

Разработка и испытания опытной партии углеродсодержащих огнеупоров из отходов АО «Актюбинский завод ферросплавов» с применением СВС

С.М. Фоменко^{1*}, С. Толендиулы^{1,2}, А. Акишев¹, Н.Т. Рахым¹, М.Т. Бекджанова¹

¹Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, ул. Байтурсынулы, 126/1, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Огнеупорные материалы, используемые в металлургических высокотемпературных установках, в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному износу под действием высокой температуры, расплавов, шлаков, газовой фазы и перепадов температурного фактора. В современных металлургических производствах углеродсодержащие огнеупорные материалы и изделия используются в наиболее ответственных высокотемпературных агрегатах и узлах – доменных печах, конверторах, электролизерах, электродуговых печах, в различных приспособлениях для разлива, плавки, транспортировки жидких металлов. Целью данной работы является обеспечение создания научных и практических основ использования промежуточных продуктов и некондиционных отходов металлургии для производства, изготовления и испытания в промышленных условиях АО «АЗФ». Цель достигается путем применения метода твердофазного горения и использования внутренней энергии экзотермических реакций между компонентами огнеупорной смеси. В результате чего создается высокая температура, необходимая для образования высокоогнеупорных и металлостойких составляющих компонентов футеровки (карбидов и оксикарбидов алюминия, хрома и кремния).

Ключевые слова: СВС – самораспространяющийся высокотемпературный синтез, огнеупорные материалы, отходы металлургии, кек, шлак, футеровка, гарнисаж, стойкость к расплавам.

1. Введение

Огнеупорные материалы, используемые в металлургических высокотемпературных установках, в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному износу под действием высокой температуры, расплавов, шлаков, газовой фазы и перепадов температурного фактора.

Сфера применения углеродистых и углеродсодержащих огнеупоров постоянно расширяется. Одновременно происходит совершенствование и разработка новых видов углеродсодержащих огнеупоров – магнезиально-углеродистых, корундоуглеродистых, шпинелидно-углеродистых [1]. Изготовление футеровок металлургических установок из углеродсодержащих огнеупоров позволяет увеличить срок их службы и долговечность [2, 3]. Изменяя химический состав связующих, содержащих углеродную составляющую органической или неорганической природы, можно

повысить стойкость огнеупоров к кислым или основным шлакам, противостоять резким неконтролируемым перепадам температуры и снизить внутренние температурные напряжения вследствие знакопеременных характеристик модуля упругости в сложных температурных и механических процессах в кирпично-блочной кладке теплового агрегата.

В Казахстане накоплены сотни миллионов тонн техногенных отходов металлургии, которые не только лежат бесполезным грузом, но и оказывают сильное негативное влияние на окружающую среду. Например, на Актюбинском заводе ферросплавов на складах временного хранения и в отвалах хранятся десятки миллионов тонн хромсодержащих пылей рукавных и циклонных фильтров, которые содержат 30-40 % оксида хрома. Они практически не поддаются обогащению, а возвращать их в оборот ферросплавного производства малоэффективно, т.к. большая их часть

*Ответственный автор
E-mail: exotherm@yandex.ru

снова осядет на фильтрах. Кроме того, такая операция приведет к значительному обеднению технологической шихты, потому как исходный хромитовый концентрат содержит до 60 % оксида хрома. Накоплено значительное количество огнеупорного лома и графита в виде отработанных электродов, боя, и т.д., а также металлургических шлаков, содержащих до 60 % оксида магния, которые активно подвергаются воздушной и водной эрозии, загрязняя атмосферу и почву, хотя и могут стать доступной сырьевой основой для создания и производства углеродсодержащих огнеупоров, получаемых методом СВС. Создание научно-технических и технологических основ производства новых огнеупорных материалов, в том числе и углеродсодержащих, методом СВС или твердопламенного горения является актуальной научно-прикладной задачей [4, 5].

Привлекательность процесса СВС заключается в возможности обеспечить не только высокие температуры спекания, которые значительно превышают печные, но и уникальные условия, реализующиеся во фронте волны реакции, позволяя вести спекание порошковых материалов при параметрах в принципе не достигаемых для обычных промышленных методов обжига [6]. В сочетании твердопламенного горения с другими процессами были синтезированы уникальные материалы, в том числе на основе карбидов [7, 8].

При традиционном способе получения высокоуглеродистых огнеупоров значительная часть вводимого углерода окисляется при обжиге, образуя поры и дефекты, тем самым значительно ухудшая механические и металлостойкие свойства.

В Институте проблем горения на протяжении ряда лет проводятся исследования процессов СВС в присутствии углерода. Эти исследования привели к созданию высокоуглеродистых огнеупорных материалов, работающих на принципах СВС и имеющих практическое значение для изготовления огнеупорных масс и тиглей для индукционных печей, а также для скрепления графитовых и углеграфитовых изделий [9, 10].

Вещества, содержащие углерод, являются легкоокисляемыми материалами и для повышения их стойкости к кислороду воздуха предлагаются способы и составы масс, содержащих противокислители-антиоксиданты. Согласно установленному окислительно-восстановительному ряду элементов, наиболее активными в сравнении с углеродом являются металлы: магний и алюминий [11, 12]. При нагревании изделий, содержащих углерод, магний и алюминий, в первую очередь

окисляются металлический магний и алюминий с получением их оксидов, которые обволакивают в виде пленок используемые частицы зерен графита или кокса, тем самым предотвращая быстрое сгорание углерода. В ряде работ [13, 14] предлагается использовать в качестве антиокислителей углерода карбиды кремния, бориды и т.д.

2. Результаты и обсуждение

Ранее было отмечено, что отходы металлургического производства Актюбинского завода ферросплавов (АЗФ) имеют переменный химический и минералогический состав и включают компоненты, имеющие огнеупорные свойства, к которым относят: форстерит, алюмомагнезиальная шпинель и магнезиохромит. При исследовании составов шихт использовались шлак высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ), пыли рукавных фильтров (хромошпинельный порошок - ХШП-1), кек – пыль производственного цикла, улавливаемая мокрым способом. Руководствуясь составом производственных шлаков ВУФХ и температурой процесса, в лабораторных условиях проведен подбор составов шихт для изготовления углеродсодержащих огнеупоров, получаемых методом твердофазных процессов СВС. Технология СВС позволяет получать огнеупоры при температурах обжига значительно ниже температур, применяемых при их производстве на 400-600 °С, т.е. при 1200-1350 °С за счет развития высокотемпературной (>2000 °С) экзотермической реакции.

Основываясь на ранее проведенных работах по исследованию отходов АЗФ, их химических и минералогических составах, применительно к составу шлака и высокоуглеродистого феррохрома, воздействующих на футеровочный материал разливочного ковша, в котором предстоят опытно-технические испытания, а также уже разработанных углеродсодержащих СВС-огнеупорах, проведены работы по корректировке химико-минералогического состава изделий.

Установлено, что изделия, изготовленные на основе кека и шлака, разрушаются в процессе их обжига уже при 800 °С в результате реакции свободной закиси железа (вюстита), содержащейся в кеке (9,5 %), с образованием железистых шпинелей с оксидами магния и хрома, а также переходом железа из закисной формы в оксид и магнетит. Применение СВС-технологии позволяет стабилизировать процесс минералообразования в составах, содержащих кек и шлак, ускорить реакции образования шпинелей, снизить концентрацию силикатных фаз.

Для связывания вюститита в шихте необходимо достаточное количество оксида магния, чтобы образовать устойчивые магнезиовюстит и магнезиоферрит.

Из диаграммы состояния $MgO - Fe_2O_3 - FeO$ известно, что магнезиовюстит образует серию непрерывных растворов, называемых магнезиовюстититами с температурой плавления 1830 °С. Образовавшийся магнезиоферрит ($MgO \cdot Fe_2O_3$) при 1713 °С плавится инконгруэнтно с разложением на магнезиовюстит и расплав. Таким образом, огнеупорность изделия повышается с образованием устойчивых шпинельных соединений.

Огнеупоры, содержащие углеродные композиции, получают поэтапным смешиванием фракционированного электродного графика (0,5-2,0 мм) со связующей жидкостью и последующей добавкой высокодисперсных порошков из металлов алюминия или кремния, которые наносятся на поверхность зерен графита путем окатывания их с получением слоистых округлых гранул, состоящих из композиций графита и поверхностного прочного слоя антиокислителя (антиоксиданта). В качестве связующих использовали органический гидросиликат ЭС-40 и неорганический – водный раствор сульфата магния, а экзотермическая композиция состояла из порошков металлов алюминия и кремния в качестве горючего и реакционных карбидобразующих окислителей отходов металлургии, кека мокрой очистки и ХШП.

Отходы металлургии кек и ХШП подвергали доизмельчению в шаровой мельнице до нужных фракций (менее 90 мкм). Электродный графит измельчали на щековой дробилке и разделяли на нужные фракции. Алюминиевый порошок и сульфат магния дополнительной обработки не требовали, поэтому необходимое количество, согласно рецептуре, сразу отправляли на стадию дозирования. Перед смешением в графит фракции 0,5-2 мм добавляли органическое связующее, затем формировали слоистые гранулы графита путем

окатывания экзотермической композицией. Окатывание экзотермической композицией позволяет сформировать слоистые гранулы, центральная часть которых представлена графитовым зерном, а периферийная – карбидами и оксикарбидами, образованными в результате СВ-синтеза в процессе термообработки. Содержание всех компонентов подобрано экспериментально и фракционный состав приведен в таблицах 1 и 2.

Учитывая высокую реакционные способности шлака и металлического феррохрома, их высокую температуру при выпуске из печи (более 1400 °С), в качестве материалов при формировании состава шихт использовали пыль ХШП-01 (бедная), кек и магнезит, которые отличаются от шлака по минеральному составу и обладают повышенной огнеупорностью. Для повышения шлакоустойчивости применяли также электродный углерод и экзотермические добавки алюминия и кремния. Составы исследуемых шихт приведены в таблицах 1 и 2 и свойства, полученные после обжига при 1200 °С, в таблице 3.

Из таблицы 3 видно, что отдельное введение в шихту гранулированной смеси (таблица 2) не оказало значительного влияния на свойства изделий. Предполагалась, что ХШП-01 и кек при гранулировании полнее прореагируют между собой и повысят активность шихты.

Контрольный состав 4 имел незначительную усадку и наименьшую пористость, которая связана с реакцией силикатной легкоплавкой минеральной составляющей ХШП-01 и кека. Рентгенофазовый анализ (состав 4) показал образование железистых шпинелей магнезиовюститита и магнезиоферрита и значительного количества легкоплавких силикатов – монтичеллита и оливинов в виде фаялита. Тогда как в шихтах, содержащих высокодисперсный алюминиевый порошок (10 %), количество легкоплавких минералов значительно уменьшилось: фаялита ($2FeOSiO_2$) с температурой плавления 1205 °С с 3,05 % до 1,0-1,5%; монтичеллита

Таблица 1. Составы шихт для изготовления опытной партии углеродсодержащих СВС-огнеупоров

Наименование	Содержание, %						
	ХШП-01 бедный фракции <0,063 мм	Кек фракции 5-0 мм	Магнезит фракции 1-0 мм	Магнезит фракции <0,063 мм	Al	Si	С фракции 1 2-0,5 мм
Состав 1	-	50,0	8,0	8,0	10,0	3,0	21,0
Состав 2	50,0	17,0	-	-	10,0	3,0	20,0
Состав 3	27,0	26,0	7,0	7,0	10,0	3,0	20,0
Состав 4	40,0	40,0	10,0	10,0	-	-	-

Таблица 2. Составы шихт для изготовления опытной партии углеродсодержащих СВС-огнеупоров с частичным гранулированием шихты

Наименование	Содержание, %								
	ХШП-01 бедный фракции <0,063 мм	Кек фракции 5-0 мм	Магне- зит фракции 1-0 мм	Магnezит фракции <0,063 мм	Гранулированная смесь				
					Al	Si	С фракции 2-0,5 мм	ХШП-01 бедный фракции <0,063 мм	Кек фракции 5-0 мм
Состав 5	-	32,0	8,0	8,0	10,0	3,0	21,0	-	18,0
Состав 6	40,0	17,0	-	-	10,0	3,0	20,0	10,0	-
Состав 7	17,0	26,0	7,0	7,0	10,0	3,0	20,0	10,0	-

Таблица 3. Свойства углеродсодержащих СВС-огнеупоров

Наименование	Предел прочности при сжатии, МПа	Термостойкость (1300 °С - вода)	Открытая пористость, %	Эрозионная устойчивость, %	Усадка объемная, %
Состав 1	14,2	16	10,23	0,09	+8,05
Состав 2	5,6	18	17,38	0,09	+22,6
Состав 3	8,3	15	14,31	0,09	+11,0
Состав 4	16,2	12	8,14	0,09	-0,28
Состав 5	15,1	11	9,7	0,09	+10,6
Состав 6	5,8	10	14,87	0,09	+20,1
Состав 7	5,6	12	15,48	0,09	+15,4

(CaO·MgO·SiO₂) с температурой плавления 1460 °С с 2,6 % до 1,5-1,9 % и метилсиликата магния (MgO·SiO₂) с температурой плавления 1500 °С с 7,8 % до 0,5-0,8 %.

Количество огнеупорных минералов увеличилось: магнезиоферрита – до 12,8 %, форстерита – до 36,7-37,6 %, магнезиохромита – 10,4-12,8%, алюмомагнезиальной шпинели – 10,4-12,8 %. Отмечается в составе шихты присутствие свободного карбида кремния – 2,0-2,4 %, нитрида алюминия – 3,6-4,6 % и свободного углерода в виде графита 3,1-3,6 %.

Таким образом, минеральный состав углеродсодержащих изделий, полученных по СВС-технологии, показывает, что в изделиях увеличивается тугоплавкая составляющая шихты и вследствие этого они обладают значительной огнеупорностью и химической стойкостью к воздействию агрессивного шлакового расплава при производстве высокоуглеродистого феррохрома в условиях Актюбинского завода ферросплавов.

Для изготовления опытной партии углеродсодержащих огнеупоров были выбраны состав 1 и состав 5, обладающие наименьшей открытой пористостью, высоким пределом прочности при сжатии и наименьшей объемной усадкой после

обжига при 1200 °С. Следует отметить, что в составе 5 частичное гранулирование не проводили и от состава 1 отличался повышенным содержанием кека фракции <0,063 мм (18 %). Технологический процесс изготовления углеродсодержащих изделий (состава 1 и состава 5) заключался в отдельном дозировании подготовленных порошков заданного зернового состава. При смешении порошковых компонентов наблюдали последовательность и место их нахождения в шихте с учетом реакционной способности и максимального контакта необходимых минералов. В качестве связующего использовали сульфитно-спиртовую барду плотностью 1,23 г/см³.

При выполнении технологического процесса вначале увлажняли связующим крупнозернистые компоненты – кек фракции 5-0 мм, электродный графит (2-0,5 мм) и магнезит фракции 1-0 мм с последовательным окатыванием тонкодисперсной смесью Al, S с добавкой магнезита (<0,063 мм) (состав 1) или тонкодисперсного кека (состав 5). Затем в шихту добавляли достаточное количество связующего, доводя влажность массы в пределах 10 % от веса шихты. Массу укладывали в металлическую пресс-форму, уплотняли и прессовали при давлении 1000 кг/см² (10 кН/см²). Спрессо-

ванные углеродсодержащие кирпичи размером 230*115*65 мм подвергали медленной сушке при температуре 150 °С и обжигу в силитовой печи при 1200 °С с выдержкой 6 часов при конечной температуре.

Вышеописанная технология позволяет повысить термостойкость, снизить открытую пористость, увеличить стойкость футеровок тепловых агрегатов, повысить их эксплуатационные свойства. Состав и технология последовательного получения углеродсодержащих огнеупорных изделий представлены на рис. 1.

На рис. 2 приведен рабочий процесс изготовления экспериментальных кирпичей. Полученная партия экспериментальных огнеупорных кирпичей отправлена для проведения испытаний на АО «Актюбинский завод ферросплавов».

Для опытно-производственного испытания на разливочном ковше АЗФ в лаборатории Института проблем горения (Алматы, Казахстан) изготовлены 5 кирпичей состава 1 (табл. 1) и 5 кирпичей состава 5 (табл. 2). После обжига углеродсодержащие изделия состава 1 имели – открытую пористость 11,5 %, прочность при сжатии 12,8 МПа и линейную усадку 1,8 %, соответственно у состава 5 – 9,2 %; 14,5 МПа и 2,02 %.

Согласно техническому регламенту АО «АЗФ», в промежуточных ковшах для разливки и отстаивания шлака при получении высокоуглеродистого феррохрома футеровку выполняют из шамотных кирпичей марки ШБ-5. Укладку кирпича внутри ковша осуществляют притиркой торцевых поверхностей друг к другу с кладкой их на плашку относительно внутренней поверхности по кругу ковша и донной ее части с соблюдением температурных швов, необходимых при тепловом расширении огнеупорных изделий.

Испытуемые углеродсодержащие изделия установили с двух противоположных симметричных сторон ковша (по пять штук с каждой стороны), чередуя с шамотным кирпичом во втором и четвертом ряду (рис. 3 в). На рисунках 3-5 показаны технологический плавильный цех ПЦ-1 и футеровка внутренней части ковша до испытаний и после проведения плавильных кампаний, чередующихся с выпуском расплава в ковш, отстаиванием его, сливом шлака и расплава, т.е. с многократным циклом процесса.

Технологический процесс подготовки ковша для заливки расплава предусматривает:

а) предварительное факельное разогревание футеровки ковша в течение 6-7 ч, необходимое

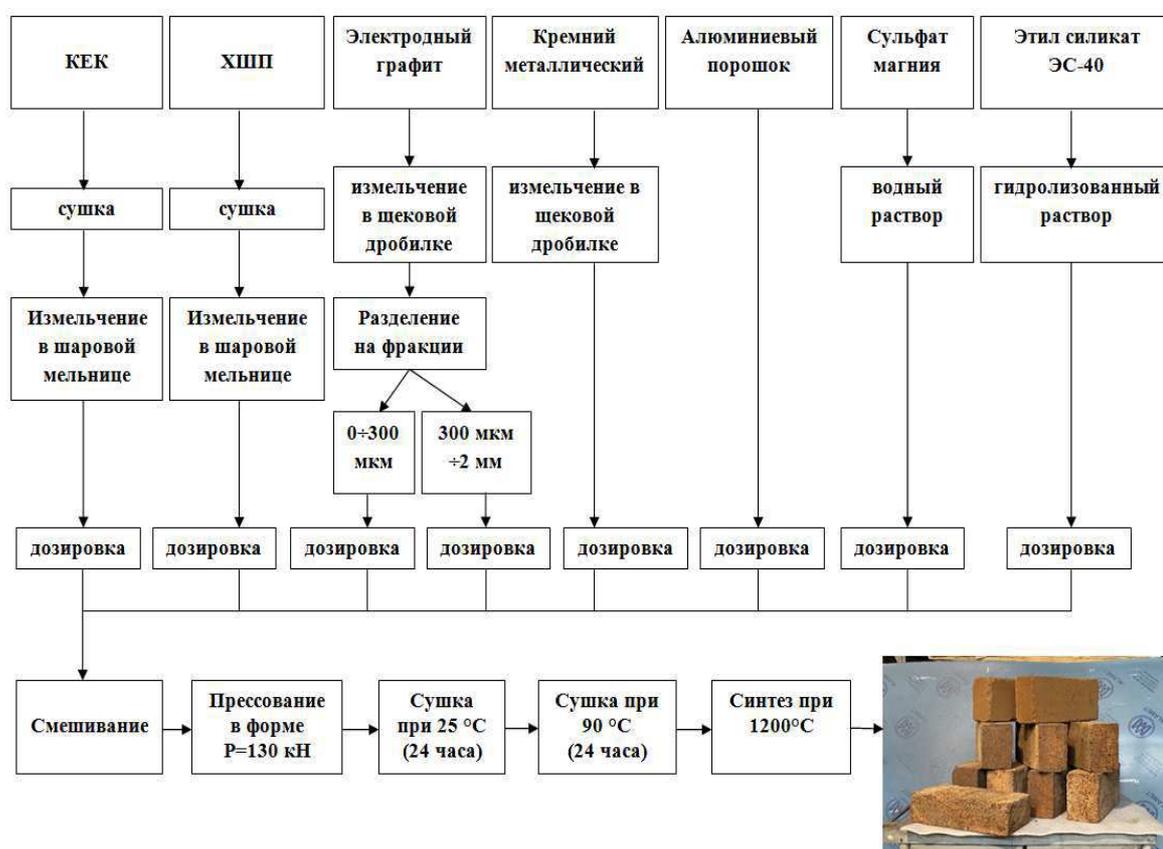


Рис. 1. Состав и технология последовательного получения углеродсодержащих огнеупорных изделий.



а – измельчение кусковых материалов



б – дозировка и смешивание в щековой дробилке



в – прессование



г – сушка в сушильном шкафу



д – синтез образцов кирпичей в муфельной печи



е – экспериментальная партия кирпичей

Рис. 2. Рабочий процесс производства экспериментальных огнеупорных изделий.

для предупреждения появления трещин и снижения напряжений, возникающих при термических ударах от быстрого нагрева кирпичной кладки;

б) медленный выпуск расплава из печи, заливка ковша и отстаивание для ликвидации – разделение шлака и феррохрома.

На фотографии видно образование гарнисажного слоя на углеродсодержащих СВС-огнеупорах.

Испытание разработанных углеродсодержащих СВС-огнеупоров по внешнему виду футе-

ровки (рис. 4) показало равную (идентичную) стойкость к воздействию агрессивного шлаково-го расплава и металлического феррохрома.

Исследование макроструктуры шамотного кирпича и испытуемых углеродсодержащих СВС-огнеупоров показало их коренное отличие по степени износа и изменению их минерального и химического составов. В шамотном кирпиче под действием расплава наблюдали образование трех зон: рабочей, переходной и малоизменен-



Рис. 3. Плавильный цех (ПЦ-1): а) разливка расплава из печи; б) общий вид разливочного ковша; в) общий вид внутренней кладки ковша из шамота с установленными углеродсодержащими огнеупорами состава 1 (темного цвета); г) общий вид футеровки ковша после пятикратной кампании проведения испытаний огнеупоров.



Рис. 4. Общий вид футерованной поверхности с установленными испытуемыми изделиями состава 5 после длительных испытаний (более пяти кампаний).



Рис. 5. Плавильный цех ПЦ-1. Процесс плавки – разлива металла и шлака.

ной. Глубина каждой зоны варьирует: 15-20 мм – рабочая, 7-10 мм – переходная и малоизмененная – 30-40 мм. Основными минеральными составляющими являлись примесь жидкотекучей части шлака в виде монтичеллита и метилсилката магния, которые взаимодействуя с силикатной составляющей шамота и муллитома, приводили к образованию тройных и многокомпонентных минеральных соединений, приводящих к разбуханию огнеупора с последующим коррозионно-эрозионному износу и как следствие снижению стойкости шамотных изделий.

Изучение испытанных углеродсодержащих СВС-огнеупоров показало, что проникновение шлака и расплава в структуру изделий не происходит в связи с низкой смачиваемостью материала, содержащего графит, карбид кремния, а также хромистые и железистые шпинели с незначительным количеством легкоплавких силикатов. Следует отметить, что минералы шлака при избытке силикатов образуют жидкотекучие соединения, разрушающие структуру огнеупора.

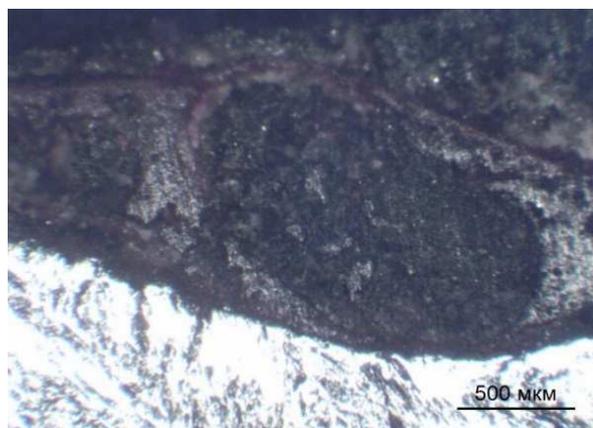
Исследование сколов рабочей зоны показало, что на ее поверхности образуется гарнисажный слой, предотвращающий проникновение шлакового расплава в структуру огнеупора. В отличие от шамотного огнеупора в углеродсодержащем СВС-изделии образование промежуточной и малоизмененных зон не наблюдалось.

На рис. 4 видно, что на углеродсодержащих СВС-огнеупорах образовался гарнисажный слой с выступающим слоем на 5-7 мм над гладкой поверхностью изношенных и пропитанных шлаком шамотных огнеупоров.

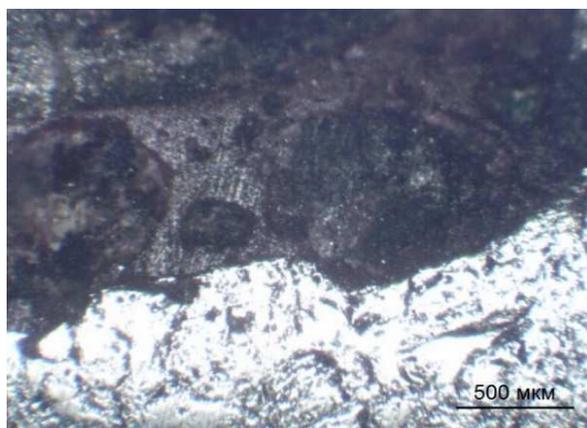
Исследование микроструктуры углеродсодержащего огнеупора в контакте со шлаковым гарнисажным слоем подтвердило (рис. 6-8), что проникновение шлака в структуру материала с

последующей его глубокой пропиткой не наблюдается. На микроструктурах образцов, взятых из различных зон, видна различаемая граница между материалами огнеупора (1) – светлая зона и застывшим шлаковым расплавом (2) – темная зона. Воздействие шлакового расплава на составляющие компоненты шихты огнеупора и его структуру отличается незначительно. Так, зернистый графит (рис. 6 (а)) и магнезит (рис. 6 (б)) практически не смачиваются расплавом и образуют зоны отчуждения расплава и огнеупора, наблюдается только частичный их контакт на отдельных участках структуры материала, вероятно, свободных от углерода. Зерна кека (рис. 7 (а)) частично взаимодействуют со шлаком с небольшим разрыхлением, образуя плотную контактную площадку связанного шлака и кека. На рис. 7 (б) видно небольшое проникновение шлака в межзерновую область материала в виде каналов и поверхностное разрыхление с образованием подошвы гарнисажного слоя.

При интенсивном барботировании шлакового расплава, проявляющемся при его заливки в ковш, возможно эрозионное «отчуждение» с поверхности частиц, составляющих шихту огнеупора. На рис. 8 показаны зерна графита и дисперсного магнезита, находящиеся в шлаковом гарнисажном расплаве на границе с огнеупорным материалом. При этом замечено, что реакционно-взаимодействия их с расплавом не наблюдается, которое характеризовалось бы разрыхлением массы. Отмечается только проникновение расплава в пористые пространства материала. Здесь, также как и в предыдущих рисунках 6 и 7, видна зона «отчуждения» между шлаковым расплавом и материалом огнеупора, которая характеризует его практическую несмачиваемость шлаковым расплавом.

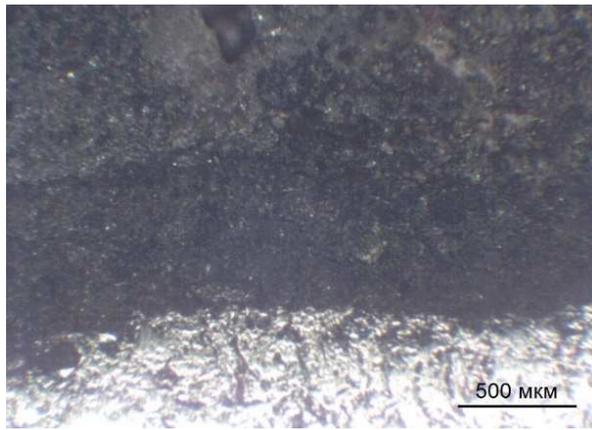


а)

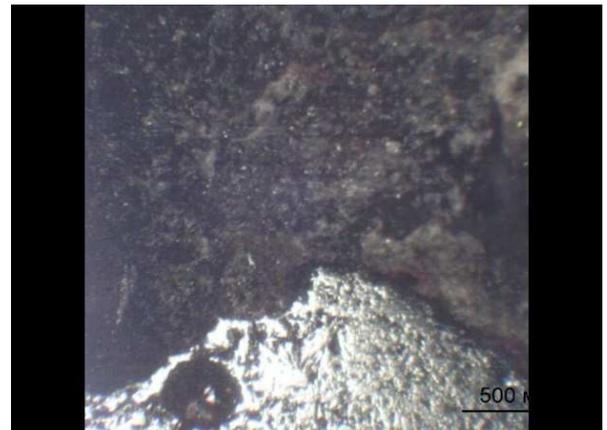


б)

Рис. 6. Микроструктура контактных зон шлакового расплава с зернами графита (а) и магнезита (б) х 70.



а)



б)

Рис. 7. Микроструктура контактных зон шлакового расплава с зернами кека (а, б). Светлый участок – кек, темный – гарнисаж из шлакового расплава.

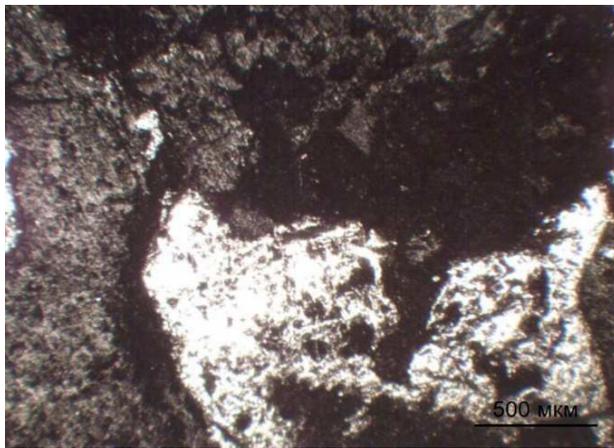


Рис. 8. Микроструктура процесса отделения зерен графита и дисперсной магнезитовой части шихты в гарнисажном расплаве на границе огнеупорного материала.

3. Заключение

Показано, что от температурных напряжений зависит термостойкость углеродсодержащих огнеупоров, связанных с быстрым нагревом и распределением удельных тепловых потоков в его гипотетических слоях. Установлено, что наибольшие температурные напряжения (50-60 МПа) концентрируются в области рабочей поверхности, которые характеризуются наибольшей температурой с ее постепенным снижением в глубинных гипотетических слоях углеродсодержащего огнеупора, связанных с теплопроводностью, коэффициентом линейного расширения материала, модуля упругости ($E = 0,013 \cdot 106$ МПа) и коэффициента Пуассона. Определено, что с увеличением скорости нагрева огнеупора с 4,3 до 33 – 55 °С/мин температурные напряжения резко возрастают с появлением микротрещин.

Разработанная технология получения углеродсодержащих огнеупоров с применением СВ-синтеза и исследование результатов минерального и фазового составов показывают увеличение тугоплавкой составляющей шихты (оксид магния, форстерит, шпинели) с соответствующим возрастанием огнеупорности и химической стойкости. Результаты исследований были подтверждены производственными испытаниями опытной партии углеродсодержащих СВС-огнеупоров на основе кека с добавками магнезита, обожженных при 1300 °С с использованием твердофазного алюмотермического процесса.

Физико-химические исследования показали низкую смачиваемость шлаками опытных изделий и повышенную их стойкость к действию высокой температуры расплавов, что отражено в акте проведенных испытаний углеродсодержащих СВС-огнеупоров в условиях плавильного цеха АО «АЗФ».

Благодарность

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант ИРН АР19677755).

Список литературы

- [1]. И.Д. Кашеев. Химическая технология огнеупоров. – М.:Интернет Инжиниринг, 2007. – 752 с.
- [2]. Л.М. Аксельрод. Настоящее и перспективы развития производства огнеупорных материалов в СНГ в 2011-2020 гг. // Новые огнеупоры. – 2011. – № 6. – С. 10-28.

- [3]. C.G. Aneziris, D. Borzov, J. Ulbricht. Magnesia Carbon Bricks – a High Duty Refractory Material // *Interceram Refractories Manual*. – 2003. – № 2. – P.22-27.
- [4]. А.Г. Мержанов, А.С. Мукасян. Твердопламенное горение. – М.:Торус Пресс, 2007. – 320 с.
- [5]. А.С. Рогачев, А.С. Мукасян. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 400 с. ISBN 978-5-9221-1441-7.
- [6]. А.Е. Сычев. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Теория и практика. – Черноголовка: Территория, 2001. – 350 с.
- [7]. G. Liu, K. Chen, H. Zhou, J. Li, C. Pereira, J.M.F. Ferreira. Mechanical-Activation Assisted Combustion Synthesis of α -SiAlON in air // *Materials Research Bulletin*. – 2007. – V.42. – P.989-995.
- [8]. A.M. Locci, R. Orrù, G. Cao, Z.A. Munir. Effect of Ball Milling on Simultaneous Spark Plasma Synthesis and Densification of TiC-TiB₂ Composites // *Materials Science and Engineering A*. – 2006. – V.434. – P.23-29.
- [9]. Патент 18058.РК, МПК В23К 11/00, В23К 23/00, В23К 1/00. Способ соединения материалов // С.М. Фоменко, Е.Е. Дильмухамбетов, З.А. Мансуров, И.М. Вонгай. – Оpubл. 15.12.2006.
- [10]. Z.A. Mansurov, S.M. Fomenko. Carbonaceous Refractory Materials on SHS-technology // *Advances in Science and Technology*. – 2014. – Vol. 88. – P.94-103.
- [11]. Т.В. Варламов, Г.А. Лысова, С.И. Боровик. Использование антиоксидантов в составе магnezиальных углеродсодержащих огнеупорных материалов. // *Вестник ЮУрГУ*. – 2005. – №2. – С. 137-145.
- [12]. Г.Д. Семченко, В.В. Повшук, Д.А. Бражник, Я.Н. Питак, И.Н. Рожко, С.В. Тищенко. Использование комплексного антиоксиданта для повышения стойкости периклазовых углеродсодержащих огнеупоров к окислению. // *Новые огнеупоры*. – 2016. – № 3. – С. 26.
- [13]. О.Н. Борисенко, Г.Д. Семченко, А.А. Муха и др. Влияние вида антиоксиданта и способа модифицирования графита на свойства периклазоуглеродистых огнеупоров // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2009 – № 9. – С. 3-7.
- [14]. А.В. Яговцев. Разработка и исследование цирконистого оксидноуглеродистого огнеупорного материала, модифицированного карбидами кремния и бора для шлакового пояса погружаемого стакана. Автореферат диссертаций кандидата технических наук. Ризография НИЧ УРФУ, 2015. – С.24.

References

- [1]. Kashcheev ID (2007) Chemical technology of refractories [Khimicheskaya tekhnologiya ogneuporov] *Internet Engineering*, Moscow, Russian Federation. P.752.
- [2]. Axelrod LM (2011) New refractories [Novye ogneupory] 6:10-28. (in Russian)
- [3]. Aneziris CG, Borzov D, Ulbricht J (2003) *Interceram Refractories Manual* 2:22-27.
- [4]. Merzhanov AG, Mukasyan AS (2007) *Flame gorenje* [Tverdoplamennoe gorenje] Torus Press, Moscow, Russian Federation. P.320.
- [5]. Rogachev AS, Mukasyan AS (2012) *Gorenje for the synthesis of materials: an introduction to structural macrokinetics* [Gorenje dlya sinteza materialov: vvedenie v strukturnuyu makrokinetiku] FIZMATLIT, Moscow, Russian Federation. P.400. ISBN 978-5-9221-1441-7.
- [6]. Sychev AE (2001) *Self-propagating high-temperature synthesis. Theory and practice* [Samorasprostranyayushchiysya vysokotemperaturnyi sintez. Teoriya i praktika] Territory, Chernogolovka, Russian Federation. P. 350.
- [7]. Liu G, Chen K, Zhou H, Li J, Pereira C, Ferreira JM (2007) *Materials Research Bulletin* 42:989-995.
- [8]. Locci AM, Orrù R, Cao G, Munir ZA (2006) *Materials Science and Engineering A* 434:23-29.
- [9]. Fomenko SM, Dilmukhambetov EE, Mansurov ZA, Vongai IM (2006) *Method of joining materials* [Sposob soedineniya materialov] Patent of the Republic of Kazakhstan No. 18058
- [10]. Mansurov ZA, Fomenko SM (2014) *Advances in Science and Technology* 88:94-103.
- [11]. Varlamov TV, Lysova GA, Borovik SI (2005) *Bulletin of SUSU* [Vestnik YuUrGU] 2:137-145.
- [12]. Semchenko GD, Povshuk VV, Brazhnik DA, Pitak YaN, Rozhko IN, Tishchenko SV (2016) *New refractories* [Novye ogneupory] 3:26.
- [13]. Borisenko ON, Semchenko GD, Mukha AA (2009) *Refractories and technical ceramics* [Ogneupory i tekhnicheskaya keramika] 9:3-7.
- [14]. Yagovtsev AV Development and research of a zirconium oxide carbonaceous refractory material modified with silicon and boron carbides for the slag belt of a submersible cup [Razrabotka i issledovanie tsirkonistogo oksidno uglerodistogo ogneupornogo materiala, modifitsirovannogo karbidami kremniya i bora dlya shlakovogo poyasa pogruzhaemogo stakana] Abstract of the dissertation of the Candidate of technical Sciences, Russian Federation. P.24.

ӨЖС қолдана отырып АҚ «Ақтөбе феррокорытпа зауыты» қалдықтарынан құрамында көміртегі бар отқа төзімді заттардың тәжірибелік партиясын әзірлеу және сынау

С.М. Фоменко^{1*}, С. Төлендіұлы^{1,2}, А. Акишев¹, Н.Т. Рахым¹, М.Т. Бекджанова¹

¹Жану проблемалары институты, Бөгенбай батыр көшесі, 172, Алматы, Қазақстан

²Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Байтұрсынұлы көшесі, 126/1, Алматы, Қазақстан

АНДАТПА

Металлургиялық жоғары температуралық қондырғыларда қолданылатын отқа төзімді материалдар жұмыс кезінде жоғары температураның, балқымалардың, шлактардың, газ фазасының және температураның өзгеруінің әсерінен қарқынды тозуға ұшырайды. Қазіргі металлургиялық өнеркәсіптерде көміртегі бар отқа төзімді материалдар мен бұйымдар аса маңызды жоғары температуралық агрегаттар мен түйіндерде – домна пештерінде, конвертерлерде, электролизерлерде, электр доғалық пештерде, сұйық металдарды құюға, балқытуға және тасымалдауға арналған әртүрлі құрылғыларда қолданылады. Бұл жұмыстың мақсаты «АФЗ» АҚ өндірістік жағдайларда аралық өнімдерді және стандартты емес металлургиялық қалдықтарды өндіру, дайындау және сынау үшін пайдаланудың ғылыми-практикалық негіздерін құруды қамтамасыз ету болып табылады. Қатты фазалық жану әдісін қолдану және отқа төзімді қоспаның құрамдас бөліктері арасындағы экзотермиялық реакциялардың ішкі энергиясын пайдалану арқылы мақсатқа қол жеткізіледі. Нәтижесінде төменнің жоғары отқа төзімді және металға төзімді компоненттерін (алюминий, хром және кремнийдің карбидтері мен оксикарбидтері) қалыптастыру үшін қажетті жоғары температура жасалады.

Түйін сөздер: ӨЖС-өздігінен таралатын жоғары температуралы синтез, отқа төзімді материалдар, металлургия қалдықтары, кек, шлак, төсеу, гарнизаж, балқымаға төзімділік.

Development and testing of a pilot batch of carbon-containing refractories from waste of «Aktobe ferroalloy plant» JSC with the use of SHS

S.M. Fomenko^{1*}, S. Tolendiuly^{1,2}, A. Akishev¹, N.T. Rakhym¹, M.T. Bekdzhanova¹

¹Institute of Combustion Problems, 172 Bogenbay batyr str., Almaty, Kazakhstan

²Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, 126/1 Baytursynuli str., Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

Refractory materials used in metallurgical high-temperature installations are subjected to intense wear during operation under the influence of high temperature, melts, slags, gas phase and temperature fluctuations. In modern metallurgical industries, carbon-containing refractory materials and products are used in the most critical high-temperature units and assemblies - blast furnaces, converters, electrolyzers, electric arc furnaces, in various devices for casting, melting, and transportation of liquid metals. The purpose of this work is to ensure the creation of scientific and practical foundations for the use of intermediates and substandard metallurgical waste for production, manufacture and testing in industrial conditions of JSC AZF. The goal is achieved by applying the method of solid-phase combustion and using the internal energy of exothermic reactions between the components of the refractory mixture. Gorenje As a result, a high temperature is created, which is necessary for the formation of highly refractory and metal-resistant lining components (carbides and oxycarbides of aluminum, chromium and silicon).

Keywords: SHS – self-propagating high-temperature synthesis, refractory materials, metallurgical waste, kек, slag, lining, garnishing, resistance to melts.