницаемы для шлака, значительно повышают термостойкость материала. Для улучшения прочности бетона и защиты от окисления углерода в шихту вводили антиокислительные добавки. По результатам испытаний добавка антиоксиданта повысила предел прочности при сжатии после термообработки образцов при 1450 °С на 10 МПа.

Для армирования бетона использовали углеродные волокна длиной до 4 мм. При проведении испытаний его разрушение происходило не сразу, а постепенно. Вначале в материале образовывались микротрещины, число которых постепенно увеличивалось. Образование сплошной трещины происходило при более значительной величине деформаций, чем в обычном огнеупоре. Повышенное сопротивление удару и устойчивость к раскалыванию бетона с углеродной фиброй — следствие поглощения большого количества энергии при натяжении волокон в результате различных внешних физических воздействий. Благодаря этому добавление фибры в бетон повышает его трещиностойкость, способность к деформациям, обеспечивая устойчивость к раскалыванию, разрушению краев соединений бетонных конструкций и ударам.

Таким образом, полученные результаты лабораторных испытаний бетона системы $Al_2O_3-SiC-C$ показывают улучшение его качественных и эксплуатационных характеристик. В дальнейшем для достижения высокой химической стойкости к расплавам доменного шлака необходимо снизить до минимума содержание CaO, используя в качестве вяжущего кальцинированный и гидратируемый глинозем.



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ



Российский госэталон времени входит в группу лучших мировых эталонов, его относительная погрешность не превышает $5 \cdot 10^{-14}$, т. е. 0,000000000000005 сек, что позволяет накопить погрешность не более 1 секунды за полмиллиона лет

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

ВРЕМЯ ОПРЕДЕЛЯЕТ КАЧЕСТВО

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «БОРОВИЧСКИЙ КОМБИНАТ ОГНЕУПОРОВ» – СТАРЕЙШЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ОТРАСЛИ, ВЫПУСКАЮЩЕЕ БОЛЕЕ 300 ТЫС. ТОНН ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И 200 ТЫС. ТОНН ПРОПАНТОВ В ГОД. ПРЕДПРИЯТИЕ РАСПОЛАГАЕТ ЗАПАСАМИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ, ИМЕЕТ СОВРЕМЕННУЮ ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ И НАУЧНУЮ БАЗЫ, АККРЕДИТОВАННЫЕ В СИСТЕМЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ, ИСПЫТАТЕЛЬНУЮ И МЕТРОЛОГИЧЕСКУЮ ЛАБОРАТОРИИ, КВАЛИФИЦИРОВАННЫЕ КАДРЫ

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

WWW.OAOBKO.RU

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**ГЛИНОЗЕМОШПИНЕЛЬНЫЙ И ГЛИНОЗЕМОМАГНЕЗИАЛЬНЫЙ БЕТОНЫ
ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**© К. т. н. **А. В. Сакулин**, к. т. н. **В. В. Скурихин**, **О. С. Кузнецова**, **И. А. Гвоздева**
ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров», г. Боровичи Новгородской обл., Россия

Требования к огнеупорным материалам монолитной футеровки можно сформулировать следующим образом: высокие огнеупорность, термомеханические показатели, эрозионная стойкость, шлакоустойчивость, термодинамическая устойчивость. Механизмы износа футеровки в отдельных зонах сталеразливочного ковша отличаются друг от друга. Стены ковша испытывают меньшие механические нагрузки, тогда как футеровка дна, особенно зона падения струи металла, подвергается наибольшему эрозионному воздействию. Постоянство объема — главное требование к футеровке дна ковша, которое позволяет предупредить образование трещин. Для монолитной футеровки стен наибольшее применение получили глиноземошпинельные и глиноземомагнезиальные бетоны.

Исследовательским центром ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров» разработаны и внедрены в производство глиноземошпинельный и глиноземомагнезиальный бетоны. Бетонная смесь глиноземошпинельного состава марки BORCAST-1 выпускается ОАО БКО с 2003 г. и используется для изготовления различных монолитных элементов футеровки сталеразливочных и промежуточных ковшей, гнездовых блоков сталеразливочного узла, элементов свода крышки дуговых сталеплавильных печей.

В 2012–2014 гг. для футеровки сталеразливочных ковшей ОАО БКО разработаны составы глиноземомагнезиальных бетонов, имеющих повышенную устойчивость к расплаву металла, высокие механическую прочность и плотность. Это было достигнуто благодаря оптимально подобранной дисперсности материалов, использованию высокочистых сырьевых компонентов (табулярного глинозема), а также супер- и гиперпластификаторов нового поколения. Помимо этого, для компенсации расширения и достижения необходимой технологичности бетона в его состав вводили добавку микрокремнезема.

В настоящее время в условиях конвертерного цеха № 2 НЛМК серийно применяется глиноземомагнезиальный бетон марки BORCAST-96 WTA. Рекомендованный специалистами ОАО БКО график сушки этого бетона позволяет обеспечить максимально равномерное удаление влаги по всему объему футеровки за 58 ч. Идя навстречу пожеланиям заказчиков, для снижения длительности сушки монолитной футеровки с 58 до 42 ч и исключения ее взрывного растрескивания специалистами исследовательского центра ОАО БКО проведены лабораторные исследования, направленные на оптимизацию вещественного состава шихты этого бетона. Вновь разработанной смеси присвоена марка BORCAST-96 WTP. Бетон испытан в условиях КЦ-2 НЛМК без снижения стойкости.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**ШПИНЕЛЕОБРАЗУЮЩИЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ
СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ**© К. т. н. **Т. В. Ярушина**, **М. Ю. Латкин**
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Продуктовая линейка углеродсодержащих огнеупоров Группы Магнезит представлена широким ассортиментом продукции и насчитывает более 100 марок. Несколько лет назад она была дополнена шпинелеобразующими огнеупорами — алюмопериклазоуглеродистыми марки АПУ-70 и периклазоалюмоуглеродистыми марки ПАУ-65. Однако промышленное внедрение новые технологии получили только в 2014 г. после серии предварительных испытаний в службе на ряде российских металлургических предприятий. При выборе схемы футеровки сталеразливочных ковшей учитывают разнообразные параметры, влияющие на срок службы огнеупорных материалов. Это максимальная рабочая температура, состав шлака (например, отношение CaO/SiO_2 , наличие Al_2O_3 и CaF_2 и др.), количество плавов в сутки, кислородный потенциал, внеплановые простои и их продолжительность, работа под вакуумом, влияние продувки газом и другие.

Исследование огнеупоров после службы в сталеразливочных ковшах показало, что важным пре-

имуществом изделий марок АПУ-70 и ПАУ-65 является образование при температуре эксплуатации алюмомагнезиальной шпинели, что сопровождается необратимым расширением. При этом происходят уплотнение горячей (рабочей) поверхности футеровки, закрытие швов и снижение открытой пористости структуры; минимизируется инфильтрация стали в футеровку. На рабочей поверхности огнеупоров образуется защитный слой из комбинации фаз с высокой и средней температурой плавления (в результате химической реакции между шлаком и алюмомагнезиальной шпинелью), предохраняющий огнеупорный материал от износа. Отличительной особенностью изделий марки АПУ-70 является их устойчивость к абразивному износу, что особенно важно в зоне удара струи металла в дно сталеразливочного ковша. Испытания в службе показали, что изделия марки АПУ-65 более предпочтительны перед изделиями марки ПАУ-65 для использования в стенах сталеразливочных ковшей из-за их высокой термостойкости и малой склонности к растрескиванию.

ПРОИЗВОДСТВО ОГНЕУПОРОВ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРИКЛАЗОХРОМИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ
ДЛЯ СВОДОВ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

© К. т. н. Т. В. Ярушина, И. Г. Маряев

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

В качестве сырья для производства периклазохромитовых огнеупоров марки ПХС, предназначенных для сводов тепловых агрегатов черной и цветной металлургии, Группа Магнезит традиционно использует спеченный периклаз собственного производства и природную хромовую руду с пониженным содержанием примесей сопутствующих минералов. После разработки и внедрения в серийное производство технологии получения периклазохромитового клинкера с массовой долей Cr_2O_3 до 25 мас. % путем спекания пылевидных фракций хромита и синтетического магнезиального материала появилась возможность реализации в широком промышленном масштабе высокоэффективного способа повышения качества и эксплуатационной стойкости огнеупоров.

Эффект от реализации новой технологии обусловлен тем, что при четком соблюдении технологических параметров производства периклазохромитового клинкера («со-клинкер»), в первую очередь максимальной температуры его синтеза и условий охлаждения в печи, удалось получить мелкопористый материал неравновесного состава, чувствительный к условиям повторной термообработки из-за обильного выделения

на границах кристалл – пора вторичного хромшпинелида. При использовании такого материала в качестве компонента шихты периклазохромитовых изделий при обжиге происходит интенсивное спекание за счет процесса массопереноса на границе периклаз – клинкер, что сводит к минимуму дефектность структуры получаемого конечного огнеупора и, как следствие, значительно улучшает его физико-технические и эксплуатационные характеристики.

Замена в составе ПХС-изделий природной хромовой руды на периклазохромитовый клинкер позволила получить более совершенный огнеупор со стабильно высокими качественными показателями, в частности с пределом прочности при сжатии 80–100 МПа, открытой пористостью до 15 % и температурой начала размягчения под нагрузкой не ниже 1580 °С. К особенностям микроструктуры новых огнеупоров относятся хорошее качество керамической связи между компонентами шихты, широко развитая и равномерно распределенная шпинельная фаза, а также значительное количество вторичных хромшпинелидов, предопределяющих повышенную износостойчивость огнеупоров в службе.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ**ОБОРУДОВАНИЕ ПО ОТСЕЧКЕ ШЛАКА С КОНВЕРТЕРА ВО ВРЕМЯ СЛИВА СТАЛИ
ИЗ КОНВЕРТЕРА В СТАЛРАЗЛИВОЧНЫЙ КОВШ**

© В. П. Андреев, А. Н. Медведев

Филиал компании «Пуянг Рефракториз (Групп) Ко., Лтд», г. Магнитогорск, Россия

На современном этапе развития производства стали на конвертерах достигнут значительный результат в шлакоограничительных методах, способных максимально сократить количество шлака, попадающего в сталеразливочный ковш, во время слива стали из конвертера. Но 100 %-ная отсечка шлака происходит при внедрении прогрессивного метода с использованием шибера затвора, дополненного системой «Инфракрасный луч». При этом достигается минимальное количество шлака на зеркале металла в сталеразливочном ковше — не более 40 мм. Вследствие этого сокращаются: количество вредных примесей в стали,

включая S и P; количество используемых ферросплавов; длительность обработки плавки на агрегатах внепечной доводки; количество синтетических шлаков и их аналогов; энергозатраты; затраты на огнеупоры для футеровки сталеразливочных ковшей.

Простота конструкции при внедрении системы отсечки шлака с помощью шибера затвора позволяет производить 100 %-ную отсечку шлака, исключить человеческий фактор и значительно снизить затраты при производстве стали в денежном эквиваленте. По опыту ведущих металлургических заводов в Китае, экономия составляет от 0,9 до 1,6 долл. США на 1 т стали.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ**ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ
ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

© К. т. н. И. С. Вохмякова, А. В. Стародумов, к. т. н. А. А. Солодухин

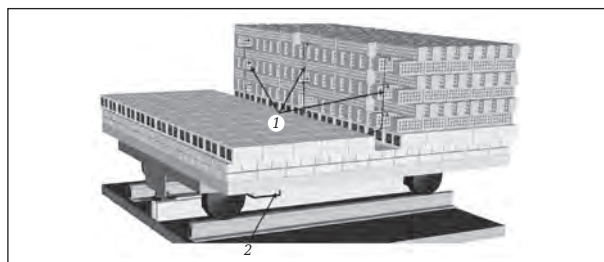
ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург, Россия

Термообработка является заключительной стадией в производстве огнеупорных материалов и изделий.

Сушка и обжиг изделий осуществляются в тепловых агрегатах при различной температуре в соответствии с

технологическими картами. При этом температура материала является основным технологическим параметром термообработки, который отслеживается по показаниям стационарных КИП (термопары, пирометры), расположенных в конструкциях теплового агрегата. Если сушка или обжиг происходит без перемещения материалов/изделий в рабочем пространстве, то температура может быть измерена в самом слое/садке. При движении материала/изделий, расположенных на поверхности перемещаемого модуля (вагонетка, тележка), измерение температурного поля с помощью стандартного оборудования затруднительно, и распределение температуры в слое/садке остается неизвестным. Распределение температуры в садке/слое определяет качество конечного продукта и является важной технологической информацией при производстве огнеупорных материалов/изделий.

В компании НПВП ТОРЭКС разработана система непрерывного мониторинга температуры «Термологгер», позволяющая оценивать тепловое состояние в слое/садке обрабатываемых материалов/изделий, расположенных на подвижном модуле. Измерение и регистрация температуры производятся при прохождении подвижного модуля по рабочей ветви теплового агрегата. Перемещающийся модуль, например вагонетку, оснащают датчиками и диагностическим оборудованием (см. рисунок). В садку изделий/материалов, расположенных на поверхности вагонетки, стационарно устанавливают термопары для контроля температуры в различных точках по ширине и высоте садки огнеупорных изделий. Количество термопар и зоны их установки определяют в зависимости от задач. Измерения ведут непрерывно в течение всего цикла термообработки. Регистрацию и хранение результатов измерений температуры осуществляют при помощи электронного регистратора, установленного на вагонетке, который передает данные в информационную сеть предприятия в режиме «on-line» либо после завершения термообработки. Результаты измерений системы и показания стационарных КИП в автоматическом режиме синхронизируются по времени и местоположению вагонетки на рабочей ветви. Для обработки результатов термометрирования используется отдельная рабочая станция с программным обеспече-



Оборудование системы «Термологгер» на вагонетке: 1 — гибкие термопары; 2 — регистратор

нием для хранения и обработки результатов измерений. Результаты измерений отображаются в виде графиков на мониторе рабочей станции как в реальном времени, т. е. во время термообработки изделий, так и после ее завершения.

Система мониторинга температуры «Термологгер» применима к использованию в высокотемпературных тепловых агрегатах, так как электронное оборудование расположено в термозащитном мобильном корпусе для исключения воздействия высокой температуры и электропроводной пыли, что сказывается на продолжительности срока эксплуатации. Применение системы позволяет определять температурное поле в слое/садке материала в реальном времени, снизить количество брака и повысить качество выпускаемой продукции, обеспечить рациональное использование энергоресурсов, корректировать режим тепловой обработки при изменении состава исходного сырья. Использование системы «Термологгер» не требует конструктивных изменений действующего технологического оборудования, а ее удобный и легкий интерфейс позволяет обучиться персоналу за короткое время. Широкий функционал, малогабаритное мобильное оборудование, широкая доступность ЗИП, невысокая стоимость системы «Термологгер» являются отличительными особенностями по сравнению с аналогами.

Система «Термологгер» реализована и успешно применяется при проведении теплотехнических обследований обжиговых конвейерных машин для производства окатышей, агломерационных машин, туннельных печей для обжига керамических изделий, шахтных печей на различных предприятиях России, Украины, Казахстана, Ирана и Бразилии.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПРИНЦИПЫ МОДЕРНИЗАЦИИ ШАХТНЫХ ПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

© В. И. Матюхин, А. В. Матюхина, О. В. Матюхин

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

Шахтные плавильные печи характеризуются высокой эффективностью работы, значительной возможной удельной производительностью (по расплаву до 150 т/м² в сутки), высоким тепловым КПД (до 60–70 %), относительной простотой управления тепловым и газодинамическим режимами, низким уровнем эксплуатационных затрат и слабой зависимостью их

технично-экономических показателей от вида сырья. Однако работа существующих конструкций этих печей даже в современном исполнении отличается низкими технико-экономическими показателями. Это выражается в недостаточной производительности агрегата (4,0–4,5 т/ч вместо 6,0), повышенном расходе кокса (270 кг кокса/т расплава вместо 150–200), температу-

ре перегрева расплава не выше 1400 °С. Попытки поднять ее уровень путем подачи дополнительного воздуха на вагранку приводит к повышению давления в рабочем пространстве, что сопровождается выбросами расплава через сифон. Такое состояние плавильного агрегата связано в первую очередь с неудовлетворительным состоянием ее тепловой и газодинамической работы.

В этой связи основными направлениями реконструкции шахтных плавильных печей следует считать:

- оптимизацию конструкции фурменного пояса (диаметр, количество, угол наклона и др.) на основе данных физического и математического моделирования процесса газораспределения, позволяющую обеспечить наилучшее использование сечения агрегата для процесса шахтной плавки. Это мероприятие позволит при относительно небольших затратах повысить производительность шахтной печи как минимум на 10–15 %;
- оптимизацию режима воздушного дутья по его расходу применительно к изменившимся условиям;
- оптимизацию конструкции и параметров газоотводящего тракта при наличии системы дожига.

Опыт реконструкции аналогичных тепловых агрегатов (чугунолитейная вагранка, шахтные агрегаты обжига известняка, шахтные агрегаты прямого восстановления железа, шахтные печи цветной металлургии) показывает, что она может быть осуществлена поэтапно при относительно низких капитальных затратах. Экспериментальные данные позволяют прогнозировать после реализации предлагаемых технических решений:

- увеличение производительности агрегата на 15–20 % или снижение расхода топлива на 15–20 %;
- снижение объема пылевыноса и газообразных выбросов из рабочего пространства на 20–25 %;
- усиление динамики агрегата в переходные периоды;
- повышение равномерности химического состава получаемого расплава.

Богатый производственный опыт модернизации шахтных печей позволил разработать принципиальный подход к созданию их рациональной конструкции и установлению оптимальных технологических параметров, внедренных на ряде предприятий Урала.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕЛКОЙ ФРАКЦИИ ГИПСА В УСЛОВИЯХ РОТОРНО-ВИХРЕВОГО АГРЕГАТА

© Е. Г. Подковыркин, В. И. Матюхин, И. А. Павлова, А. В. Матюхина
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Ограниченный парк существующих тепловых агрегатов для обжига мелкодисперсных материалов (вращающиеся печи, печи кипящего слоя и циклонные агрегаты) и их конструктивные недостатки не способны обеспечить необходимое время тепловой обработки и условия достижения требуемых качественных показателей. Для частичного преодоления этих затруднений предлагается к промышленному применению роторно-вихревой агрегат, выполненный в виде неподвижной цилиндрической циклонной печи со встроенным механизмом перемещения материала — ротором, имеющим перегребы полки. При этом поступательное движение слоя материалов по длине печи определяется углом наклона корпуса реактора. Изменяя число оборотов ротора, управляют временем обработки материала в реакторе. Ввод теплоносителя в реактор производится тангенциально через сопло, определяющее начальный скоростной режим газового потока. Материал, поступающий в реактор, движется по спирали навстречу потоку газов в осевом направлении при использовании противоточной схемы или совместно с потоком газов при использовании прямотока. Тангенциальный ввод скоростного потока теплоносителя и развитая тепловоспринимающая поверхность материала обеспечивают высокую интенсивность нагрева материала.

На экспериментальной полупромышленной установке длиной 2,0 и диаметром 0,5 м определены ра-

циональные условия взаимодействия теплоносителя с движущимся пересыпающимся слоем, разработана методика теплового и конструктивного расчетов предлагаемого агрегата при требуемых показателях работы. Установлено, что использование высокоскоростного тангенциального потока теплоносителя позволяет увеличить зону интенсивного теплообмена по длине реактора, получить при равных условиях более высокую температуру подогрева материала при тепловом КПД не ниже 70 %. Возможность обеспечения герметичности рабочего пространства и циклонный механизм движения газов и материалов определяют низкий уровень пылевыноса мелкой части материалов (не более 1,5 %).

Для оценки возможностей предлагаемой конструкции были выполнены экспериментальные исследования процесса обжига гипсового камня с исходной влажностью 9,1 % средним гранулометрическим составом менее 2,0 мм. Гипсовый камень по химическому составу в соответствии с ГОСТ 4013 может быть отнесен ко второму классу. Варьируя максимальную температуру обжига в пределах 400–600 °С и общее время тепловой обработки от 4 до 8 мин, установили, что необходимое время помола обожженных материалов имеет минимальное значение при температуре обжига 460–480 °С и длительности тепловой обработки около 5,8 мин. При этом пониженные температуры и длительность обжига способствуют сохранению исходной

прочной структуры и требуют увеличения длительности помола. При определении сроков схватывания полученных образцов установлено, что все пробы гипса являются быстротвердеющими, а нормальная густота полученных гипсовых вяжущих при водопотреблении 56,7 % достигается при температуре обработки 400 °С, при водопотреблении 50 % — выше 500 °С. Показано,

что при варьировании максимального уровня температуры тепловой обработки и продолжительности этой стадии возможно получение гипсового вяжущего марок (в зависимости от прочности) в пределах Г3 – Г12. Используя конструкцию роторно-вихревого агрегата можно достичь условий формирования даже структуры экстрих-гипса.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

КАСКАДНАЯ ОТМЫВКА ШЛАКОВ

© К. т. н. В. Б. Пономарёв, А. В. Катаев, П. А. Большаков

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

Производство металлов и сплавов связано с образованием значительного количества попутных продуктов, представляющих собой отходы производства. Лишь незначительная часть шлаков утилизируется, основная их масса складывается в отвалах и специальных хранилищах. Вторичная переработка шлаков позволяет выделить из них большое количество ценных компонентов, таких как металлический алюминий, глинозем, кремнезем, хлориды щелочных металлов и др. Так, в промышленности строительных материалов широко используют солевые шлаки алюминиевого производства с содержанием в них хлоридов до 5–6 %. Технологией их переработки предусматривается извлечение водорастворимых солей натрия и калия. Наиболее производительным является активное выщелачивание в аппаратах с интенсивным движением жидкости. Никелевые шлаки нашли применение в производстве абразивных порошков для пескоструйной обработки изделий. В этом случае требуется получение определенных фракций порошкообразных материалов с минимальным загрязнением их пылевыми частицами.

В промышленности для сепарации материалов наиболее распространены гидравлические конусные классификаторы. Основным недостаток этих аппаратов — низкая эффективность отмывки. Повышения эффективности работы технологических аппаратов возможно с применением принципа «каскадности». Авторами разработана конструкция вертикального каскадного гидросепаратора, представляющего собой вертикальную шахту с установленными в шахматном порядке пересыпными наклонными полками. Подача воды осуществляется через распределительную решетку в нижней части шахты. Отмытый продукт собирается в бункере под аппаратом, пылевые

и илистые фракции сливаются через верхний обрез шахты. Поступающий сверху исходный материал многократно промывается восходящим потоком воды и освобождается от мелких пылевых частиц. При этом движущиеся вверх «случайные» крупные зерна имеют тенденцию к возврату вниз в верхних секциях аппарата.

Эксперименты по отмывке никелевого шлака проводили с производительностью по исходному питанию 120 кг/ч при 4-скоростных режимах движения воды: 5, 7, 30 и 38 м³/мин. Результаты исследований показали, что даже при спокойном течении воды 5–7 м³/мин происходит качественная отмывка шлака, подтверждающаяся отсутствием мутности в контрольном сосуде. При развитом турбулентном режиме (38 м³/мин) визуально наблюдается образование над- и подполочных вихрей, улучшающих расслоение частиц шлака, однако при этом небольшое количество крупных зерен попадает в отстойник.

Скорость осаждения U твердых частиц в воде можно определить по формуле Стокса

$$U = \frac{Kgd^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{в}})}{18\eta},$$

где K — коэффициент формы частиц; g — ускорение свободного падения, м/с²; d — диаметр частиц, м; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частиц, кг/м³; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды, кг/м³; η — динамическая вязкость воды, Па·с. Для дробленых материалов осколочной формы частиц рекомендуется $K = 0,4 \div 0,8$. Если принять максимальный диаметр частиц исходного продукта $d = 0,005$ м, получим $U = 12,95$ м/с. Для лабораторного аппарата с площадью сечения $F = 0,01$ м² расход воды составит 7,7 м³/мин, что вполне согласуется с данными лабораторного эксперимента.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

© К. т. н. В. Б. Пономарёв, А. Б. Лошкарёв, В. С. Кузнецов

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

Гранулометрический состав исходного или размолотого материала не всегда отвечает технологическим

требованиям. В соответствии с технологическими требованиями сырьевые материалы, как правило,

требуют дополнительной оптимизации фракционного состава. Например, гранулометрический состав кварцевого песка для стекольного производства не должен содержать зерен крупнее 630 мкм, а фракционный состав известняка не должен содержать более 6 % частиц фракции мельче 100 мкм. Доля частиц фракции мельче 500 мкм широко применяемого в огнеупорном производстве шамотного порошка (ШКВ-1, ШКВ-2, ШКВ-3) допускается не более 25 %.

В данной работе рассматривается задача получения строительного щебня фракции 5–10 мм из отходов дробления горных пород. Цель работы — создание пневмокласификатора для удаления пылевидных частиц фракции мельче 160 мкм. Конечное содержание фракции мельче 160 мкм в готовом продукте — песках (< 5 мм) должно составлять не более 5 %. Производительность линии по исходному питанию 115 т/ч. В исходном материале содержание фракции мельче 160 мкм составляет 15–20 %. Наиболее эффективно поставленную задачу можно решить на поперечно-поточном классификаторе с наклонной жалюзийной решеткой.

В данном аппарате исходный продукт поступает на верхнюю часть жалюзийной решетки, набранной из ряда плоских параллельных пластин. Проходящий сквозь зазоры между пластинами воздушный поток провеивает пересыпающийся по решетке полидисперсный материал. Мелкие фракции увлекаются потоком в пылеулавливающие устройства. Обеспыленные крупные зерна попадают в сборный бункер готового продукта. При проведении испытаний визуально наблюдались большой отскок крупных зерен от решетки классификатора и чрезмерное пылевыделение над жалюзийными пластинами. При этом на

пластинах жалюзи обнаружилось налипание пылевых частиц.

Для уменьшения пыления был разработан и установлен кожух над жалюзийной решеткой с открытой нижней частью, причем площадь открытого сечения в нижней части кожуха равнялась общей площади щелей, образованных пластинами решетки. При одних и тех же технологических параметрах модернизация классификатора привела к уменьшению выхода крупного продукта с 75 до 72 %, т. е. интенсифицировался процесс удаления пылевых частиц. При этом острота сепарации по критерию Эдера – Майера возросла с 53 до 57 %.

Результаты экспериментов показали, что для получения готового продукта с загрязнением фракцией мельче 0,160 мм не более 5 % при объединении мелко- и среднего продуктов требуемая скорость воздушного потока должна составлять 0,88 м/с; при этом выход готового материала 72 %. Для получения продукта с содержанием фракции мельче 0,160 мм менее 5 % при объединении среднего и крупного продуктов скорость потока необходимо увеличить до 1,18 м/с; при этом выход готового материала составит 76 %. Кроме того, при такой организации процесса для разгрузки промежуточного продукта из осадительной камеры не требуется герметичный питатель. В модернизированной осадительной камере можно предусмотреть щелевое отверстие для разгрузки промежуточного продукта с площадью сечения, равной площади единичного канала решетки.

Проведенные конструкторские расчеты показали, что при заданной производительности 115 т/ч размеры жалюзийной решетки составят 1000 × 3500 мм, а энергозатраты на сепарацию продукта — менее 1 кВт/т.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

СОРТИРОВКА СЫРОГО МАГНЕЗИТА НА ДРОБИЛЬНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКЕ ОАО «КОМБИНАТ «МАГНЕЗИТ»

© А. В. Савченко

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

В течение 2012 г. в двух отделениях дробильно-обогательной фабрики комбината «Магнезит» введены в эксплуатацию три автоматические системы сортировки сырого магнезита. Это оборудование успешно эксплуатируется и в настоящее время. Система сортировки представляет собой комплекс оборудования, состоящий из следующих основных узлов: лазерного потокового анализатора MAYA 6060, системы разделения материала (автоматический шибер). Суть работы системы: сырой магнезит фракции мельче 150 мм подается на ленту, над которой установлен лазерный потоковый анализатор. Данные химического состава сырого магнезита в режиме реального времени передаются на компьютер, управляющий узлом сортировки, шибер направляет материал по данным среднего химического состава в соответствующий бункер.

Введенные в эксплуатацию потоковые анализаторы и система сортировки дали возможность отсортировать из потока качественного сырого магнезита материал с иным химическим составом, а также извлечь из потока низкосортного магнезита дополнительный объем качественного сырья. Работа трех систем сортировки позволяет подавать на обжиг сырой магнезит различных марок с гарантированным качеством по химическому составу. Опыт эксплуатации таких систем сортировки указывает на то, что они также могут быть использованы в составе дробильно-сортировочных комплексов непосредственно на местах добычи и первичного дробления рудных материалов, а также для контроля готовой продукции.

ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ

ШИБЕРНЫЙ ЗАТВОР СИСТЕМЫ NOVALCO®

© В. Ю. Столярова, Г. Эрнандэс
Компания DEGUISA, г. Амуррио, Испания

Система NOVALCO®, изготовленная и запатентованная компанией DEGUISA, Испания, подходит для работы в любых условиях: разливка в изложницы, вакуумная дегазация, рафинирование в ковше или регулирование потока расплавленного металла на МНЛЗ. Прямолинейное движение затвора позволяет контролировать истечение металла из сталеразливочного ковша, обеспечивая точное регулирование струи расплавленного металла и гарантируя безопасность процесса разлива. Механизм шиберного затвора NOVALCO® производится в нескольких форматах с разным дизайном огнеупоров, что позволяет адаптироваться к любым условиям работы. Модель шиберного затвора зависит от марки стали и специфики оборота сталеразливочных ковшей.

В конструкцию шиберного затвора входят огнеупоры, необходимые для регулирования струи металла. Уникальная конструкция затвора позволяет быстро и просто заменять огнеупорные изделия без снятия затвора. Система крепления позволяет легко снимать и устанавливать шиберный затвор на дно ковша. Система NOVALCO® работает с применением газовых пружин, что гарантирует плотный контакт между огнеупорными элементами независимо от температуры службы затвора. Охлаждение воздухом затвора с газовыми пружинами необязательно. Пружины легко проверяются и меняются при каждой замене огнеупоров. Расположение огнеупорных изделий в шиберном затворе гарантирует равномерное распределение давления и прочный контакт между ними, а также в зоне сталеразливочного отверстия.

Сегодня система NOVALCO® работает на 40 % ковшей Испании. Шиберный затвор DEGUISA устанавливается на ковши вместимостью от 30 до 200 т, диаметр сталеразливочного отверстия от 30 до 80 мм. Последний металлургический завод, открытый в Испании, начал работать в 2012 г.; этот завод полностью оборудован системой NOVALCO®. Завод оснащен индукционными печами, установками печь-ковш, вакуумной дегазации, МНЛЗ. Дно сталеразливочного ковша имело некоторые особенности, что усложняло установку шиберного затвора. Однако этот недостаток был вскоре устранен. Инженерным отделом компании DEGUISA в результате тщательного изучения всех металлургических агрегатов завода был разработан шиберный затвор, полностью адаптированный к конкретным условиям разлива стали на заводе.

На заводе разливают сотни марок стали, что указывает на гибкость политики компании DEGUISA, активно реагирующей на прогрессивное развитие металлургических процессов и повышенные требования клиента. В этой связи компания DEGUISA работает совместно с Исследовательским технологическим центром Испании над созданием новых составов огнеупорных изделий, которые необходимы каждому металлургическому предприятию. На рынке СНГ в сотрудничестве с компанией «Кералит» компания DEGUISA представляет свои шиберные затворы. На сегодняшний день компания испытала 2 шиберных затвора на БМЗ, которые проработали в течение 4 мес. Шиберные затворы были установлены в дно ковшей без каких-либо затруднений.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЯЖУЩИЕ ИЗ ШЛАКОВ АЛЮМИНОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ИХ ОСНОВЕ

© К. т. н. В. А. Абызов, Д. А. Речкалов, С. Н. Черногорлов
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск, Россия

Широкое распространение в отечественной и зарубежной практике производства жаростойких и огнеупорных бетонов получили глиноземистые (ГЦ) и высокоглиноземистые цементы (ВГЦ). Перспективным и недорогим сырьем для получения этих вяжущих являются шлаки алюминотермического производства ферросплавов, богатые глиноземом.

В настоящее время на Ключевском заводе ферросплавов на основе шлака алюминотермической выплавки металлического хрома получают клинкеры высокоглиноземистого цемента (КВЦ-75, КВЦ-70 по ТУ 14-00186482-048-03 с содержанием Al_2O_3 70 и

75 % соответственно) и на основе шлака алюминотермической выплавки ферротитана — продукт плавки глиноземистый с повышенным содержанием CaO ППГ-65К (не менее 65 % Al_2O_3) по ТУ 0798-069-00186482-2011. Обладая высокой огнеупорностью, цементы из этих клинкеров и шлаков отличаются более медленным твердением, чем обычные ГЦ и ВГЦ по ГОСТ 969. Для ускорения твердения в раннем возрасте в данной работе цементы модифицировали добавкой отсева обогащения шлака алюминотермической выплавки безуглеродистого феррохрома (ППГ-50), который содержит значительное количество алюминатов

кальция — Ca и C_{12}A_7 . Это обеспечивает цементам быстрый набор прочности в раннем возрасте. Исследования проводили на цементах с удельной поверхностью 4200–4700 $\text{см}^2/\text{г}$. Регулирование сроков схватывания осуществлялось введением добавок сухих суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов. Активность в марочном возрасте для ГЦ составила не менее 50 МПа, для ВГЦ не менее 35 МПа. Огнеупорность разработанных вяжущих превышает 1400 °С для ГЦ, 1700 °С для ВГЦ (может меняться в зависимости от содержания в исходном сырье Al_2O_3).

На основе полученных вяжущих были разработаны ячеистые жаростойкие бетоны (газобетоны) на тонкомолотом шамотном и корундовом заполнителе. В качестве газообразователя применяли алюминиевую пудру ПАП-2, дополнительно вводили добавку щелочи — NaOH . Средняя плотность газобетона составляет 800–900 $\text{кг}/\text{м}^3$. Предел прочности при сжатии бетона на ГЦ 3,5–4,0 МПа, температура применения

до 1300 °С. Использование шлакового и корундового заполнителей фракции мельче 3 мм позволяет увеличить предел прочности при сжатии до 4,0–4,5 МПа при одновременном повышении температуры применения до 1400 °С. Максимальная температура применения газобетона на ВГЦ не ниже 1500 °С. Применение заполнителя из шлака металлического хрома обеспечивает повышение остаточной прочности до 70–80 % после нагревания до 1400 °С.

На основе разработанных вяжущих и заполнителей из шлака металлического хрома были получены тяжелые бетоны со средней плотностью 2500–2600 $\text{кг}/\text{м}^3$, пределом прочности при сжатии после затвердевания 35–50 МПа, температурой применения 1500–1700 °С. Бетоны были применены при ремонтных работах на ТЭС — выполнение обмуровок, элементов теплоизоляции, амбразур горелок. В ООО «Монтажспецстрой» были изготовлены горелочные камни и выполнена футеровка вагонеток для ОАО «Трубодеталь» взамен импортной.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ОГНЕУПОРНОГО МАТЕРИАЛА ФУТЕРОВКИ КОТЛА, РАБОТАЮЩЕГО НА ТВЕРДОМ БИОТОПЛИВЕ

© Д. т. н. В. Антонович, д. х. н. Я. Керене, д. т. н. Р. Стонис, Р. Борис, д. т. н. Е. Шкамат
Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, г. Вильнюс, Литва

При использовании различных агрегатов, работающих на твердом биотопливе, наиболее частой проблемой является преждевременное разрушение огнеупорного материала футеровки топочной камеры. Исследовали причины быстрого разрушения двух алюмосиликатных огнеупорных материалов — шамотного бетона и муллитового кирпича, находящихся во время эксплуатации в непосредственном контакте со шлаком, который образовывался в результате оплавления частиц золы, прилипших к поверхности футеровки. С привлечением современных методов сканирующей электронной микроскопии, рентгеновского микроанализа и рент-

генографического фазового анализа исследованы изменения в микроструктуре и фазовом составе. На основании полученных результатов установлено, что основной причиной разрушения огнеупоров в процессе эксплуатации в агрегатах, использующих твердое биотопливо, является химическая коррозия материала — реакция соединений калия из золы и шлака с алюмосиликатами используемых в футеровке энергетического котла огнеупоров. При этом продолжительная работа агрегата при максимально возможных температурах ускоряет процесс химической коррозии.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С РЕЖУЩИМ СЛОЕМ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ

© Д. х. н. А. В. Беляков¹, С. И. Церман²

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

² ООО «Дельта» группы компаний «Адель», Москва, Россия

Идея связать алмазный инструмент с композиционными материалами (КМ) не нова. В литературе описан подход к алмазонасному слою с металлической матрицей как к композиту, однако структурированию композитного режущего слоя инструмента уделено недостаточно внимания. Исследования связаны в основном с традиционными структурами: с упорядоченным и неупорядоченным распределением алмазных зерен, «сэндвич-структурами». Применение достижений, полученных в области разработки КМ, позволит создавать более высокоэффективные режущие инструменты.

На производственной базе ГК «Адель» под научным руководством ученых РХТУ им. Д. И. Менделеева разработан, успешно испытан и внедрен в производство сегментный алмазный инструмент на металлической связке с дискретной структурой режущего слоя. Структурированные тем или иным образом алмазные зерна, как правило, в «твердой» связке, являются рабочими элементами слоя и распределены в «мягкой», быстро изнашиваемой матрице. Аналогом такого КМ являются абразивные изделия с высокопористой структурой, в которых абразивные зерна сгруппированы в режущие

«кластеры», между которыми расположены поры для размещения продуктов резания.

К традиционным КМ конструкционного назначения обычно предъявляют жесткие требования по механическим характеристикам. Требования же к такому композиту, как алмазонасный слой, специфичны и связаны главным образом с образованием в ходе резания на рабочей поверхности инструмента такой структуры рельефа, которая обеспечивает максимальную интенсивность обработки в течение длительного периода. Этот рельеф выглядит как выступающие над «мягкой» поверхностью «твердые» структурированные рабочие элементы, на вершине которых выступают режущие зерна. Поэтому наряду с традиционно используемыми механическими характеристиками фаз, составляющих КМ, необходимо применять и такой комплексный показатель, как стойкость связки к гидроабразивному износу, который превалирует в зоне резания.

Настоящая работа посвящена моделированию износа связки алмазного инструмента. Моделирование проводи-

ли на базе ранее проведенных исследований, показавших, что в зависимости от величины нагрузки на инструмент при резании меняется соотношение скоростей износа алмазов и связки; это приводит к изменению скорости резания. В этом случае легко измеряемая скорость резания является характеристикой непосредственно инструмента. Износ связки в пределах одного слоя режущих зерен, несложно определяемый через изменение объема инструмента, характеризует именно связку. При этом для проведения теста достаточно всего одного-двух сегментов.

Приведены значения механических характеристик материалов, применяемых авторами, для создания дискретно-структурированного алмазонасного слоя, как традиционных (на базе кобальта и «предсплавов»), так и разработанных в рамках данной программы. Разработан сегментный алмазный инструмент для резания и для других операций по механической обработке (шлифования, сверления) не только огнеупоров, но и бетонов, природного камня и других хрупких неметаллических материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

© Д. т. н. В. А. Дерябин, Е. В. Клевакина

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

Брикетиrowание полезных ископаемых представляет собой сложный физико-химический процесс взаимодействия при уплотнении разобщенных твердых частиц. Структура брикетов образуется путем непосредственных контактов частиц между собой или через прослойки связующих и воды за счет прилагаемых усилий прессования.

В этой связи одним из ключевых вопросов в технологии брикетиrowания является выбор связующего вещества. В качестве связующих можно использовать различные вещества, обладающие «склеивающим» (адгезивным) действием и способные затвердевать при нормальных условиях или при изменении условий (нагревание, охлаждение, изменение pH среды и т. д.). Связующие также должны быть нетоксичны, недефицитны, достаточно дешевы, устойчивы к атмосферным воздействиям.

Многие предприятия используют для производства брикетов связующие органического происхождения, в частности лигносульфонаты технические (ЛСТ), которые являются временным технологическим связующим. Это отходы целлюлозно-бумажной промышленности, состав и свойства которых во многом случайны и определяются основным процессом. По сравнению с жидким стеклом ЛСТ имеет более низкий краевой угол смачивания и, следовательно, высокую адгезионную способность. Но в то же время ЛСТ в 2 раза дороже жидкого стекла. На определенном этапе развития промышленности ЛСТ удовлетворяли требованиям к технологическим связующим, однако в на-

стоящее время представляют интерес связующие с высокой формовочной способностью. Она обеспечивает улучшение однородности микроструктуры брикета за счет эффективности распределения мелких частиц и заполнителей.

В этой связи была поставлена задача разработать связующее, которое будет удовлетворять требуемым параметрам и будет экономически более выгодным по сравнению с ЛСТ. Связующее «КОМПАС-БР» представляет собой коллоидную систему на основе жидкого стекла и специальных активаторов. Поскольку жидкое стекло дешевле ЛСТ, оно было взято за основу нового связующего. Для улучшения адгезионной способности в жидкое стекло вводили специальные активаторы. Лабораторные исследования влияния связующего «КОМПАС-БР» и ЛСТ на свойства брикетов были проведены на одном из предприятий Уральского региона. К свойствам брикетов предъявляли два требования: влажность брикетов не должна превышать 4 %, брикеты должны выдержать от 3 до 10 сбрасываний.

Установлено, что влажность брикетов при применении обоих связующих составила 4 %, что соответствует первоначальным требованиям. Брикеты выдерживали, не рассыпаясь, по 3 сбрасывания. Таким образом, использование связующего «КОМПАС-БР» экономически более выгодно. При более высоких требованиях к прочности брикетов на сбрасывание (от 5 до 10) необходимо сохранять целостность брикетов при транспортировке, что достигается их высокой прочностью на сбрасывание.

ОГНЕУПОРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИСКУССТВЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ© К. т. н. **В. А. Дороганов**, к. т. н. **Е. А. Дороганов**, к. т. н. **Ю. Н. Трепалина**,
к. т. н. **Н. А. Перетокина**, д. т. н. **Е. И. Евтушенко**, **О. В. Гавшина**ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова»,
г. Белгород, Россия

Разработка новых огнеупорных композитов связана с интенсивным развитием научно-технического прогресса, обеспечивающего инновационные перемены в ряде традиционных и новых областей науки и техники. Непрерывное совершенствование различных высокотемпературных процессов вызывает необходимость расширения ассортимента и создания новых огнеупорных материалов, спектр которых весьма широк и разнообразен как по составу, структуре, свойствам (функциям), так и по областям применения. Чаще всего такие материалы применяют для эксплуатации в экстремальных условиях, представляющих собой, как правило, воздействие одновременно высоких температур, механических нагрузок, коррозионных и абразивных факторов. Современные огнеупорные композиты, независимо от способа их получения являются результатом сочетания многих компонентов, которые могут различаться по химическому составу и физическим свойствам. Это различие во многих случаях отрицательно сказывается на основных характеристиках композита, что приводит к снижению качества и долговечности материалов. Одним из перспективных методов получения огнеупоров, по нашему мнению, является технология, основанная на использовании искусственных керамических вяжущих (ИКВ) суспензий, синтезированных по специальной технологии, разработанной проф. Ю. Е. Пивинским. С использованием этого метода можно получать огнеупорные композиты, в которых вяжущие и наполнитель характеризуются химическим и фазовым сродством, что обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики материалов.

На протяжении последних 30 лет на кафедре технологии стекла и керамики БГТУ им. В. Г. Шухова проводятся исследования синтеза ИКВ кварцевого, алюмосиликатного, корундового, магнезиального, карбидкремниевых и циркониевых составов. Эти

дисперсные системы характеризуются дилатантным, тиксотропно-дилатантным и тиксотропным характером реологического поведения в зависимости от химического состава исходных материалов. Синтез ИКВ позволяет получать матричные системы высокой плотности, в которых объемная концентрация твердой фазы достигает 75 %, что соответствует минимальной относительной влажности до 12 %. Использование таких систем в качестве вяжущего при получении огнеупорных материалов способствует тому, что на стадии формования изделий (прессование, вибролитье, пластическое формование и т. д.) формируется плотная структура с минимальным содержанием дисперсионной среды, что способствует существенному снижению усадочных явлений как после сушки, так и в процессе термообработки и эксплуатации изделий; при этом материал характеризуется высокой прочностью. В последнее время на кафедре проводятся исследования в области синтеза карбидкремниевых композитов на нитридно-карбидной связке с использованием ИКВ на основе металлического кремния. Итог научно-исследовательских работ кафедры — внедрение в производство кварцевых, муллитокорундовых, корундовых и циркониевых огнеупоров, которые производятся в настоящее время на предприятиях-партнерах и используются в металлургии, теплотехнике, а также при синтезе искусственных монокристаллов.

Таким образом, разработанные огнеупорные композиционные материалы с использованием ИКВ различного состава могут найти применение в различных отраслях промышленности, а также при решении фундаментальных и прикладных проблем защиты агрегатов и оборудования, работающих при высоких температурах. Полученные материалы соответствуют огнеупорным композитам и даже по ряду параметров превосходят их.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАФИТА© К. т. н. **К. Г. Земляной**, д. т. н. **И. Д. Кашеев**, к. ф.-м. н. **В. М. Устьянцев**

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

Одним из основных трендов современного рынка огнеупоров, как формованных, так и неформованных, является увеличение роли углеродсодержащих огнеупоров (от 3–5 до 95–98 мас. % углерода). Это обуславливается комплексом уникальных свойств углерода — высокими огнеупорностью, теплопроводностью, электропроводностью, химической стойкостью по отношению

к расплавам на основе большинства металлов как в окисленной, так и в восстановленной форме, низким ТКЛР и др. Вместе с тем в настоящее время качество используемого в огнеупорной отрасли углерода в России регламентируется только двумя государственными стандартами, в которых контролируемыми параметрами являются зольность, массовая доля примесей (вла-

ги, серы, железа, ионов хлора), содержание летучих веществ, зерновой состав и (для некоторых марок) pH водной вытяжки. Методов определения стойкости материала к окислению нет. В связи с вышеизложенным актуальным становится инструментальный метод определения какого-либо комплексного свойства, которое бы отражало химическую стойкость углеродистых материалов.

Одним из таких методов могут стать дифференциальная сканирующая калориметрия и кинетический анализ процесса окисления углеродистого материала на ее основе. Экспериментальную проверку проводили термогравиметрическим анализом на дифференциальном сканирующем дериватографе «STA 449 F3 Jupiter» («Netzsch-Gerätebau GmbH», Германия) с использованием программных пакетов Proteus Analysis 5.2 и Thermokinetics 3.1 Netzsch®. С исследуемых образцов углеродистых материалов были сняты кривые дифференциальной сканирующей калориметрии при скорости нагрева 1,25, 2,5, 5,0, 10,0 и 20,0 °C/мин и расходе воздуха через рабочее пространство печи 50 мл/мин. Для определения влияния степени кристалличности на процесс окисления определяли параметры кристаллической решетки исследованных углеродистых материалов. Съемку рентгенограмм порошко-

образных образцов проводили на дифрактометре с вращающимся анодом «MiniFlex 600» («Rigaku – Carl Zeiss», Япония), с программами управления и сбора данных MiniFlex guidance и пакетом обработки данных PDXL Basic. Средний размер областей когерентного рассеяния (ОКР) определяли рентгенографическим методом, основанным на гармоническом анализе профиля дифракционных максимумов. Средний размер ОКР оценивали по формуле Селякова – Шерера.

Исследовали 4 вида графита: графит тигельный ГТ-1 по ГОСТ 4596–75 «Графит тигельный. Технические условия»; графит литейный ГЛ-1 по ГОСТ 5279–74 «Графит кристаллический литейный. Технические условия»; графит 95 (Г-95) и графит 98 (Г-98) производства КНР; стеклоуглерод СУ-2000 по ТУ 48-20-117–92, волокно углеродное ВМН-4 по ТУ 48-20-155–90; коксовая мелочь по ГОСТ 3340–88 «Кокс литейный каменноугольный молотый. Технические условия». Оценена скорость окисления различных углеродсодержащих материалов. Показано, что на скорость окисления влияют физико-химические свойства углеродистых материалов и их структура. Показана возможность использования современных приборов и методик проведения экспериментов для технологической оценки качества углеродистых материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИЗУЧЕНИЕ СМАЧИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЕРИКЛАЗА КАМЕННОУГОЛЬНЫМИ ПЕКАМИ

© К. т. н. Г. А. Лысова, к. т. н. С. И. Боровик, Г. В. Попов

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

Периклазоуглеродистые изделия — одни из самых востребованных видов огнеупорной продукции в черной металлургии — используются для футеровки ответственных зон агрегатов сталеплавильного производства. При эксплуатации в сталеразливочных ковшах, печах-ковшах и вакууматорах углеродсодержащие огнеупоры подвергаются эрозии, агрессивному физико-химическому и механическому воздействиям металла и шлака. Присутствие углерода в огнеупорном материале значительно увеличивает его эксплуатационную стойкость и предотвращает проникновение шлакового расплава в огнеупор. На качество огнеупорных изделий и однородность свойств влияют способ введения углеродистой компоненты и процессы взаимодействия связующего материала (фенолформальдегидной смолы и пека) с поверхностью периклаза. Поскольку связующее в процессе изготовления огнеупорного материала проходит стадию жидкоподвижного состояния, актуальным вопросом является изучение смачивающей способности периклаза связующими.

В качестве объектов исследования использовали каменноугольный пек Carbores F, средне- и высокотемпературные каменноугольные пеки ООО «Мечел–Кокс». Сравнительный анализ свойств каменноугольных пеков показал, что опытные образцы при одинаковой пикнометрической плотности различаются температурой

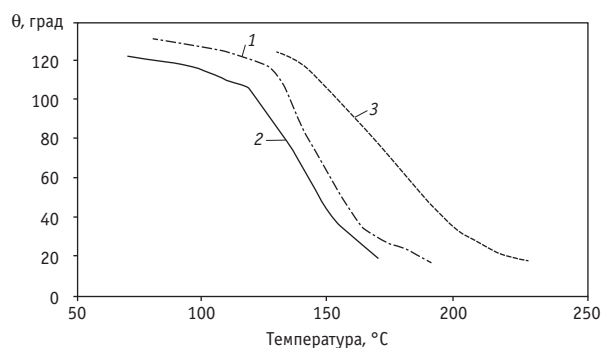
размягчения, выходом летучих веществ и групповым химическим составом, что обусловлено физико-химическими свойствами исходного сырья и технологией изготовления пеков.

Исследования смачивающей способности пеков проводили методом «лежащей капли» на подложке из спрессованных зерен периклаза размерами менее 0,063 мм. Установлено, что начало смачивания поверхности периклаза пеками (краевой угол смачивания равен 90 град) начинается при 128, 138 и 162 °C соответственно для пеков 2, 1 и 3 (см. рисунок). По достижении пеками $\theta = 20$ град происходит впитывание пека в подложку, и далее θ не изменяется. Кривые изменения θ в области 90–20 град имеют разный угол наклона, что свидетельствует о неодинаковой интенсивности процесса.

В координатах уравнения Аррениуса изотермы смачивания представляют собой ломаные линии, имеющие также разный угол наклона, точки перегиба на которых для опытных пеков наблюдаются при разных температурах. Это соответствует θ , приблизительно равному 90, 60 и 20 град и, очевидно, отвечает за фазовые превращения, происходящие в структуре пека. Для каждого из наклонных участков произведен расчет эффективной энергии активации и работы адгезии. Установлено, что пек Carbores F112 с минимальным уровнем энергии активации характеризуется максимальной растекаемостью по

поверхности периклаза и минимальной работой адгезии. Это обусловлено химическим составом пека и фазовым переходом его компонентов при термообработке.

Таким образом, адгезионная и смачивающая способность поверхности периклаза пеками зависит от температуры размягчения и химического состава пека. Поэтому в технологии изготовления огнеупоров при использовании пека в качестве добавки к связующему для обеспечения максимального взаимодействия пека с поверхностью периклаза должен соблюдаться индивидуальный температурный режим с учетом параметров смачивающей способности и растекания пека.



Зависимость изменения краевого угла смачивания θ периклаза пеками от температуры

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМУЕМОСТИ СИЛИЦИДНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИСИЛИЦИДА МОЛИБДЕНА

© М. В. Михеев^{1,2}, к. т. н. П. М. Бажин^{1,2}, д. т. н. А. М. Столин^{1,2}, к. т. н. Д. В. Кузнецов²

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

² ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет (МИСиС)», Москва, Россия

СВС-материалы — объект особый. Их реологические свойства и формуемость еще мало изучены, хотя эти данные весьма важны при разработке технологии получения компактных изделий различного функционального назначения. Для СВС-материалов формование изделий может быть осуществлено только в характерном температурном диапазоне от температуры живучести материала, выше которой материал обладает способностью к пластическому деформированию, а ниже затвердевает. Если этот температурный интервал узкий, то процесс формования является «жестким», что означает его низкую воспроизводимость и повышенные технологические требования к оборудованию. Для расширения интервала переработки синтезируемых материалов эффективным приемом является добавление металла — связки в матрицу основного материала.

В данной работе изучали формуемость силицидной керамики на основе MoSi_2 в зависимости от времени задержки синтеза в режиме СВС и температуры нагрева исходной заготовки, а также в зависимости от содержания металлической связки в исходном составе. В качестве объектов исследования были выбраны исходные порошки Mo , MoO_3 , Si , Al . Выбор этих компонентов обусловлен тем, что при горении выбранной системы образуется 90 % MoSi_2 и 10 % Al_2O_3 , что при-

водит к повышению удельного электрического сопротивления в синтезированном материале; Al_2O_3 практически не взаимодействует с MoSi_2 .

Разработанный ранее нами метод свободного СВС-сжатия дает возможность изучить способность к формованию продуктов СВС. Сущность этого метода заключается в уплотнении и формовании материала под действием постоянного невысокого давления (10–100 МПа). К преимуществам этого метода можно отнести наиболее благоприятные схемы напряженного состояния и сдвигового пластического деформирования материала, способствующие «залечиванию» макротрещин и пор в деформированном материале.

В работе исследовано влияние технологических параметров свободного СВС-сжатия, таких как время задержки синтеза и температура нагрева исходной заготовки, на формуемость синтезированных материалов на основе MoSi_2 . Установлено, что нагрев исходной заготовки до 300 °C и добавка 2 % титана в исходную шихту ведут к увеличению степени деформации материала на 13 %, а оптимальный интервал времени задержки синтеза увеличивается в 3 раза по сравнению с материалом без добавки и составляет 3–6 с.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ЖАРОСТОЙКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МАГНЕЗИАЛЬНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И ОГНЕУПОРНЫХ ВОЛОКОН

© К. т. н. Ч. Г. Пак¹, к. т. н. В. А. Абызов², П. И. Серов¹

¹ ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза, Россия

² ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ), г. Челябинск, Россия

Проблема экономного расходования топливно-энергетических ресурсов при производстве и применении огнеупорных теплоизоляционных материалов может

быть решена за счет разработки новых составов и совершенствования технологии их изготовления. Особое место при этом отводится использованию материалов,

получаемых на основе огнеупорных волокон. В нашей стране наибольшее распространение получили материалы, изготавливаемые на основе муллитокремнеземистых волокон с применением в качестве связующего органических смол, огнеупорной глины, кремнезоля или композиций на основе органических и неорганических связующих. Недостатком этих связующих является то, что органические связующие в процессе высокотемпературного нагревания изделий в футеровках выгорают, происходит разупрочнение. Изделия на огнеупорной глине необходимо подвергать сушке и высокотемпературному обжигу. Кроме того, органические связующие отличаются высокой стоимостью.

Магнезиальные связующие используются при производстве штучных огнеупоров и огнеупорных бетонов, однако при этом наблюдается сброс прочности после термообработки вследствие разложения магнийсодержащих соединений. При использовании легкого заполнителя в изделиях (вспученный вермикулит, перлит, волокна) можно снизить влияние этого эффекта — такие заполнители компенсируют деформации, возникающие при термическом воздействии.

В данной работе в качестве связующего использовали сернокислый магний (ТУ 6-18-153-82) в виде водного раствора со средней плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$ и огнеупорную глину Нижне-Увельского месторождения (ТУ 14-6-336-80), в качестве волокнистого компонента — муллитокремнеземистое волокно (рулонное) МКРР-130 и хромсодержащее волокно МКРРХ-150 (ГОСТ 23619), измельченное волокно ТИАС (ТУ 1529-

010-05802307-2003) Сухоложского огнеупорного завода. Получены волокнистые изделия со средней плотностью от 250 до 330 кг/м^3 и с пределом прочности при изгибе не менее 0,2 МПа. Линейная усадка после обжига при 1100°C не превышает 2 %. Это соответствует показателям изделий марки МКРР-340. Температура применения составляет 1150°C . При использовании хромсодержащего волокна температура применения изделий может быть повышена на $50\text{--}150^\circ\text{C}$.

Для получения более однородной структуры изделий, уменьшения усадки после термообработки, а также для улучшения прочностных свойств в состав шихты вводили огнеупорную глину, что позволило получить изделия плотностью до 600 кг/м^3 . При этом предел прочности при изгибе возрос до 0,5–0,6 МПа. Для улучшения свойств материала в его состав вводили каустический магнезит (20 %) и до 25 % вермикулита, что позволило повысить предел прочности при изгибе после обжига при 1000°C до 0,5 МПа с одновременным увеличением плотности до $700\text{--}900 \text{ кг/м}^3$. Введение добавки шамотного заполнителя фракции мельче 5 мм позволяет получить материал с пределом прочности при сжатии 2,5–4,0 МПа и температурой применения 1250°C .

На основании проведенных исследований были выпущены опытные партии волокнистых плит на магнезиальном связующем. Изделия были использованы для изготовления съемных панелей свода печей обжига керамического кирпича, в футеровке печей цветной металлургии.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ АЛЮМОПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ

© Д. г.-м. н. В. А. Перепелицын, А. М. Гороховский, П. А. Карпец, И. В. Острякова, В. В. Смирнова, Л. В. Остряков

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

В результате детального комплексного исследования изучен механизм формирования керамической структуры ковшевых алюмопериклазоуглеродистых изделий в восстановительной ($p_{\text{CO}} > p_{\text{O}_2}$) и окислительной ($p_{\text{CO}} < p_{\text{O}_2}$) газовых средах в интервале $20\text{--}1600^\circ\text{C}$. В восстановительной среде одновременно происходят реакции прямого (C), косвенного (CO) карботермического и алюмотермического (Al) восстановления в той или иной степени практически всех силикатных и оксидных соединений, а также прямой синтез (из элементов) карбида алюминия Al_4C_3 и кубического карбида кремния $\beta\text{-SiC}$, шпинели. Помимо карбидных фаз в интервале $1200\text{--}1600^\circ\text{C}$ образуются оксикарбиды алюминия: тетраоксикарбид $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$ и монооксикарбид Al_2OC .

В результате перечисленных восстановительных реакций в алюмопериклазоуглеродистых изделиях формируется плотная и прочная керамическая микроструктура, представленная полиминеральным сростком корунда, шпинели, карбидов кремния и алюми-

ния, оксикарбидов алюминия и остаточного графита. Впервые установлено псевдоморфное замещение графита наноструктурным карбидом кремния кубической модификации $\beta\text{-SiC}$. При этом протекают сложные газотранспортные реакции с участием паровых оксидов кремния SiO и алюминия AlO , которые конденсируются на графите и корунде с образованием соответственно SiC и оксикарбидов алюминия. Таким образом, традиционные антиоксиданты (металлический алюминий и кристаллический кремний) не только выполняют антиоксидантную функцию по отношению к углеродистым компонентам алюмопериклазоуглеродистых изделий, но и активно участвуют в высокотемпературных процессах формирования и развития керамической структуры этих огнеупоров.

В окислительной среде характер химических реакций изменяется в противоположном направлении. Помимо практически полного обезуглероживания происходит окисление всех бескислородных соединений, сопровождающееся значительной потерей массы и

увеличением общей пористости до 25–35 % (сумма открытой и закрытой пористости). В результате окисления графита, карбида кремния и оксикаридов алюминия образуется алюмосиликатная стеклофаза, которая находится в виде дискретных включений внутри корундошпинельного высокоогнеупорного структурного каркаса изделия. Синтез шпинели $MgAl_2O_4$ в окислительной газовой среде осуществляется более интенсивно, так как при этом в реакции участвует активный наноглинозем — продукты окисления карбида Al_4C_3 , оксикаридов Al_4O_4C и Al_2OC алюминия (эффект Хедвала).

В результате проведенных исследований установлен сложный многостадийный механизм формирования микроструктуры алюмопериклазоуглеродистых

изделий в восстановительной и окислительной газовых средах. Выявлено определяющее влияние традиционных антиоксидантов на формирование структуры огнеупоров как в восстановительной, так и в окислительной газовых средах. При этом в восстановительной среде активное участие в формировании структуры принимают газотранспортные химические реакции.

В развитии керамической структуры оксидно-углеродистых огнеупоров исключительно важную и вторую функцию (первая — антиоксидантное воздействие) осуществляют образующиеся при средних ($< 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высоких ($> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах парообразные низшие оксиды алюминия (Al_2O , AlO), кремния (SiO) и металлического магния.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ШЛАКОУСТОЙЧИВОСТЬ ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫХ МИКСЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

© Д. Г.-м. н. В. А. Перепелицын, А. М. Гороховский, И. В. Острякова, М. Н. Дунаева, В. В. Смирнова

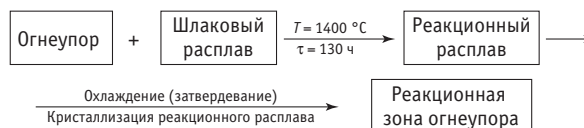
ОАО «Первоуральский динасовый завод», г. Первоуральск Свердловской обл., Россия

В настоящее время ОАО «Динур» производит широкий ассортимент изделий и неформованных огнеупорных материалов для доменных цехов крупнейших металлургических комбинатов России. Для изготовления высокоглиноземистых обожженных и безобжиговых изделий на заводе используют более 15 высокоглиноземистых плавящихся и спеченных сырьевых материалов как собственного производства, так и импортных, в том числе легированный и белый электрокорунд, карбид кремния, боксит, андалузит, графит и др.

В исследовательской лаборатории Инженерного центра завода постоянно разрабатываются новые эффективные желобные и леточные массы, изделия для воздушонагревателей доменных печей, миксеров. В данном сообщении приведены результаты исследования относительной шлакоустойчивости пяти разновидностей миксерных изделий, изготовленных из различных сочетаний компонентов системы $Al_2O_3-SiC-TiO_2-SiO_2-C$, после испытаний в окислительной (воздух) и восстановительной (коксовая засыпка) газовых средах. В качестве корродиента использовали доменный шлак ОАО «Западно-Сибирский металлургический комбинат» следующего химического состава, мас. %: SiO_2 37,5, Al_2O_3 15, CaO 37,9, MnO 0,39, MgO 10,5, FeO 0,34, S 0,55; основность — 1,01. Испытания проводили при температуре 1320–1400 $^{\circ}\text{C}$ и выдержке 75 ч, весь цикл нагрев – охлаждение длился 278 ч.

Для количественной оценки интенсивности изменения макроструктуры образцов-тиглей использовали следующие критерии: объем коррозии (растворения) тигля шлаковым расплавом, объем пропитки стенок и дна образца шлаком, объем остаточного шлака после испытаний. Для выявления физико-химического механизма и фазово-структурных превращений, происшедших в образцах-тиглях при длительном воздействии

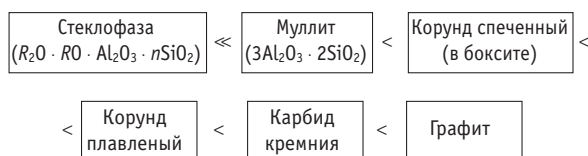
шлакового расплава, выполнен детальный минералогический петрографический анализ полированных образцов в отраженном свете при 625-кратном увеличении. Во всех образцах отдельно определяли минеральный состав наименее измененной зоны, в которой не было прямого контакта со шлаковым расплавом, и реакционной (пропитанной шлаком) зоны. В результате комплексного структурного и генетического анализа установлена следующая общая схема шлаковой коррозии миксерных изделий высокоглиноземистого состава:



При этом в контактной (реакционной) зоне во всех огнеупорах (независимо от состава, но очень резко различающихся по интенсивности) происходили аналогичные фазово-структурные превращения, которые можно представить в следующем виде:



Установлен ряд коррозионной устойчивости всех минералов, входящих в состав миксерных изделий. По снижению скорости растворения в доменном шлаке главные минералы высокоглиноземистых изделий располагаются в следующем порядке:



Таким образом, наибольшую стойкость имеют огнеупоры на основе корунда + карбида кремния + графита. Однако графит надо защищать от окисления

путем введения эффективных антиоксидантов. В целом все огнеупоры в восстановительной среде имеют более высокую шлакоустойчивость (при $T = 1400^\circ\text{C}$), так как при этом все переходные металлы как в шлаке, так и в огнеупоре восстанавливаются или до металла (Fe_2O_3 до Fe), или до низших оксидов: TiO_2 до Ti_2O_3 , или до TiO , или до TiC и во взаимодействии не участвуют.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ВЫСОКОПРОЧНЫЕ МАГНИЙСИЛИКАТНЫЕ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ СФЕРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ВАРКИ И ДИСПЕРГАЦИИ РАСПЛАВОВ

© М. С. Полухин¹, к. т. н. С. Ю. Плинер¹, д. т. н. И. Д. Кашеев²

¹ ООО «ФОРЭС», г. Екатеринбург, Россия

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

Исследовательской лабораторией ООО «ФОРЭС» разработаны составы (пат. 2433966 РФ) и технология получения стеклокерамических сфер магнийсиликатного состава, определены и исследованы основные факторы, влияющие на качественные характеристики стеклокерамики: прочность, плотность и соотношение основных фаз.

При дробеструйной обработке стальных отливок широко используют стальную, керамическую и стеклянную дробь размерами от 40 до 2000 мкм. Основными требованиями к свойствам материала являются прочность, твердость и плотность дроби. Прочность и твердость дроби (сферы) определяет количество циклов, которые можно провести без потери качества обработки поверхности. Плотность сфер обуславливает силу удара и глубину обработки поверхностного слоя.

Первоначальную обработку ведут с использованием стальной или чугунной дроби, но для ряда материалов использовать такие материалы, вследствие высокой плотности и возможности разрушения и/или засорения металлом обрабатываемой поверхности, не рекомендуют. Как альтернатива металлическим сферам для конечной обработки черных, нержавеющей, цветных и редких металлов предлагаются керамические сферы из оксидов циркония, алюминия или стеклянные сферы натрийборосиликатного состава. К настоящему моменту разработан новый класс стеклосфер на основе магнийсиликатной стеклокерамики, отличающихся от боросиликатной сферы повышенными прочностью и плотностью, а от керамической — ценой. Это позволило использовать разработанные сферы в качестве промежуточных между стеклянными боросиликатными и керамическими сферами.

Синтез стекла для получения сфер выбран на основе многокомпонентной системы $\text{SiO}_2\text{--MgO--Al}_2\text{O}_3\text{--RO--R}_2\text{O}$. При разработке состава стекол учитывалось влияние компонентов на плотность стекол, прочностные характеристики и стоимость шихты. Все исходные компоненты шихты широко представлены на рынке с доступной стоимостью. Варку стекол осуществляли в лабораторных печах типа РКЗ-0,25 и в полупромышленной РКЗ-1,2. Диспергация расплава осуществлялась двумя способами: центробежным и диспергацией рас-

плава струей воды высокого давления. При этом были достигнуты следующие результаты. При использовании центробежного способа капли расплава охлаждались в потоке холодного воздуха, а при использовании струи воды высокого давления охлаждение было значительным, особенно при получении фракции 60–200 мкм, и достаточным при получении фракции 200–450 мкм.

Стеклосферы, полученные путем диспергации расплава струей воды высокого давления (до 500 ат), обладали повышенной прочностью в отличие от стеклосфер того же состава, полученных центробежным способом. Для оценки качества сфер использовали методику испытаний пропанта (ISO 13053-2-2006). Содержание разрушенных частиц после приложения давления до 70 МПа не более 4 %, до 120 МПа не более 10 %. В сравнении с прочностью сфер из боросиликатного стекла количество разрушенных частиц после приложения такого же давления составило 85–95 и 99 % соответственно. Различие в прочности обуславливается присутствием клиноэнстатита в стеклосфере магнийсиликатного состава, в результате чего формируется ситаллоподобная структура.

Возможность регулирования дисперсного состава и скорости охлаждения позволяет регулировать количество и размер керамической фазы в магнийсиликатной стеклосфере. При сравнении метода охлаждения сфер фракции 200–450 мкм воздухом и водой были получены данные по разрушенным сферам при приложении давления 70 МПа: 9 и 2 % соответственно. Это указывает на наличие остаточных напряжений из-за роста кристаллов в матрице стекла при изменении ТКЛР. Технологическая особенность водной диспергации расплавов позволяет регулировать фракционный состав от 40 до 1000 мкм путем изменения давления и количества воды. При водной диспергации получен выход годной фракции от 40 до 850 мкм на уровне 95–98 %. При центробежном способе максимальный выход годной фракции 60 % был зафиксирован в этом же диапазоне фракции.

Промышленное испытание стеклосфер магнийсиликатного состава при гидроабразивной и обычной дробеструйной обработке показало, что магнийсиликатная стеклосфера выдержала 350 циклов обработ-

ки, в то время как боросиликатная 35 циклов. Истинная плотность магнийсиликатной стеклосферы находится в диапазоне 2,9–3,2 г/см³ и занимает промежуточное положение между керамической сферой (3,50–3,85 г/см³) и боросиликатной (2,4–2,6 г/см³). Магнийсиликатные

сферы используют на предприятиях с гидроабразивной обработкой (в том числе при обработке лопаток авиационных двигателей), при обработке медицинского инструмента; сферы опробованы также для обработки бурового инструмента и деталей машин.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПЕРИКЛАЗОУГЛЕРОДИСТЫХ ОГНЕУПОРОВ

© С. А. Поморцев¹, д. т. н. И. Д. Кашеев², Ю. А. Борисова³, А. А. Ряплова¹

¹ ООО «Огнеупор», г. Магнитогорск, Россия

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

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

В настоящее время углеродные волокна находят все большее применение в связи с демонстрируемыми этими волокнами высокими значениями модуля упругости и прочности и широким использованием в конструкционных материалах в качестве армирующих наполнителей. Композиты с полимерными матрицами по техническим характеристикам (прочности, модулю упругости, термостойкости) опережают другие углеродные композиты. Введение волокон в огнеупорную шихту обеспечивает трехмерное объемное упрочнение и повышение долговечности материала, снижение усадки в процессе термообработки, в результате чего значительно возрастают трещиностойкость и ударная вязкость и, как следствие, стойкость огнеупоров.

Исследована возможность армирования периклазоуглеродистых огнеупорных изделий углеродными волокнами. В качестве исходных материалов для проведения лабораторных исследований использовали плавный периклаз, волокна, графит, органическое смоляное связующее. Для исследований применяли волокна длиной до 4 мм; преобладали волокна длиной 0,92 мм. Волокна добавляли в шихту двумя способами: предварительно перемешивали в этиленгликоле (для снятия статического напряжения) и подавали в сухом виде в смеситель после периклаза, увлажненного этиленгликолем. В ходе лабораторных исследований содержание графита в шихте снижали с 7,0 до 4,0 %, содержание остальных компонентов оставалось неизменным.

Добавка армирующих углеродных волокон при изготовлении периклазоуглеродистых огнеупоров позволила существенно (на 30 %) повысить их термостойкость и трещиностойкость. В условиях службы

периклазоуглеродистых изделий в сталеразливочных ковшах, в которых происходят постоянный нагрев футеровки (при наливке стали) и охлаждение (при сливе, транспортировке, подготовке к разливке), термостойкость — один из основных показателей (перепады температур достигают 700 °С), регламентирующий стойкость огнеупорных изделий. Несмотря на снижение количества графита (до 4 %) в шихте периклазоуглеродистых изделий окисляемость и доля обезуглероженного слоя остаются на уровне показателей серийных изделий с содержанием графита 7 %. Также остается неизменной пористость образцов до и после коксующего обжига. Постепенный прирост предела прочности при сжатии после коксующего обжига позволяет футеровке иметь больший ресурс и способность к физическому и химическому износу.

Анализ ТКЛР позволяет сделать вывод, что эффект армирования структуры периклазоуглеродистых изделий проявляется при температурах выше 1200 °С и компенсирует процесс усадки, который ярко выражен у контрольного образца. В образцах с добавкой углеродного волокна выше 1200 °С рост замедляется, но усадка не наблюдается.

Результаты исследований показали возможность работы с углеродными волокнами без предварительного снятия статического напряжения путем введения волокна в сухом виде непосредственно в смеситель, что значительно упрощает задачу. Добавка углеродного волокна в шихту периклазоуглеродистых огнеупоров для сталеразливочных ковшей подтверждает эффективность армирования, повышение термостойкости, трещиностойкости, ударной вязкости и долговечности огнеупоров.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СУХАЯ КОРУНДОШПИНЕЛЬНАЯ СМЕСЬ С ДОБАВКОЙ ПЛАВЛЕННОЙ АЛЮМОМАГНЕЗИАЛЬНОЙ ШПИНЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ПАО «УкрНИИО имени А. С. БЕРЕЖНОГО»

© Д. т. н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко, к. т. н. Л. А. Бабкина,

к. т. н. Л. Н. Солошенко, Л. М. Щербак, Т. Г. Тишина

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

В ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного» проведены

исследования зависимости свойств сухой корундошпинельной смеси марки СКШ и образцов из нее от

количества (14, 21 и 27 %) добавки плавленной алюмомагнезиальной шпинели собственного производства с соотношением Al_2O_3 к MgO 85:15. Установлено, что применение оптимального количества плавленной алюмомагнезиальной шпинели в составе смеси СКШ обеспечивает снижение шлакопропитки образцов примерно на 28 % по сравнению со шлакопропиткой образцов с импортной спеченной алюмомагнезиальной шпинелью.

Показатели физико-химических свойств сухой корундошпинельной смеси СКШ, содержащей плав-

ленную алюмомагнезиальную шпинель: химический состав, мас. %: Al_2O_3 95,0–96,0, MgO 2,8–4,0, SiO_2 0,2–0,4, Fe_2O_3 0,2–0,3; зерновой состав — фракция мельче 3 мм; предел прочности при сжатии образцов из смеси после термообработки при 1580 °С 18,0 МПа, открытая пористость 26,7 %, кажущаяся плотность 2,87 г/см³.

Сухая корундошпинельная смесь СКШ рекомендуется для футеровки индукционных тигельных печей с температурой службы выше 1580 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

НИЗКОЦЕМЕНТНАЯ МУЛЛИТОКОРУНДОВАЯ САМОРАСТЕКАЮЩАЯСЯ БЕТОННАЯ СМЕСЬ С ДОБАВКОЙ ПЫЛЕВИДНОГО КВАРЦА

© Д. т. н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко, к. т. н. Л. А. Бабкина, к. т. н. И. В. Хончик, Л. Н. Никулина

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

В ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного» проведены исследования влияния добавки пылевидного кварца марки А по ГОСТ 9077 (дисперсностью < 50 мкм) на свойства низкоцементной муллитокорундовой саморастекающейся бетонной смеси марки СМКНЦБС-1 и образцов из нее. Установлено, что использование добавки пылевидного кварца в оптимальном количестве улучшает спекание и интенсифицирует процесс муллитообразования, вследствие чего повышается прочность образцов после обжига при 1450 °С примерно в 1,5 раза и снижается их открытая пористость примерно в 3 раза.

На основании проведенных исследований разработан новый вид продукции — низкоцементная муллитокорундовая саморастекающаяся бетонная смесь марки СМКНЦБС-3 с кварцесодержащей добавкой. Разработанная бетонная смесь характеризуется следующими показателями: Al_2O_3 не менее 85 %, CaO 1,0–2,5 %, SiO_2 4,5–6,5 %, Fe_2O_3 не более 1,0 %; зерновой состав — фракция мельче 3 мм; предел прочности при сжатии образцов из смеси после термообработки при 110 и 1450 °С не менее 30 и 120 МПа соответственно.

Бетонная смесь марки СМКНЦБС-3 рекомендована для футеровки элементов тепловых агрегатов в малодоступных для применения вибрации зонах.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ТЕРМОСТОЙКИЙ МУЛЛИТОКОРУНДОВЫЙ ОГНЕПРИПАС ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

© Д. т. н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко, к. т. н. И. Г. Шулик, к. т. н. С. В. Чаплянко, Л. П. Ткаченко

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

В ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного» разработана технология изготовления способом вибролитья из зернистых масс муллитокорундового огнеприпаса (короба для отжига металлических и керамических заготовок, лодочки для отжига ферритовых заготовок и др.), применяемого в различных тепловых агрегатах.

В институте систематически проводятся усовершенствования разработанных технологий, в том числе направленные на повышение качества изготавливаемой продукции для увеличения срока службы огнеупоров. В частности, первоочередными эксплуатационными требованиями к применению огнеприпаса являются высокие термостойкость и механическая прочность, особенно при повышенных рабочих температурах, а также постоянство объема. Для увеличения прочности огнеприпаса при сохранении высокой термостойкости исследовали влияние вида, количества, соотношения

современных диспергирующих добавок в зависимости от температуры окружающей среды на закономерности текучести массы при вибрации; влияние фазового состава и структуры глинозема на свойства массы и показатели свойств обожженных изделий; диапазон рабочих характеристик массы.

В результате выполненных исследований повышена прочность муллитокорундового огнеприпаса (примерно в 2 раза предел прочности при сжатии и в 1,3 раза предел прочности при изгибе при 1450 °С), что позволит увеличить его оборотоспособность. Полученные изделия имеют следующие физико-механические свойства: открытая пористость 13,5–15,6 %, пределы прочности при сжатии 170–221 МПа, при изгибе при 1450 °С 7,0–7,8 МПа, температура начала размягчения под нагрузкой 0,2 МПа 1650–1660 °С, остаточные изменения размеров при 1600 °С 0,0–0,1 %, термостойкость (1300 °С — вода) более 20 теплосмен.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРУНДООКСИДЦИРКОНИЙСИЛИКАТНЫХ И КОРУНДОПЕРИКЛАЗОВЫХ ТИГЛЕЙ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ПЛАВКЕ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СПЛАВОВ

© Д. т. н. В. В. Примаченко, к. т. н. В. В. Мартыненко, к. т. н. И. Г. Шулик, к. т. н. С. В. Чаплянко, Л. П. Ткаченко, Т. Г. Тишина, Е. А. Бондаренко

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

В ПАО «Украинский научно-исследовательский институт огнеупоров имени А. С. Бережного» разработана технология изготовления способом вибролитья высокоогнеупорных тиглей различного состава (муллитокорундового, корундошпинельного, периклазошпинельного и др.) для индукционной плавки сплавов. Выбор состава плавильного тигля проводят, исходя из состава сплава и требований к металлическим отливкам. При плавке коррозионно-стойких сплавов на никелевой и кобальтовой основе применяют корундооксидцирконийсиликатные и корундопериклазовые тигли. Корундооксидцирконийсиликатные тигли обладают высокими термостойкостью, плотностью, прочностью и предназначены для индукционной вакуумной плавки сплавов при температуре до 1650 °С. Корундопериклазовые тигли наряду с высокими показателями свойств, в частности термостойкости, обладают хорошей адсорбционной способностью к окисленным элементам сплава и предназначены для индукционной вакуумной и открытой плавки сплавов при температуре до 1800 °С.

Испытание тиглей проводили при вакуумной индукционной плавке коррозионно-стойких сплавов на никелевой и кобальтовой основе. Температура плавки сплава (масса шихты ~90 кг при вместимости тигля 120 кг) составляла 1450–1500 °С, продолжительность 90–100 мин. Тигли показали равную стойкость — 14 плавов, при этом корундооксидцирконийсиликатные тигли были сняты с эксплуатации по причине локального эрозионного разъедания стенки тигля в районе «зеркала» металла, а корундопериклазовые тигли — из-за развития термической трещины и сетки микротрещин. Изменения химического состава сплава за счет влияния огнеупора не выявлено. Следует

отметить, что ранее плавку таких сплавов осуществляли в тиглях зарубежного производства, стойкость которых в сопоставительных условиях составляла 6–10 плавов.

Исследованиями тиглей после службы установлено:

- наличие зональной структуры в корундооксидцирконийсиликатных тиглях — наименее измененной, переходной (средней мощностью 2,5–3 мм, максимум до 7 мм) и рабочей (средней мощностью 0,05–0,06 мм, максимум — до 0,2 мм) зонами, а в корундопериклазовых тиглях — наименее измененной и рабочей (средней мощностью 0,1 мм, максимум до 0,5 мм) зонами;

- содержание основных оксидов в корундооксидцирконийсиликатных тиглях после службы незначительно изменилось: уменьшилось содержание SiO_2 (на 0,17 и 0,22 %) и увеличилось содержание Al_2O_3 (на 0,16 и 0,41 %) в наименее измененной и переходной + рабочей зонах соответственно, а в корундопериклазовых тиглях содержание основных оксидов до и после службы осталось без изменений;

- образование шпинелида (твердые растворы) сложного переменного состава, который в рабочей зоне корундооксидцирконийсиликатных тиглей формирует со сростками корунда и бадделеита пористый слой, частично сдерживающий инфильтрацию компонентов сплава по толщине тигля, а в рабочей зоне корундопериклазовых тиглей формирует с корундом связки плотный буферный слой, существенно сдерживающий инфильтрацию сплава по толщине тигля.

В целом проведенные испытания корундооксидцирконийсиликатных и корундопериклазовых тиглей в службе показали эффективность их применения при плавке коррозионно-стойких сплавов на никелевой и кобальтовой основе.

ТЕРМОСТОЙКИЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

© К. т. н. В. В. Промахов, к. т. н. И. А. Жуков, к. т. н. С. А. Ворожцов, А. В. Платов, д. ф.-м. н. А. С. Жуков, д. ф.-м. н. А. Б. Ворожцов

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», г. Томск, Россия

Известно, что термостойкость является важным функциональным свойством для материалов, работающих в условиях частых циклических изменений температуры. Большое внимание исследователей уделяется бескислородным керамикам, в частности нитриду и карбиду кремния и композитам на их основе. Несмотря на высокую температуру плавления бескислородных керамик их использование в качестве

материалов, предназначенных для эксплуатации в условиях термомеханических воздействий в кислородосодержащей атмосфере, ограничено температурой окисления (~1100 °С). Материалы на основе диоксида циркония обладают уникальным сочетанием высокой температуры плавления (~2700 °С), повышенной прочности и низкой теплопроводности. При этом ТКЛР ZrO_2 близок к ТКЛР металлов, что дает

возможность использования циркониевой керамики в гибридных металлокерамических конструкциях и композитах.

В качестве материалов для исследований выбраны композиты системы ZrO_2 — MgO с различным содержанием MgO . Керамика была получена из порошков, синтезированных плазмохимическим методом. Были определены основные свойства материалов (модуль упругости, твердость, плотность и ТКЛР). Эксперименты по оценке термостойкости композитов проводили путем циклических термоударных воздействий $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ — вода. Установлено, что после первого термоудара вследствие низкой теплопроводности ZrO_2 поверхность образцов всех составов подвергается микрорастрескиванию с образованием трещиноватой блочной структуры. При этом предел прочности при сжатии образцов снижается на 20 %. Следует отметить, что предел прочности при сжатии исследуемых образцов после 200 циклов термоударных воздействий составлял более 50 МПа.

Проведенные исследования показали, что по мере увеличения числа термоударов в образцах всех составов сокращалась доля кубической модификации ZrO_2 и, соответственно, возрастало содержание моноклинной модификации. При этом увеличение доли низкотемпературной фазы ZrO_2 наблюдалось уже после первого термоудара. Увеличение количества моноклинной фазы при термоударах явилось результатом распада твердого раствора ZrO_2 — MgO ; на дифрактограммах всех исследуемых образцов после нескольких термоударов появлялись рефлексы MgO .

* * *

Работа проведена при финансовой поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.», соглашения № 14.578.21.0098, № 14.578.21.0025, № 14.578.21.0034, а также в рамках Грантов Президента и МК-5883.2014.8 и МК-5681.2014.8.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

МОНОЛИТНО-СЛОИСТЫЕ КОРУНДОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ С НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМ ПЕРЕХОДНЫМ СЛОЕМ

© Д. т. н. В. Н. Соков, к. т. н. С. Д. Сокова

ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», Москва, Россия

Основой получения конструкционно-теплоизоляционных разноплотных изделий и их надежной службы в условиях высоких температур и особенно при попеременном нагревании и охлаждении является создание надежного сочленения разноплотных слоев, различающихся, как правило, температурной деформацией. Для этого необходимы, во-первых, создание фасонной поверхности контакта слоев а во-вторых — наличие переходного слоя, размывающего температурные напряжения, возникающие между разноплотными слоями. Большое внимание должно уделяться качеству сцепления слоев, влияющему на надежность и долговечность материала. При формировании таких изделий необходимо идти по пути создания моносистем, обеспечивающих совместную работу всех слоев конструкции, в структуре которой должно происходить взаимное проникновение несущего и теплоизоляционного слоев. Одновременно должна образовываться развитая удельная поверхность на плоскостях соприкосновения слоев и возникновения между ними переходной зоны, усиленной наночастицами минеральных компонентов, полученных в процессе формования изделий под влиянием комплексного воздействия на самоуплотняющиеся массы гидротеплосилового поля.

Получение энергоэффективных двухслойных изделий с плавной переходной зоной между слоями за один технологический прием решалось на примере получения корундовых разноплотных изделий. Суть способа получения разноплотного корундового изделия из самоуплотняющихся масс путем их электропрогрева в замкнутой перфорированной форме состоит в сле-

дующем. В лопастной мешалке сначала готовили массу влажностью 35–40 % для плотного слоя и заливали ее в форму с перфорированным днищем. Затем готовили формовочную массу для теплоизоляционного слоя в такой последовательности: загружали в мешалку подвспененный полистирол, воду затворения и смесь молотого глинозема и электрокорунда, все это перемешивали 3–4 мин. Готовую массу влажностью 40–45 % укладывали на плотный слой и форму закрывали крышкой, создавая замкнутый объем. Прогрев масс осуществляли электрическим током промышленной частоты (50 Гц) через электроды, расположенные на верхней и нижней гранях формы. Масса под действием переменного тока в течение 4–5 мин нагревалась до 90–100 $^{\circ}\text{C}$, и полистирол, проявляя свою активность, равномерно вспенивался по всему объему теплоизоляционного слоя.

В результате развиваемых внутренних усилий, достигавших 0,2–0,4 МПа, происходили уплотнение твердой фазы, отжатие из формы через перфорацию части воды затворения (до 70 %) и приформовывание пористого теплоизоляционного слоя к плотному. Между слоями разной плотности образовывался переходный слой за счет частичной коагуляции капилляров и пор выносимыми водой мелкодисперсными частицами глинозема. Толщину плотного и теплоизоляционного слоев выбирали, исходя из теплотехнического расчета, а также из конструктивных требований. Свежеотформованный сырец подсушивали на поддоне в течение 2 ч при температуре теплоносителя 110–120 $^{\circ}\text{C}$, далее следовал обжиг.

Количество воды затворения определялось удобоукладываемостью массы и возможностью внедрения в ее поверхность вспенивающихся зерен полистирола, т. е. обеспечением получения фасонной поверхности контакта слоев. Эти условия выполнялись при введении в смесь воды в количестве 42–45 %. В состав теплоизоляционного слоя в качестве твердых компонентов входило то же сырье плюс подвспененный полистирол (сверх 100 %), играющий роль уплотняющей и поризующей добавки. Подбор состава смеси для этого слоя производили по принципу достижения минимального различия в общей линейной усадке плотного и пористого слоев. Опыты показали, что снижение содержания в шихте электрокорунда и увеличение пористости материала приводят к некоторому росту огневой усадки. При этом различие в общей линейной усадке слоев не превышает 1,7 %.

При электродном прогреве самоуплотняющихся масс механизм внутреннего тепломассопереноса принципиально отличается от механизма тепломассопереноса при контактной сушке. При этом способе направление тепломассопотоков остается неизменным на всех стадиях термообработки. Максимальный перепад температур на стадии разогрева смеси между центральной зоной и периферийной не превышает 8 °С. Равномерный нагрев масс без существенных температурных перепадов и обеспечение практически однородного температурного поля создают предпосылки к ускорению подъема температуры без отрицательного воздействия на структурообразование двухслойного корундового изделия. Для практического применения рекомендуется электропрогрев самоуплотняющихся масс со скоростью 40–50 °С/мин.

Результаты экспериментов показывают, что окончательное вспенивание полистирола в самоуплотняющихся массах происходит в течение 50 мин; при этом основной расход электроэнергии приходится на пер-

вые 20 мин, т. е. в период разогрева смеси. В дальнейшем необходимо лишь поддерживать температуру на уровне 80–100 °С. При таком режиме электропрогрева общий расход электроэнергии составляет 76,5 кВт · ч на 1 м³ изделий. После окончания механического отжатия влаги из формуемых масс и раскрытия формы в структуре сырца еще остается часть воды затворения, однако удаление такой влаги при конвективной сушке допускает применение форсированных режимов, так как за счет уплотнения твердой фазы при электропрогреве частицы электрокорунда создают безусадочный каркас.

Следует учитывать, что сырец после распалубки имеет температуру 60–70 °С, поэтому подсушку сырца производили прямоточным методом при 120–130 °С до остаточной влажности 3–4 %. Продолжительность сушки при этом составляла 2–3 ч для изделий в виде кирпича и 3–4 ч для блоков на 3 кирпича. Сочетание электропрогрева с конвективной сушкой позволило организовать сушку сырца за 3–5 ч. Ввиду высокой прочности сырца (0,6–0,8 МПа) погрузка изделий на печные вагонетки может выполняться автоматами.

Таким образом, предложен режим обжига изделий при 1550–1600 °С с выдержкой при максимальной температуре 4 ч. Изделия не подвергаются обрезке и шлифованию. Результаты определения основных свойств разноплотных корундовых изделий показали, что полученные методом самоуплотнения изделия со средней кажущейся плотностью 1200–1500 кг/м³ имеют дополнительную усадку при 1650 °С 0,5 %, теплопроводность при температуре на горячей поверхности 1400 °С 0,689 Вт/(м · К). Разработанный способ позволяет совместить на этапе формования уплотнение масс, их обезвоживание, обеспечение четких граней и ребер, хорошей лицевой поверхности, выштамповывание любого профиля изделий, например пазогребневых.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ПЛАВЛЕНОЛИТЫЕ ХРОМСОДЕРЖАЩИЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ ПЛАВКИ АЛЮМОБОРОСИЛИКАТНОГО СТЕКЛА Е

© Д. т. н. **В. А. Соколов**¹, к. т. н. **С. В. Махов**²

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

² ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет (МИСиС)»,
Москва, Россия

Основой для производства наиболее распространенных пластиков общего назначения являются бесщелочные алюмоборосиликатные расплавы (стекло Е). Такие стеклопластики, обладающие высокими прочностью и электрической стойкостью, применяются для изготовления электроизоляционных, конструкционных и теплоизоляционных материалов. Расплавы стекла Е при температуре варки 1570 °С характеризуются исключительно высоким коррозионным воздействием на футеровку плавильных печей с разрушением в короткий срок практически всех типов выпускаемых

промышленностью огнеупоров. Единственными материалами, обеспечивающими необходимую кампанию стекловаренных печей на предприятиях стекловолокна, являются хромосодержащие и хромосодержащие огнеупоры. Высокая огнеупорность и химическая инертность оксида хрома послужили основанием для создания керамических хромосодержащих огнеупоров (> 90 % Cr₂O₃), характеризующихся чрезвычайно высокой коррозионной стойкостью при высоких температурах в минеральных расплавах (стекловолокно, минеральная вата, базальтовое волокно и др.). Отсут-

ствие в России специализированного производства таких огнеупоров ведет к зависимости отечественных предприятий от зарубежных поставок хромоксидных огнеупоров, стоимость которых превышает 30 тыс. евро за 1 т.

Альтернативой керамическим хромоксидным огнеупорам являются отечественные плавнелитые хромсодержащие огнеупоры, содержащие более 45 % Cr_2O_3 . Так, опытно-промышленные партии плавнелитого хромалюмоцирконового огнеупора ХЦ-45 прошли успешные испытания в промышленных печах при варке стекла Е ступинского завода «Стеклопластик», продлив их кампании в 2–3 раза. Для повышения коррозионной стойкости огнеупоров типа ХЦ-45 исследовали плавные материалы системы $\text{MgO}-\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Одновременно ставилась задача сокращения использования в составе огнеупора диоксида циркония — дефицитного и дорогостоящего сырьевого компонента.

Для опытно-промышленного производства и применения в печах по производству стекла Е разработан плавнелитой хромсодержащий огнеупор типа ХПЛ-85 следующего химического состава, %: Cr_2O_3 80,3, SiO_2 11,2, Al_2O_3 4,0, MgO 2,1, ZrO_2 0,9, Na_2O 1,2. Структура огнеупора представлена кристаллической частью, состоящей из 65 об. % эсколаита и 15 об. % шпинели, а также стеклофазой в количестве до 20 об. %. Высокую коррозионную стойкость огнеупору обеспечива-

ют эсколаит и алюмохромомagneзиальная шпинель с повышенным содержанием Cr_2O_3 . Присутствие достаточно высокого количества стеклофазы способствует повышению жидкотекучести расплава, хорошему заполнению литейных форм и снижению трещиноватости огнеупорных изделий. Одновременно следует отметить, что стеклофаза, обычно являющаяся наименее стойким структурным компонентом, в данном огнеупоре вследствие высокой степени ситаллизации игольчатыми кристаллами Cr_2O_3 обладает повышенными вязкостью и тугоплавкостью, что улучшает эксплуатационные характеристики огнеупора.

Испытания огнеупора ХПЛ-85 в расплаве бесщелочного алюмоборосиликатного стекла Е показали его равную коррозионную стойкость с керамическими хромоксидными огнеупорами ХСУ (Опытный завод ОАО «УкрНИИО имени А. С. Бережного, Украина) и С1215 (SEPRO, Франция). Следует отметить, что плавнелитые хромсодержащие огнеупоры, аналогично разработанным в России, широко применяются за рубежом в самых разных производствах (стекло- и минеральное волокно, утилизация радиоактивных отходов и др.). Разработана технологическая и конструкторская документация для опытно-промышленного получения хромсодержащего огнеупора ХПЛ-85, которая является основой для создания отечественного производства плавнелитых коррозионно-стойких материалов.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СИНТЕЗ СИЛИЦИДНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИСИЛИЦИДА МОЛИБДЕНА В РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© Д. т. н. А. М. Столин^{1,2}, М. В. Михеев^{1,2}, к. т. н. П. М. Бажин^{1,2}, к. т. н. Д. В. Кузнецов²

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

² ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет (МИСиС)», Москва, Россия

Одним из перспективных методов получения силицидной керамики является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Метод СВС основан на использовании внутренней энергии исходных компонентов. Особенность метода заключается в возможности протекания самораспространяющейся реакции в узкой зоне, которая перемещается по всему веществу за счет теплопередачи после локального кратковременного инициирования в исходной смеси реагентов.

Среди силицидной керамики наиболее распространена керамика из дисилицида молибдена MoSi_2 . Она характеризуется малым электрическим сопротивлением (170–200 мкОм · см), стойкостью в окислительных средах (до 1700 °С), расплавах металлов и солей. Из материала на основе MoSi_2 изготавливают высокотемпературные нагревательные элементы (ВНЭ), используемые в печах электросопротивления для разогрева до температур 1700 °С. ВНЭ производят по технологиям порошковой металлургии за десятки часов на разных установках, в несколько технологических стадий. Кроме того, при изготовлении ВНЭ используется пластифици-

катор — бентонитовая глина, которая необходима на стадиях формования и спекания. После выполнения своих функций полностью отжечь ее не удастся, что ухудшает физико-механические свойства ВНЭ.

Мало исследованной, но перспективной задачей представляется получение плотных изделий из силицидной керамики в условиях сочетания процесса горения с высокотемпературным деформированием под действием внешних механических воздействий. Это сочетание реализуется в методах СВС-экструзии и СВС-сжатия. В этих методах 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 (интервале переработки) от температуры горения (1900 К) до температуры живучести (1750 К), выше которой материал обладает еще способностью к пластическому деформированию, а ниже затвердевает и теряет свои пластические свойства. Сама способность

к макроскопическому течению зависит как от уровня реологических свойств (предела текучести, сдвиговой и объемной вязкости), так и от влияния на них структурных процессов (рост и коагуляция зерен) отверждения и условий деформирования.

В настоящей работе в качестве объектов исследования были выбраны исходные порошки Mo, MoO₃, Si, Al. Выбор этих компонент обусловлен тем, что при горении образуется 85–95 мас. % MoSi₂ и 5–15 мас. % Al₂O₃, что приводит к повышению удельного электрического сопротивления в синтезированном материале; Al₂O₃ практически не взаимодействует с MoSi₂ и входит в состав промышленных нагревателей в том же количестве.

Использование процесса пластического деформирования приводит к более полному фазообразованию в материале, при этом непрореагировавшие объемы исходных порошков не наблюдаются. Первые испытания образцов показали, что они хорошо выдерживают тепловые нагрузки до температур 1650 °С и выше. Никаких видимых изменений — существенного роста зерен и увеличения размеров пор — в образцах не происходит. Это объясняется тем, что в состав материала, получаемого СВС-методами в условиях механических воздействий, не входят легкоплавкие и легколетучие компоненты, а входит лишь Al₂O₃, выполняющий роль диэлектрической составляющей с температурой плавления 2050 °С.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

СВОЙСТВА ПЕРИКЛАЗОВЫХ КАРБЕНИРОВАННЫХ ОГНЕУПОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УГЛЕРОДИСТЫХ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ГРАНУЛ

© Д. т. н. С. А. Суворов, к. т. н. В. В. Козлов, к. т. н. Н. В. Арбузова

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

Известные данные по составам масс и способам получения карбенированных огнеупоров свидетельствуют о том, что имеются пути, направленные на улучшение физико-технических и потребительских свойств огнеупоров за счет совершенствования их фазового состава. Это — введение антиокислительных добавок и их комбинаций, поиск альтернативных фенолформальдегидной смоле и пеку типов связующих, формирование более плотного и менее дефектного кокса углеродистой матрицы с применением сочетаний смолы, пека и гибридной сажи.

Считается, что главным фактором, предопределяющим скорость износа карбенированных огнеупоров, является окисление углеродистого каркаса, приводящее к деградации структуры материала. В многокомпонентных системах, содержащих огнеупорный наполнитель в виде крупной, средней и тонкодисперсной фракций, углеродистый ингредиент, пластификатор, антиокислительные добавки и др., создаются серьезные технологические проблемы с равномерным и воспроизводимым распределением ингредиентов в объеме смеси, вызванные изменениями физико-химических свойств образующейся массы по мере взаимодействия ингредиентов.

Анализ технических решений по вещественному составу масс карбенированных огнеупоров и способам их образования обнаруживает отсутствие интегрирующего решения, касающегося направленного формирования текстуры массы и структуры карбенированных огнеупоров. В рамках данного исследования разработаны состав и способ образования массы для получения карбенированных огнеупоров с плотной ненапряженной структурой, повышенной прочностью, высоким сопротивлением к окислению. Это достигается направленной организацией текстуры массы и структуры огнеупора управляемым распределением промотора образования карбидных и оксикарбидных фаз (которым является тонкодисперсный порошок металлического алюминия), модифицированной дис-

персной смеси периклаза, металлического алюминия, фенолформальдегидной смолы, пека, графита между нетермопластичным углеродистым ингредиентом (графитом), коксом углеродистой матрицы и огнеупорным зернистым наполнителем (периклазом) полифракционного состава. Структура огнеупора с введением углеродистой составляющей в виде пластифицирующих гранул состоит из агрегатов зерен периклаза размерами 0,5–3,0 мм и их цементирующей связки. Связка включает чешуйчатый графит размерами 0,02–0,30 мм, зерна периклаза мелких фракций (0,1–0,3 мм), частицы тонкодисперсного периклаза и металлического алюминия размерами 0,007–0,020 мм, между которыми располагается углерод органического связующего.

Пористость термообработанных образцов не превышает 3,0 %. Поры заполнены углеродом органического связующего в виде слоя толщиной 0,030–0,015 мм, изолированы и не сообщаются. Образец со стандартным (принятым) введением графита и связующего отличается от него более высокой пористостью; при этом преобладают сообщающиеся поры размерами 0,01–0,03 мм, трещиновидные и кольцевые шириной 0,02–0,07 мм. Заполнения пор органической связкой не происходит.

Введение пластифицирующих гранул, выполняющих функцию временного препрега, приводит к значительному улучшению термомеханических характеристик карбенированных огнеупоров. При этом добавка металлического алюминия должна быть распределена между углеродистым ингредиентом (гранулы) и огнеупорным минеральным тонкодисперсным наполнителем (смесь совместного помола периклаза, графита, порошка фенолформальдегидной смолы, пека, порошка металлического алюминия). Сочетание углеродистых остатков фенолформальдегидной смолы и термопластичного пека в связующем обеспечивает образование менее дефектной структуры коксового остатка, чем в случае использования этих компонентов индивидуально, а также улучшает

примерно в 2 раза термомеханические характеристики и повышает сопротивление окислению периклазового карбонированного огнеупора.

Свойства периклазовых карбонированных огнеупоров, содержащих примерно 10 мас. % углерода, характеризуются следующими средними показателями: после термообработки при 250 °С — открытая пористость 3,1 %, предел прочности при сжатии 84,0 МПа; после коксующего обжига при 1000 °С — открытая пористость 12,6 %, предел прочности при сжатии 50,3 МПа;

после обжига при 1300 °С в воздушной среде — открытая пористость 24,9 %, предел прочности при сжатии 43,5 МПа. Толщина обезуглероженной зоны после обжига при 1300 °С 4,0–5,0 мм, при 1530 °С 5,5–7,5 мм.

При промышленных испытаниях разработанных периклазовых карбонированных (~10 мас. % С) изделий в шлаковом поясе ковша ЭСПЦ достигнуто повышение ресурса этой зоны на 34 % по сравнению с применяемыми в ней периклазоуглеродистыми изделиями промышленного выпуска.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

КОРУНДОЦИРКОНИЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

© Д. т. н. С. А. Суворов, к. т. н. И. А. Туркин

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

В наших работах формируется новое направление в развитии материаловедения композиционных оксидных высокотемпературных материалов конструкционного назначения: получение наноструктурированных корундоциркониевых материалов с привлечением электромагнитного поля (ЭМП) СВЧ-диапазона для эффективного управления образованием зернограничной наноразмерной фазы, залечивание микро- и макродефектов в поликристаллической структуре. Инновационные составляющие: формирование внутренних источников теплоты и нанофрагментирование структуры; самоорганизация фрагментов и элементов микроstructures фаз; декристаллизация (уменьшение) размерности кристаллов фаз; механизм уплотнения материала под действием пондеромоторных сил; локализация тепловыделения на дефектах и их сраствливание.

В процессе СВЧ-термообработки под действием пондеромоторных сил ЭМП происходит развитие процесса микропластической деформации фазы на основе диоксида циркония по пленкам эвтектического расплава за счет локального перегрева контактных по-

верхностей фаз в условиях скоростного разогрева материалов внутренним источником тепла. Поверхность скола материала образца после СВЧ-термообработки представляет собой монолитное образование, сложенное зернами корунда и прослойками фазы на основе диоксида циркония. В структуре этой фазы отсутствуют фрагменты размерами более 100 нм. Фаза на основе диоксида циркония образует наноструктуру с эвтектикой и областями колоний наноразмерных доменных образований диоксида циркония.

Высокотемпературная обработка в СВЧ-печи обеспечивает устойчивый воспроизводимый эффект значительного повышения прочности на разрыв, модуля Вейбулла, вязкости разрушения $K_{1\sigma}$ а также снижения разброса значений показателей до 5–15 % (см. таблицу).

Реализованы научные и прикладные принципы сопряжения технологии получения и нормализации свойств корундоциркониевых наноструктурированных огнеупорных материалов способом эффективного управления состоянием межзеренной фазы в поликристаллических системах в ЭМП СВЧ.

Показатель	Конвективное спекание	С дополнительной СВЧ-термообработкой
Модуль упругости E_y , ГПа	340 ± 10	390 ± 10
Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа	590 ± 30	1190 ± 60
Предел прочности при разрыве $\sigma_{разр}$, МПа	270 ± 30	540 ± 40
Твердость, ГПа (нагрузка на индентор)	11–12 (30 кг)	18–19 (30 кг) 17–18 (100 кг)
Трещиностойкость (индентированием), МПа · м ^{1/2}	6–8	24–28

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ОБЖИГА ИЗВЕЕСТОБЖИГАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

© К. т. н. Л. В. Узберг¹, к. ф.-м. н. В. М. Устьянцев²

¹ ОАО «ВНИИМТ», г. Екатеринбург, Россия

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

В период освоения работы новой известеобжигательной печи на ОАО ПНТЗ (г. Первоуральск Свердлов-

ской обл.) было замечено, что в продуктах обжига наряду с целевым продуктом — комовой известью,

имеющей белый цвет, наблюдаются отдельные конгломераты серого, бурого и коричневого цветов. Исследованию подвергались именно эти конгломераты.

Анализ проводили на рентгеновском дифрактометре модели «MiniFlex 600» фирмы «Rigaku», Япония. Возможности установки позволяют оценить качественный и полуколичественный фазовые составы исследуемых проб. Первые результаты анализа рыхлого вещества светло-серого цвета слоистого строения показали, что его фазовый состав представлен кремнеземистыми соединениями (> 26 %) и рядом силикатов кальция различной основности (> 70 %). Это дало основание предположить, что исследованная проба является продуктом обжига кремнистого сланца.

По информации из различных источников известно, что минеральный состав кремнистых сланцев разнообразен. В общем виде кремнисто-сланцевая формация содержит в качестве второстепенных составляющих известняки, доломитизированные из-

вестняки и доломиты. Кроме того, имеются сведения о присутствии в них полевых шпатов. Результаты дальнейших исследований продуктов обжига известью обжигающей печи показали, что продукты, отличающиеся от целевого продукта — комовой извести структурой и цветом, появляются в результате взаимодействия кремнистого сланца и его примесей (полевого шпата, доломита) с известняком. Кремнистый сланец, содержащий до 60 % SiO_2 , является кислым продуктом, который может корродировать огнеупорную футеровку зоны известью обжигающей печи, выполненную из основных периклазошпинельных огнеупоров. Прямых доказательств коррозии футеровки не выявлено. Привнос кремнистого сланца в шихту для обжига известняка нежелателен, так как он снижает выход целевого продукта, оказывает корродирующее действие на футеровку зоны обжига печи, содержит легкоплавкие примеси, которые способствуют появлению оплавленных участков в столбе обжигаемого материала и снижению газопроницаемости слоя.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ

РАЗРАБОТКА И ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ СВС-ЭКСТРУЗИИ

© А. П. Чижиков^{1,2}, к. т. н. П. М. Бажин^{1,2}, д. т. н. А. М. Столин^{1,2},
к. т. н. Д. В. Кузнецов²

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

² ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет (МИСиС)»,
Москва, Россия

Благодаря уникальным свойствам изделий, получаемых на основе ультрадисперсных и нанокерамических частиц, наблюдается повышенный интерес к наноструктурам. Становятся актуальными работы в области материаловедения, направленные на создание материалов с уникальными свойствами на базе использования нанотехнологий. Перспективным объектом исследования в этом плане является корундоциркониевая керамика. Достижение наноструктуры в корундоциркониевой керамике позволит создать материалы с высокими эксплуатационными характеристиками для различных отраслей промышленности, таких как металлообработка, машиностроение и др. По некоторым оценкам, корундоциркониевая керамика может иметь коэффициент трещиностойкости $K_{1c} \approx 30 \div 40 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ и предел прочности при изгибе $\sigma_{изг} \approx 8000 \text{ МПа}$. Такими свойствами в настоящее время не обладает ни один конструкционный материал. Достижение таких свойств возможно в керамике с наноструктурой.

В данной работе используется принципиально новый метод СВС-экструзии, который сочетает горение с последующим пластическим деформированием синтезированных материалов. Первичные частицы СВС-продукта, образующиеся во фронте горения, являются субмикронными и наноразмерными. Действие

интенсивного пластического деформирования позволяет получить наноструктурный материал с равномерным распределением частиц по объему образца, а высокая скорость охлаждения препятствует процессам рекристаллизации и агломерации. В качестве объекта исследования была выбрана керамика на основе системы $\text{TiC-TiB}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$. В работе представлены результаты исследований, показывающие возможность получения длинномерных изделий из композиционных керамических наноматериалов методом СВС-экструзии. Установлено, что получение наноразмерных элементов структуры материала регулируется режимными параметрами технологического процесса и специальным выбором исходного состава экзотермической смеси. Обсуждаются экспериментальные результаты исследований микроструктуры и свойств полученного наноструктурного композита. Изучены закономерности влияния сдвигового пластического деформирования в процессе СВС-экструзии на микроструктуру и размеры структурных составляющих синтезируемого керамического композита. Полученные композиционные керамические материалы имеют наноструктуру, равномерное распределение фаз по объему образца, низкую пористость (не более 5 %) и высокую микротвердость (до 2100 кг/мм^2).

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И РАЗРАБОТКИ**ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА РАФИНИРОВОЧНОГО ШЛАКА НА СТОЙКОСТЬ
ФУТЕРОВКИ АГРЕГАТА ПЕЧЬ-КОВШ**© Д. Т. Н. О. Ю. Шешуков¹, к. т. н. И. В. Некрасов¹, к. т. н. М. А. Михеенков¹, Д. К. Егизарьян¹,
к. г.-м. н. Л. А. Овчинникова¹, д. т. н. И. Д. Кашцев², к. т. н. К. Г. Земляной²,
к. т. н. В. А. Каменских²¹ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия² ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

Широкое использование высокоосновных шлаков для рафинирования стали в агрегатах ковш-печь (АКП) выявило ряд проблем, связанных со стойкостью футеровки. Верхний пояс футеровки АКП, непосредственно соприкасающийся со шлаком, выполняется из периклазографитовых огнеупоров, имеющих наиболее высокую стойкость от воздействия высокоосновных рафинировочных шлаков. Фазовый состав рафинировочных шлаков характеризуется присутствием в них значительного количества белита C_2S , имеющего несколько полиморфных модификаций. При проникновении такого шлака в глубину футеровки и дальнейшем ее охлаждении ниже температуры образования низкотемпературной модификации белита — $\gamma-C_2S$ возможно разрушение футеровки за счет увеличения объема шлака при переходе $\beta-C_2S$ в $\gamma-C_2S$. При рафинировании сталей транспортного назначения рафинировочные шлаки содержат значительное количество SiO_2 , который может вступать в реакции с основной футеровкой АКП, вызывая ее эрозию.

При проведении работы изучали влияние фазового состава рафинировочных шлаков на стойкость футеровки АКП в широком диапазоне фазового состава шлаков, охватывающем все случаи рафинирования стали. Иссле-

дования проводили с применением методов симплекс-решетчатого планирования. Фазовый состав шлаков по содержанию основных оксидов укладывается в область фазовой диаграммы $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ при содержании CaO от 40 до 80 мас. %, SiO_2 от 10 до 50 мас. %, Al_2O_3 от 10 до 50 мас. %. Помимо основных оксидов шлаки содержали оксиды, всегда присутствующие в рафинировочных шлаках, — MgO , MnO , FeO , Cr_2O_3 .

Результаты эксперимента позволили выявить фазовый состав шлаков в различных областях факторного плана и влияние фазового состава шлаков на стойкость футеровки АКП. Установлено, что наиболее интенсивно футеровка разрушается в областях факторного плана со значительным содержанием CaO (за счет полиморфизма C_2S) и SiO_2 (за счет химического взаимодействия SiO_2 с футеровкой).

* * *

Прикладные научные исследования (проект) проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России по Соглашению № 14.604.21.0097 о предоставлении субсидии от 08.07.2014 (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0097).

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ В УСЛОВИЯХ
ККЦ № 2 ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»**

© А. В. Амелин, А. М. Коверзин, С. В. Толстов, А. В. Календа, С. А. Катанаев

ОАО «Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат», г. Новокузнецк, Россия

В докладе отражены результаты перевода 350-т сталеразливочных ковшей на шиберный затвор типа «книжка». Приведена информация об опытах по торкретированию рабочего слоя футеровки 350-т сталеразливочных ковшей, о применении техноло-

гии SHOT-кретирования для защиты верхней металлической обечайки кожуха сталеразливочного ковша. В 2014 г. достигнуты положительные результаты при эксплуатации сталеразливочных ковшей ККЦ № 2.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**АНАЛИЗ ФУТЕРОВКИ ОБЖИГОВЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ**

© К. Т. Н. И. С. Вохмякова, к. т. н. В. А. Горбачёв, к. т. н. А. А. Солодухин

ООО «НПВП ТОРЭКС», г. Екатеринбург, Россия

Обжиговая конвейерная машина (ОКМ) является тепловым агрегатом непрерывного действия, предназначенным для упрочнения и окисления железорудных окатышей. Процесс тепловой обработки окатышей на конвейерной машине заключается в их сушке, нагре-

ве до требуемой температуры, обжиге и последующем охлаждении. Для этого окатыши равномерно укладывают на обжиговые тележки, образующие непрерывно движущуюся по замкнутому направляющим ленту конвейера.

Над рабочей ветвью ленты обжиговых тележек с окатышами расположено печное пространство, образованное горнами и колпаками, а под рабочей ветвью конвейера — газовоздушные камеры, служащие для подвода или отвода газов и воздуха через слой окатышей. Тележки с окатышами последовательно проходят технологические зоны обжиговой машины. По длине обжиговая машина разделена на технологические зоны: сушки, нагрева, обжига и охлаждения, а также имеет технологические элементы: переточные коллекторы, опускные патрубки и форкамеры, предназначенные для транспортировки высокотемпературных рециркуляционных газов и смешивания продуктов сгорания природного газа со вторичным переточным газом соответственно. Технологические зоны/элементы отличаются друг от друга как конструкцией, так и условиями работы. Например, в зоне сушки удаляется влага из обрабатываемого материала при 50–60 °С, обжиг осуществляют при 1200–1350 °С; транспортируемый теплоноситель характеризуется высокой запыленностью. При перегрузках окатышей и их перемещении на обжиговой машине образуется пыль, которая потоком газа выносится из слоя. Частицы тонкодисперсной пыли (FeO , Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , S, P) оседают на поверхности футеровки и под воздействием высоких температур оплавляются, образуя гарнисаж. Таким образом, футеровка обжиговой машины работает в следующих условиях: продолжительный период эксплуатации (7920 ч/год), различные значения температур, скорости газа, давления/разрежения по длине, запыленность и гарнисаж, а также периодические циклы ее разогрева и охлаждения.

В 1964–1985 гг. футеровку обжиговых машин, построенных на территории бывшего СССР, выполняли из штучных огнеупорных и теплоизоляционных изделий МКС-80, МКС-72, МЛС-62, ШЛ-1,3, ШЛ-0,4. В качестве промежуточной и наружной теплоизоляции использовали МКРП-340, асбест. Огнеупорная кладка на некоторых ОКМ, эксплуатируемых в настоящее время, выполнена только из штучных изделий.

Развитие огнеупорной промышленности в СССР и использование огнеупоров при подготовке железорудного сырья определили активное применение торкрет-бетона с середины 80-х годов XX века на ОКМ. Это позволило повысить стойкость футеровки (отсутствие швов), сократить продолжительность ремонтов, увели-

чить межремонтные периоды, снизить затраты на проведение футеровочных работ и др. При этом рабочий слой футеровки в высокотемпературных зонах (нагрев, обжиг) выполняли из муллитовых и муллитокорундовых штучных изделий.

В 2000-х годах на Северном горно-обогатительном комбинате (Украина) проведена полная замена штучных огнеупорных изделий на волокнистые изделия с использованием шамотно-волокнистых плит для лицевой стороны футеровки, что уменьшило нагрузку на металлоконструкции и обеспечило низкую температуру на их поверхности (60–70 °С, в том числе на поверхности металлоконструкций высокотемпературных зон), сократило расход топлива. Однако эксплуатация облегченной футеровки на ОКМ в течение двух лет показала нецелесообразность использования волокнистых изделий в качестве рабочего слоя футеровки. Высокая запыленность газовых потоков обусловила зарастание пор волокнистых материалов, что ухудшило их теплофизические свойства и привело к разрушению футеровки. Следует отметить, что нанесение защитного огнеупорного покрытия (обмазки) на открытую поверхность плиты, а также правильное ее обслуживание позволили бы предотвратить воздействие пыли на огнеупорный материал и увеличили продолжительность его эксплуатации.

За последние 15 лет в тепловых агрегатах начали применяться низкоцементные огнеупорные бетоны (НЦОБ), имеющие более высокие показатели, чем традиционные при низком содержании воды для затворения (3–7 %). Использование НЦОБ для футеровки ОКМ целесообразно для многих ее технологических зон и элементов. Продолжительная эксплуатация такой футеровки на зарубежных ОКМ показала отсутствие трещин, сохранение монолитности, снижение потерь тепла. Кроме того, сроки монтажа футеровки при использовании НЦОБ, сроки схватывания, продолжительность процесса удаления влаги при вводе теплового агрегата в эксплуатацию и межремонтные периоды значительно сократились. Таким образом, использование НЦОБ является перспективным как для вновь создаваемых, так и для существующих ОКМ. Следует отметить, что НЦОБ, активно используемые в России во вращающихся печах, сталеразливочных ковшах, холодильниках и т. д., производятся на отечественных огнеупорных предприятиях и при этом не уступают по своим характеристикам импортным.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ ФУТЕРОВКИ СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ ККЦ ОАО ЧМК

© К. т. н. Р. Р. Гареев

ОАО «Челябинский металлургический комбинат», г. Челябинск, Россия

В сообщении поднимается тема целесообразности оптимизации затрат на футеровку сталеразливочных ковшей Челябинского металлургического комбината. Отдельно рассматривается актуальность проведения работ, направ-

ленных на совершенствование схемы футеровки, а также производится оценка уровня затрат на футеровку парка сталеразливочных ковшей и их доли в общем объеме затрат на огнеупорные материалы в целом по комбинату.

Анализируются изменения технико-экономических показателей эксплуатации футеровки сталеразливочных ковшей ККЦ с 2004 по 2014 г. Представлены этапы проведения комплексных мероприятий по изменению схемы футеровки сталеразливочных ковшей, проведенных для их адаптации к изменениям технологических процессов выплавки и внепечной обработки стали в ККЦ с последующей оценкой полу-

ченных результатов по факту их внедрения. Освещено существующее положение дел, касающееся футеровки сталеразливочных ковшей ККЦ. Продемонстрирована действующая схема футеровки, как являющаяся оптимальной на данный момент по уровню удельных показателей, так и отвечающая всем существующим параметрам технологического процесса выплавки и обработки металла в ККЦ ЧМК.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОМПАНИИ «КЕРАЛИТ» ДЛЯ ФУТЕРОВКИ СИСТЕМЫ ЖЕЛОБОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

© И. В. Егоров, А. Ю. Попов, М. А. Засолоцкий
ООО «Кералит», Москва, Россия

На основании опыта эксплуатации материалов компании «Кералит» на металлургических предприятиях России и Украины были разработаны типовые решения для комплексной футеровки желобов доменных печей. Типовые решения основаны на использовании огнеупорных неформованных и формованных изделий компании «Кералит».

Показаны преимущества и область применения формованных изделий, представлены данные по стойкости неформованных и формованных изделий при эксплуатации в желобах доменных печей.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАРБИДКРЕМНЕВОГО БЕТОНА ПОСЛЕ СЛУЖБЫ В ПОДИНЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

© К. т. н. В. А. Каменских, д. т. н. И. Д. Кашеев, А. А. Гуляев
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Екатеринбург, Россия

На основе технологических исследований разработаны оптимальные составы карбидкремневого бетона для различных условий службы, в состав которых входят ультрадисперсные частицы микрокремнезема, вяжущее и электроплавленный корунд. Разработанные бетоны не разупрочняются при нагревании и обладают высокими эксплуатационными характеристиками: предел прочности при сжатии после термообработки при 400 °С 40–80 МПа, при 1300 °С 50–85 МПа; термостойкость (1300 °С – вода) более 45 теплосмен; отсутствие объемных и линейных изменений при нагревании.

Для изготовления подины использовали различные марки отечественного карбида кремния разной зернистости, высокоглиноземистый цемент производства Подольского цементного завода. Подину заливали с помощью глубинного вибратора с последующей выдержкой в течение 3 сут для набора прочности, сушили и термообработывали при 1200 °С. Результаты исследования свойств образцов-спутников после термообработки показали: после сушки образцы имели предел прочности при сжатии 45–50 МПа, открытую пористость 17–21 %. Во всем интервале температур образцы не разупрочняются и не имеют усадки, предел прочности при сжатии после термообработки при 1200 °С составил 75 МПа.

После эксплуатации в течение 5 мес печь была остановлена. Визуальный осмотр подины показал, что поверхность бетонной подины ровная, оплавление или

износ отсутствуют. В процессе службы при 1200 °С карбидкремневый бетон расширяется на 5,5–6,5 мм на 1 м. Практика эксплуатации подины показала, что карбид кремния устойчив (не окисляется) на воздухе до 1250 °С. Интенсивная продувка бетона воздухом снижает температуру его службы; происходит окисление тонких фракций карбида кремния до оксида кремния.

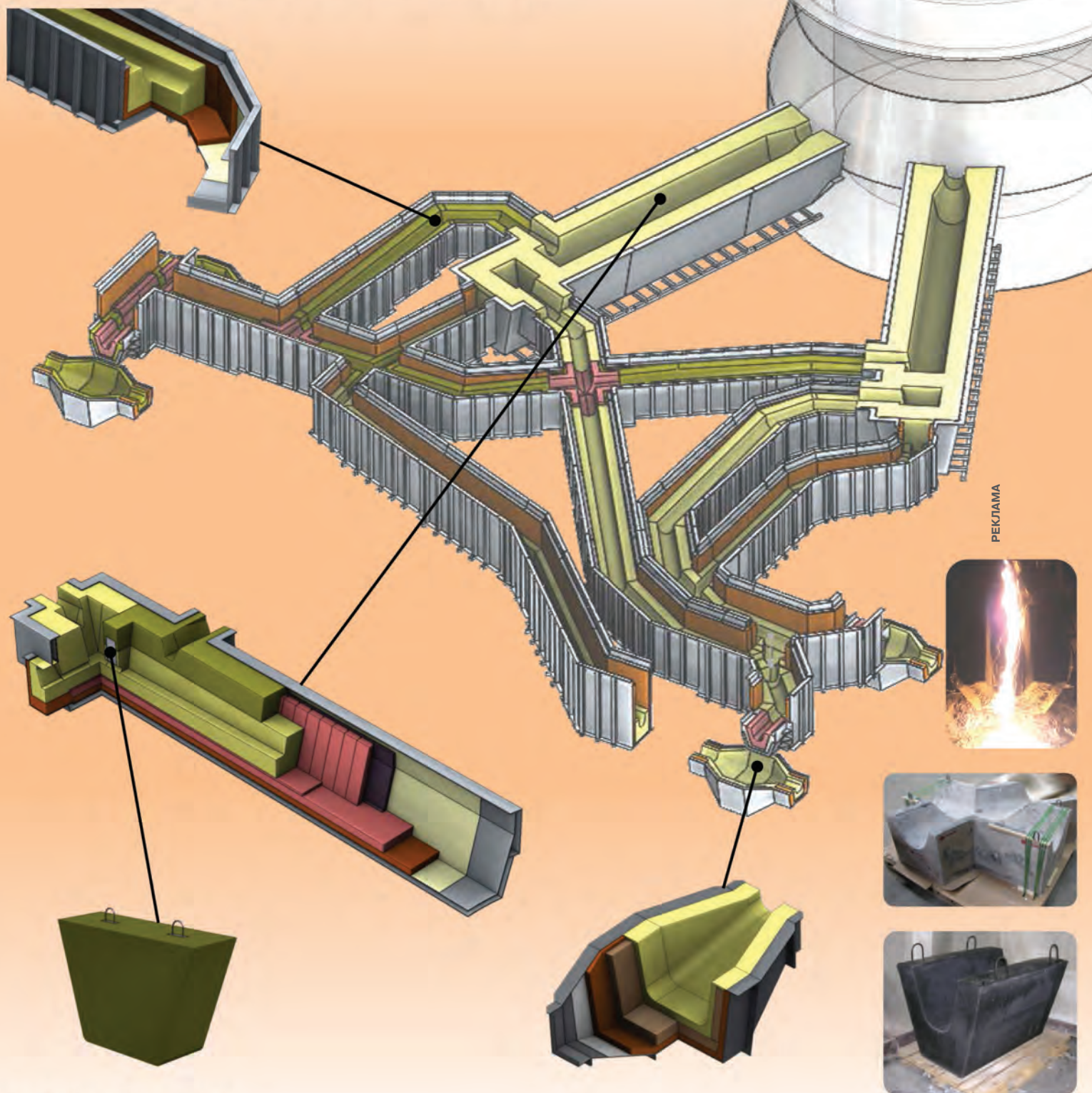
Результаты химического анализа бетона до и после службы показали: убыль SiC в бетоне после службы составила примерно 30 %; увеличение количества SiO₂ в бетонной футеровке после службы составило 24 %, что свидетельствует об окислении части SiC. Результаты рентгенофазового анализа бетона после службы показали образование примерно 8 % кристобалита. Следовательно, приблизительно 16 % SiO₂ находятся в виде кварцевого стекла, количество которого зависит в основном от содержания тонких фракций (350–50 мкм) карбида кремния. Переход SiC в SiO₂ сопровождается увеличением объема из-за разности плотностей, поскольку плотность карбида кремния 3,1 г/см³, кварцевого стекла 2,2 г/см³, кристобалита 2,34 г/см³. Окисление 30 % карбида кремния сопровождается линейным расширением примерно на 12 %.

В настоящее время бетон успешно эксплуатируется в подине в течение трех лет. Для защиты бетона от окисления разработано защитное покрытие, которое позволяет значительно повысить температуру и срок службы бетона.



кералит

**Эффективные технологические
решения для футеровки систем
желобов доменных печей**



ООО «КЕРАЛИТ»

г. Москва, ул. Люсиновская, д. 36, стр. 1



+ 7 (495) 789-65-32



**technic@keralit.com
engineering@keralit.com**

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛЫХ КОРУНДОВЫХ МИКРОСФЕР В КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЯХ**© Докт.-инж. **М. Н. Кудряш, Д. А. Тарасов, А. А. Тарасов**
ООО «Кит-Строй СПб», Санкт-Петербург, Россия

Представлены характеристики полых корундовых микросфер (ПКМ), оценка технологичности изготовления конечных изделий с их использованием в качестве наполнителя и порообразователя, а также результаты

измерения прочности при сжатии образцов, их теплопроводности и остаточные изменения размеров после обжига. Описаны основные и перспективные области применения ПКМ в промышленности.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА ГРУППЫ МАГНЕЗИТ И ГУП «ЛПЗ»**© **П. В. Плюхин¹, А. М. Архипов¹, М. А. Чашкин¹, В. Г. Новиков², В. В. Ишутин²**¹ ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия² ГУП «ЛПЗ», г. Ярцево Смоленской обл., Россия

С развитием технологии металлургического производства изменяются требования к используемым огнеупорным материалам, включая требование оптимизации отношения цена/качество, естественно, при достойной стойкости футеровки. Получение положительных служебных характеристик и развитие дальнейшего потенциала, направленного на увеличение стойкости футеровки, напрямую зависят от тесного сотрудничества с потребителем: Группы Магнезит и ГУП «ЛПЗ» (г. Ярцево).

Литейно-прокатный завод начал свое сотрудничество с Группой Магнезит с 2013 г. как с основным поставщиком огнеупорной продукции. Из широчайшего ряда поставщиков огнеупорной продукции работники ГУП «ЛПЗ» отдали свое предпочтение огнеупорным материалам, изготовленным на Саткинской производственной площадке. Основные факторы этого предпочтения — высокая стойкость футеровки, а также видимые перспективы ее роста.

Специалистами Группы Магнезит разработаны новые дизайн-проекты оптимальных вариантов футеровки как для дуговой сталеплавильной печи (ДСП), так и для сталеразливочных ковшей (СК); осуществлялись шеф-монтажные функции при выполнении футеровки. Совместный анализ состояния футеровки и режимов ведения плавки позволил внести коррективы и в проекты, и в технологию ухода за футеровкой ДСП и СК. Цель сотрудничества — совершенствование тех-

нологии применения огнеупорных материалов, снижение затрат на футеровку и увеличение межремонтной стойкости агрегатов. В результате совместных работ в 2014 г. были достигнуты следующие результаты (в сравнении с 2012 г. до начала сотрудничества):

- средняя стойкость футеровки ДСП увеличилась с 722 до 2070 плавов (187 %), рекордный показатель 2318 плавов;

- продолжительность кампании печи повысилась с 40 до 109 сут;

- средний тоннаж выпущенного металла за кампанию печи увеличился на 200 %;

- расход ремонтных материалов на кампанию печи снизился в 5 раз;

- стойкость свода из штучных изделий составляла порядка 350 плавов, максимально достигнутая стойкость монолитного свода производства Группы Магнезит 1753 плавки;

- остаточная толщина огнеупорных изделий в футеровке стен сталеразливочных ковшей позволила выполнять ремонт шлакового пояса;

- стойкость сталеразливочных ковшей возросла с 56 до 102 плавов (82 %) с одним ремонтом шлакового пояса.

Накопленный опыт сотрудничества и постоянство качества продукции Группы Магнезит позволяют поддерживать высокие показатели стойкости футеровки и оптимизировать затраты на огнеупорные материалы.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ**ШОТКРЕТ-ТЕХНОЛОГИЯ В СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**© **Д. А. Поваляев, М. Е. Федькин**

Компания «Севен Рефракториз», Санкт-Петербург, Россия

Впервые технологию шоткретирования применили в начале XX века в США. Но более широкое ее использование началось с конца 60-х годов прошлого века в строительстве для восстановления и защиты стальных сооружений и конструкций. С приходом в металлургию технология шоткретирования получила наибольшее признание у доменщиков. Доменные производства

Европы, а затем и России оценили преимущество быстрого монтажа футеровки с помощью этой технологии. Компания «Seven Refractories» с самого начала своей деятельности взяла за основу эту технологию, как одно из приоритетных направлений развития. В настоящее время в активе компании ряд реализованных проектов по шоткрет-футеровке доменных печей

в России и Украине. Впервые в России выполнена футеровка фурменной зоны с использованием шоткрет-бетонов.

Все применяемые материалы разработаны для условий эксплуатации доменных печей, имеют высокую абразивоустойчивость и стойкость к воздействию СО. Футеровка доменных печей по проектам компании «Seven Refractories» имеют зональную концепцию для обеспечения оптимальных свойств по высоте доменной печи и создания защитного гарнисажного слоя на поверхности. При монтаже используется система нанесения бетонов «картами» с прокладкой вертикальных и горизонтальных компенсационных швов, которые придают футеровке эластичность при разогреве. В зазорах между вновь монтируемыми холодильными плитами используют готовые к применению пластичные материалы на химической связке, которые обеспечивают эластичность системы охлаждения во время пуска и разогрева печи. Набирая прочностные свойства при рабочих температурах, пластичные материалы запечатывают зазоры, обеспечивая газоплотность и эффективность работы системы охлаждения как единого целого.

При необходимости восстановления футеровки в кратчайшие сроки без доступа людей в газоопасную среду доменной печи может быть выполнено роботизированное шоткретирование. При этом доменная печь выдвигается до отметки 1,0–1,5 м ниже предпола-

гаемого уровня начала футеровки и через монтажный люк засыпного аппарата во внутреннее пространство печи опускается манипулятор. Футеровочный материал наносится путем перемещения манипулятора с соплом вокруг оси доменной печи (принцип часовой стрелки), а также по высоте печи. При этом существует возможность секторного нанесения материала в зоны наибольшего износа.

Помимо уже традиционного, быстрого и надежного способа футерования шахт доменных печей, шоткретирование, по нашему мнению, как технология монтажа монолитной футеровки имеет широчайший спектр областей применения в металлургической промышленности. Шоткрет-технология обладает большим потенциалом для развития и полностью себя еще не раскрыла. Так, в октябре 2014 г. компания «Север Рефракториз» впервые применила шоткретирование для восстановления рабочего слоя футеровки стен нагревательной печи на НЛМК. Благодаря этой технологии удалось сократить время на нанесение рабочего слоя (~40 т материала) более чем в 2 раза по сравнению с более распространенным способом торкретирования. Помимо этого компания разрабатывает новые материалы для футеровки различных тепловых агрегатов. Очевидно, уже через 2–3 года могут появиться новые инновационные проекты с использованием шоткрет-технологии.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

МУЛЛИТОКРЕМНЕЗЕМЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ КЛАДКИ ПЕЧЕЙ ОБЖИГА АНОДОВ

© Д. т. н. А. В. Прошкин¹, к. т. н. А. В. Сакулин², к. т. н. В. В. Скурихин², О. С. Кузнецова²

¹ ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск, Россия

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

На Саяногорском алюминиевом заводе производятся обожженные аноды, использование которых улучшает не только технико-экономические, но и экологические параметры производства первичного алюминия. В свою очередь, физико-химические, термомеханические и теплофизические свойства изделий, используемых для кладки печей обжига анодов, влияют не только на срок службы печей, но и на теплофизические параметры обжига анодов, что в конечном счете определяет их удельный расход на 1 т первичного алюминия.

Анализ факторов, воздействующих на футеровку печей открытого типа, применяемых для обжига анодов, привел к необходимости выполнения определенных требований к изделиям марки BorABF, которые разработал и предложил Боровичский комбинат огнеупоров ОК «РУСАЛ». Главные из них: низкая открытая пористость (не выше 15 %), высокая прочность на холоду (не менее 50 МПа) и при высокой температуре (температура начала размягчения не ниже 1450 °С), повышенные объемопостоянство при температуре службы (остаточные изменения линейных размеров при 1400 °С не более 0,4 %) и термостойкость (не менее 4 теплосмен 1300 °С – вода). Тестирование из-

делий в исследовательском центре ОАО БКО показало высокую устойчивость к воздействию восстановительной среды, щелочей и криолита. Примечательно, что после испытаний на щелоче- и криолитоустойчивость на границе зоны реакции и переходной зоны обнаружено присутствие слоя стеклообразного альбита подобно тому, что наблюдается в барьерных изделиях BorAluBar. Изделия имеют плотную однородную структуру с преобладающим размером пор менее 20 мкм (средний размер пор 11–15 мкм). Причем после взаимодействия со щелочными реагентами размер пор уменьшается, снижая газопроницаемость изделий.

В феврале 2014 г. опытная партия изделий марки BorABF в количестве 120 т изготовлена в условиях действующего производства ОАО БКО и поставлена для испытаний в ОАО «РУСАЛ Саяногорск». Изделия полностью соответствуют требованиям, согласованным с ООО «РУСАЛ ИТЦ» техническим соглашением. В конце марта – начале апреля 2014 г. изделиями из опытной партии зафутерованы 8 простенков в печах № 2 и 3. Сочетание плотной структуры и оптимального распределения компонентов обеспечивает изделиям повышенный срок службы. Расчетный срок службы

на 15–25 % превысит срок службы применяемых в настоящее время изделий. Совместно с ООО «РУСАЛ ИТЦ»

осуществляется мониторинг службы изделий с подведением итогов промежуточных этапов эксплуатации.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ФУТЕРОВКА И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КИСЛОРОДНОГО КОНВЕРТЕРА

© К. т. н. Н. С. Съёмщиков, А. С. Зуев
ООО «ВПО Сталь», Москва, Россия

Кислородный конвертер является одним из основных тепловых агрегатов для выплавки стали в металлургической промышленности. Современная футеровка конвертера должна обеспечивать высокую стойкость при минимальных удельных затратах на уход за футеровкой для получения максимальной производительности агрегата.

Компания «ВПО Сталь» занимается разработкой оптимальных схем кладки, ведет подбор качества огнеупоров в зависимости от конкретных условий эксплуатации и типичного характера износа у завода-потребителя. Индивидуально разрабатываются режимы ухода в течение кампании конвертера с учетом требований металлургических предприятий. Компания поставляет полный спектр материалов для ухода за футеровкой конвертера. В настоящее время футеровки успешно прошли испытания на российских металлургических комбинатах и приняты к серийным поставкам.

По результатам совместных исследовательских работ с потребителем снижена скорость износа футеровки на 30 % от действующего на металлургическом пред-

приятии норматива. Такой результат достигнут за счет комплексного подхода по следующим направлениям:

- применения высококачественных материалов при изготовлении футеровки;
- обеспечения шеф-монтажа при выполнении футеровочных работ;
- непрерывного мониторинга состояния футеровки конвертера на протяжении всей кампании и предоставления своих рекомендаций по эксплуатации и уходу за футеровкой;
- оптимизации шлакового режима конвертерной плавки за счет подбора шлакообразующих флюсов и технологии их применения;
- применения брикета для подварки, разработанного для условий работы металлургического предприятия;
- применения специальных масс для горячего ремонта зон повышенного износа.

Комплекс мероприятий позволил потребителю получить экономический эффект более 2 млн руб. за 1 кампанию конвертера.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

КОНЦЕПЦИЯ УХОДА ЗА ФУТЕРОВОЙ КОНВЕРТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕФОРМОВАННЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ

© Р. Фехнер
Компания «WEERULIN GmbH», г. Мюльхайм-на-Рейне, Германия

Приведен обзор разработанной концепции ухода за футеровкой кислородных конвертеров с применением неформованных огнеупорных материалов. Концепция положительно апробирована на большом количестве конвертеров. Концепция ухода с применением неформованных огнеупорных материалов развивалась как составная часть интегрированной системы, направленной на достижение планируемой стойкости футеровки конвертера с учетом полных затрат на огнеупорные материалы (Break Even Point — футеровка + неформованные огнеупорные материалы).

В докладе представлены неформованные огнеупорные материалы, используемые для ремонта и восста-

новления быстроизнашиваемых зон футеровки конвертера: сегментов и горловины, летки и околоречного пространства, зоны завалки, зоны цапфы. Приведена информация о применяемых неформованных огнеупорных материалах, оборудовании и технологии для выполнения работ в течение кампании конвертера.

Своевременная и оперативная координация всех мероприятий ухода за футеровкой конвертера между персоналом конвертерного цеха и компанией — это предпосылка для успешного применения концепции. Обобщена информация о дальнейшем развитии неформованных огнеупорных материалов и оборудования для ухода за футеровкой конвертера.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТАХ

ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ ГРУППЫ МАГНЕЗИТ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ШАХТНЫХ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПЕЧЕЙ

© И. В. Харин, М. Ю. Турчин
ООО «Группа Магнезит», г. Сатка Челябинской обл., Россия

Для обеспечения собственных нужд в извести металлургические предприятия возводят на своей террито-

рии новые высокотехнологичные печи по обжигу известняков. Современные условия диктуют экономное

расходование энергоресурсов, поэтому печи строят по принципу максимального использования тепла продуктов сгорания. Особенно эффективно этот принцип реализуется в двухшахтных регенеративных печах. Данная конструкция печи разработана австрийской фирмой MAERZ. Особенностью таких печей является то, что обжигаемый материал поочередно подогревается отходящими газами от двух шахт, что предполагает сложное устройство футеровки отдельных узлов и печи в целом. В связи с этим для изготовления футеровки требуется множество типоразмеров изделий, причем сложной формы, что приводит к значительному увеличению стоимости футеровки. До недавнего времени проектированием и строительством печей такого типа занимались только европейские фирмы, но в 2013 г. Группа Магнезит получила предложение на создание проекта и строительство двухшахтной печи в Первоуральске.

Специалистами управления инжиниринга Группы Магнезит разработан проект, в котором узлы футеровки из штучных изделий заменили на бетонные блочные изделия. Для более полного понимания принципиаль-

ного устройства узлов футеровки печи проектный отдел разработал 3D-модель, в основу которой положены новые технологические решения. Одним из примеров этого решения служат бетонные блоки, по форме напоминающие утюг, которые выполняют роль пятовых изделий в конструкции арок. Блочная схема футеровки применяется также в конструкции свода кольцевого канала печи. Это решение позволило сократить сроки его монтажа в несколько раз и составило на практике всего 5 ч.

Все блочные изделия, используемые в футеровке, были изготовлены в НПК «Магнезит» (г. Сатка), входящем в состав Группы Магнезит и специализирующемся на производстве огнеупорных бетонов, а также формованных, вибролитых изделий. Все строительно-монтажные работы выполнены предприятием «Магнезит Монтаж Сервис», также входящим в структуру Группы Магнезит.

Осмотр футеровки печи после одного года непрерывной эксплуатации не выявил замечаний у заказчика и подтвердил правильность принятого комплекса решений и высокое качество работ.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ОПЫТ ПЕРЕПЛАВА ЛЕГИРОВАННОГО СКРАПА Б26 В ДСП-100 ОАО ЧМК

© Г. В. Целых, А. Н. Макаревич

ОАО «Челябинский металлургический комбинат», г. Челябинск, Россия

В ЭСПЦ-6 Челябинского металлургического комбината выплавляют нержавеющие марки стали 08X18H10T, 12X18H10T, 20X23H18GP, 20X13, 30X13, 40X13, 08X17T, 09X16H4B, S30400 в количестве 50–70 тыс. т в год. Крайне актуальным является обеспечение качественным ломом, в основном Б26, необходимого химического состава. Основные проблемы возникают с содержанием фосфора, молибдена, меди.

В 2013 г. ООО «Мечел-Материалы» в рамках программы по утилизации отходов производства начало разработку старых шлакоотвалов ЧМК. Химический анализ извлекаемого скрапа значительно различался, поскольку в отвалах присутствует скрап как с обычного нержавеющего сортамента, так и сплавы с содержанием хрома, никеля до 35 %, а также молибдена, кобальта, вольфрама и меди до 5 %. При применении такого скрапа в шихтовке плавов ДСП № 19 ЭСПЦ-6 возникали значительные отклонения химического состава от расчетного. В результате проведенного анализа получаемой себестоимости нержавеющей стали было принято решение о переплаве скрапа в малотоннажных ДСП. Опыт показал положительные результаты по химическому составу, но стоимость переплава в малотоннажной ДСП увеличивала стоимость конечной шихтовой заготовки на 40–50 %.

В январе 2014 г. специалистами ЧМК было принято решение об опробовании переплава скрапа (Б26 и др.) в 100-т ДСП № 8 ЭСПЦ-2. В связи с большим разбросом извлекаемых из отвалов марок скрапа от Б8 до Б28 по

ГОСТ 2787–74 «Металлы черные вторичные» в ООО «Мечел-Материалы» начали проводить составление шихты легированного скрапа для плавки в ЧМК с обеспечением нормируемого химического состава в конечной шихтовой заготовке. Шихта плавов состояла из 110 т скрапа (условно названного «скрап Б26») и 5–10 т легированной стружки, получаемой от обточки готовой продукции. Проведение четырех опытных плавов показало возможность переплава скрапа Б26 в 100-т ДСП. Полученная себестоимость была в 2,5–3,0 раза меньше, чем при переплаве в малотоннажных ДСП.

При проведении кампаний выявился значительный износ футеровки ДСП в районе шлакового пояса, достигавший 70 мм за плавку; при этом отмечалось подкипание шлака в зоне футеровки. Для повышения основности шлака и снижения его воздействия на футеровку ДСП по ходу плавки было решено добавлять известь и обожженный доломит производства ООО «Мечел-Материалы» (MgO 36 %) порциями по 300 кг, не допуская разжижения шлака и подкипания у футеровки. Шлак удаляли из рабочего пространства печи самотеком не полностью, после расплавления основной массы скрапа производилось скачивание шлака с помощью мульдозерной машины. На АКП проводили присадку раскислителей ферросилиция, алюминиевой крупки на шлак для восстановления хрома из шлака.

Таким образом:

- в ЧМК отработана технология переплава легированного скрапа (Б26 и др.) в ДСП-100;

- переход на переплав легированного скрапа из подготовленной шихты обеспечил утилизацию всего извлекаемого скрапа Б8–Б28, в том числе некондиционного или не подходящего под номенклатуру химического состава по ГОСТ 2787–74 «Металлы черные вторичные»;

- в процессе опытных плавов и серийного производства решены вопросы уменьшения содержания

фосфора в шихтовой заготовке, снижения износа футеровки ДСП при переплаве, восстановления хрома в сталеразливочном ковше на АКП;

- технология позволила обеспечить металло-шихтой со стабильным химическим составом выплавку нержавеющей сорта в ДСП № 19 ЭСПЦ-6 и уменьшить себестоимость переплава в 2,5–3,0 раза относительно переплава в малотоннажных ДСП.

ОГНЕУПОРЫ В ТЕПЛОВЫХ
АГРЕГАТАХ

ШЛАКОВЫЙ РЕЖИМ АГРЕГАТОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ И СТОЙКОСТЬ ОГНЕУПОРОВ

© Д. т. н. О. Ю. Шешуков¹, к. т. н. А. А. Метёлкин², д. т. н. И. Д. Кашеев³,
к. т. н. И. В. Некрасов¹, к. т. н. М. А. Михеенков¹, Д. К. Егизарьян¹,
к. г.-м. н. Л. А. Овчинникова¹, д. т. н. В. С. Цепелев²

¹ Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² НТИ(ф) ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет», г. Нижний Тагил, Россия

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

Для решения задачи повышения стойкости футеровки агрегатов ковшевой обработки стали необходим комплексный подход, направленный на повышение качества огнеупоров, улучшение дизайна футеровки, а также на оптимизацию состава ковшевого шлака, который, с одной стороны, подвергает огнеупоры химическому износу, а с другой — способен при определенных составах формировать защитный шлаковый гарнисаж. Подобраны огнеупоры для наиболее изнашиваемой зоны футеровки вакуум-камер в условиях ЕВРАЗ НТМК. Отмечено, что, только выравнивая скорость износа огнеупоров по периметру футеровки с помощью ее дифференцированной конструкции, можно ожидать эффекта от оптимизации состава шлака. В

противном случае будет оказано влияние только на стойкость наименее напряженных зон. Подобран рациональный состав шлака с повышенным содержанием MgO и Al₂O₃, который способствует осаждению на шпинельных огнеупорах защитного шлакового гарнисажа из MgO · Al₂O₃.

* * *

Прикладные научные исследования (проект) проводятся при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России по Соглашению № 14.604.21.0097 о предоставлении субсидии от 08.07.2014 (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI60414X0097).