

ПОЛУЧЕНИЕ ОГНЕУПОРОВ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ОТХОДОВ ФЕРРОСПЛАВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. Акишев¹, А. Нуршарип^{1,2}, С.М. Фоменко^{1*}, С. Толендиулы^{1,3},
Н.Т. Рахым¹, М.Т. Бекджанова¹

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

²Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, пр. Аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

³Алматинский университет энергетики и связи им. Г.Даукеева,
ул. Байтурсынова, 126/1, Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Отходы металлургической промышленности содержат ценные минеральные компоненты, которые могут служить сырьем для создания материалов для многих отраслей различных направлений производства. Феррохромовые отходы – это материалы, состоящие из оксидов хрома, кремния, алюминия, железа, кальция, которые в процессе переработки хромитовых руд, в результате плавления соединяются в тугоплавкие и низкоплавкие многокомпонентные оксидные системы переменного состава. Одним из направлений их использования является получение огнеупоров многофункционального назначения: для блочной и кирпичной футеровки тепловых агрегатов, различных мертелей, обмазок, торкрет-масс – путем применения низкохромистых отходов (шлаки, Recikling – отходы) и высокохромистых – кеки (шламы) и пыли рукавных фильтров (ХШП-01). В статье рассматриваются вопросы применения высокохромистых отходов ферросплавного производства АО «Актюбинский завод ферросплавов» (кеки, ХШП-01) переменного фазового и минерального состава при комбинировании их с огнеупорным магнезитовым, шамотным ломом и другими добавками. В результате исследования разработана технология получения изделий с высокой огнеупорностью 1750–1780 °С и прочностью 23,35–36,98 МПа.

Ключевые слова: высокохромистые отходы, огнеупоры многофункционального назначения, фазовый состав, многокомпонентная система состояний, режим сушки, давление прессования, температура обжига.

1. Введение

В процессе получения ферросплавов большое количество отходов производства остаются неиспользованными. Ферросплавные отходы – это хромсодержащие материалы, количество хрома и его соединений находится в пределах от 4,0 до 40%. Поэтому отходы условно делятся на низкохромистые и высокохромистые, которые не находят применения ввиду малой изученности и сложности обогащения.

Непостоянство минерального состава хромсодержащих отходов не позволяет их применять во многих отраслях промышленности. Наиболее приемлемым для их использования является получение огнеупорных материалов.

Так как отходы получают на разных этапах производства, то их химический и минеральный состав имеют значительные отличия. В основном, это оксиды хрома, кремния, магния, алюминия и железа, соотношение которых изменяется, формируя специфический минеральный состав. Перечисленные оксиды в чистом виде обладают высокой огнеупорностью, но находясь в смеси, образуют эвтектические соединения и подобно природным минералам, они группируются в многокомпонентные сложные оксиды. Их огнеупорность и химические свойства значительно снижаются.

Характерной особенностью их является то, что при определенных соотношениях состава они кроме плавней образуют тугоплавкие химически стойкие конгломераты [1].

*Ответственный автор
E-mail: exotherm@yandex.kz (С.М. Фоменко)

Высокоуглеродистые ферросплавные шлаки при их комбинировании с пылями рукавных фильтров получают безобжиговые огнеупоры [2], которые используются в футеровке разливочных ковшей.

Предлагается [3] производить из шлаков ферросплавного производства жаростойкие бетоны форстерито-шпинельного состава взамен шамотных огнеупоров.

Авторами [4,5] разработана технология получения углеродсодержащих форстеритошпинельных огнеупоров с использованием шлаков ферросплавного производства.

Установлено, что при рациональной переработке ферросплавного шлака возможно выделение металлического концентрата, абразивных материалов и огнеупорного материала, последний из которых можно использовать для получения футеровочных изделий [6].

Производство плавящихся огнеупорных материалов из шлака углеродистого феррохрома основано на получении кирпичных блоков форстеритового состава [7].

Авторами [8-10] для активации процессов спекания используются легкоплавкие связующие, повышающие прочность изделий до 70 н/м².

Согласно литературных источников [4-10] по своему химико-минеральному составу отходы ферросплавного производства могут быть использованы для производства огнеупоров многофункционального назначения.

Целью настоящей работы является получение из высокохромистых отходов АО «АЗФ»

безобжиговых и обожженных огнеупоров, приближенных по свойствам к шамотным изделиям по показателям прочности, огнеупорности и термической стойкости.

Задачей данного исследования является:

- разработка технологии огнеупоров с использованием высокохромистых отходов ферросплавного производства АО «АЗФ» – кека (шлама), пылей рукавных фильтров – ХШП-01 (бедный), ХШП-01 (богатый) и огнеупорного лома (магнезит, шамот);

- расчет комбинаций соотношения компонентов шихт и связующих с последующей оптимизацией составляющих ее веществ;

- установление технологических параметров при получении огнеупоров – режимов сушки, давления прессования и температуры обжига изделий.

2. Экспериментальная часть

Для получения высокохромистых огнеупоров использовались отходы и промежуточные продукты, образующиеся при производстве высокоуглеродистого феррохрома, предоставленные АО «АЗФ». Химический и фазовый состав отходов по данным производственной лаборатории АО «АЗФ» представлен в таблицах 1 и 2.

Для оптимизации составов и определения технических свойств прессовались опытные образцы цилиндрической формы диаметром и высотой 40 мм. Усилие прессования составляло 20 тонн. В качестве связующего были

Таблица 1. Химический состав исследуемых отходов производства АО «АЗФ» по маркировке предприятия

№ пп	Наименование	Содержание, %							
		Cr ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	C	S
1	ХШП-01 (богатый)	35-40	0,50	20,00	25,00	–	–	5,0	–
2	ХШП-01 (бедный)	20-30	0,70	10,00	25-30	–	–	6,0	–
3	Кек ПЦ-4	26,65	0,28	20,39	36,33	4,51	9,55	1,3	0,32

Таблица 2. Рентгенофазовый анализ отходов АО «АЗФ»

№ пп	Наименование	Содержание, %					
		MgCr ₂ O ₄	Mg ₂ SiO ₄	MgO	Fe-Mg-Al-SiO ₂	Fe	SiO ₂
1	ХШП-01 (богатый)	61,5	38,5	–	–	–	–
2	ХШП-01 (бедный)	18,3	24,6	48,7	8,5	–	–
3	Кек ПЦ-4	30,5	62,6	–	–	4,2	2,6

использованы 15-ти % водный раствор сульфата магния. Обжиг образцов осуществляли в высокотемпературной муфельной печи ЭКПС – 10. Фазовый состав полученных материалов определяли с помощью рентгенофазового анализа на дифрактометре «Дрон-4М» с использованием медного излучения, рабочее напряжение на рентгеновской трубке 35 кВ, ток трубки 20 мА. Прочностные свойства образцов определяли при помощи испытательной машины YES 2000 Туре.

По данным таблиц 1 и 2 видно, что эти материалы содержат как высокоогнеупорные, так и легкоплавкие соединения. К огнеупорным относятся: форстерит (Mg_2SiO_4) – 1790 °С, периклаз (MgO) – 2800 °С, хромистая шпинель ($MgCr_2O_4$) – 2100 °С (таблица 2). Остальные соединения, которые могут находиться в сложном составе огнеупора, образуют низкотемпературные плавни в основном оливины (фаялит), распределяющихся в промежуточных зонах между тугоплавкими конгломератами материала. Процессы различных форм деформаций под нагрузкой (изменение формы изделий), усадочные процессы в большинстве случаев происходят под влиянием силикатной составляющей в структуре огнеупора.

3. Результаты и обсуждение

По химическому составу промышленных продуктов (таблица 1) видно, что в высокохромистых отходах присутствуют кроме большого содержания оксида хрома – оксиды

кремния, магния, алюминия, железа с небольшими примесями оксида кальция и серы (кек). Следовательно, их равновесный фазовый состав – это магнезиально-шпинелидные, периклазсодержащие и форстерито-шпинельные огнеупоры, рассматриваемые в многокомпонентной оксидной системе $MgO - CaO - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - FeO - Cr_2O_3 - SiO_2$, в которой равновесные сочетания фаз в основных огнеупорах обусловлены молярным соотношением CaO/SiO_2 и Al_2O_3/Fe_2O_3 [11].

Принципиальное значение имеет соотношение CaO/SiO_2 [12], по которому силикатная составляющая изменяется в сторону тугоплавкого или легкоплавкого соединения. Поэтому при производстве огнеупоров строго контролируется соотношение $CaO/SiO_2 \leq 1,5-2,0$, так как это приводит к самопроизвольному разрушению изделий, связанное с полиморфными превращениями высокотемпературных модификаций в низкотемпературные [13].

Анализ работ [11-13], расчеты химического и фазового состава исследуемых отходов производства феррохрома показывают, что кек и рукавные пыли ХШП-01 (бедный), ХШП-01 (богатый) в основном содержат оксиды хрома, магния и кремния. Поэтому в соответствии с тройной диаграммой состояния $MgO-Cr_2O_3-SiO_2$, в поле системы выделяются три соединения MgO , Cr_2O_3 и $MgO \cdot Cr_2O_3$ (магнезиохромит). Поля кристаллизации соединений SiO_2 , $MgO \cdot SiO_2$, $2MgO \cdot SiO_2$, смещаются в сторону низких температур (до 1700–1790 °С) и занимают незначительное место. Вся диаграмма имеет

Таблица 3. Составы исследуемых масс, содержащих различные комбинации хромистых отходов с огнеупорными и многокомпонентными добавками

№ пп	Наименование масс	Состав, %								
		Магнезит, 1-0 мм	Магнезит, <0,063 мм	Кек, 5-0 мм	Кек, 1-0 мм	Кек, < 0,063 мм	ХШП-01 богатый, 1-0 мм	ХШП-01 бедный, <0,063 мм	Глиноземистый цемент	Огнеупорная глина
1	17-1	8,3	8,3	70,8	–	12,6	–	–	–	–
2	17-2	14,3	14,3	60,7	–	10,7	–	–	–	–
3	33-4	–	–	46,0	–	–	23,0	23,0	–	8,0
4	34-1	–	–	60,0	–	–	20,0	20,0	–	–
5	34-2	–	–	80,0	–	–	10,0	10,0	–	–
6	34-3	–	–	46,0	–	–	23,0	23,0	8,0	–
7	34-4	–	–	46,0	–	–	23,0	23,0	–	8,0
8	38-1	–	–	80,0	–	20,0	–	–	–	–
9	38-2	–	–	–	68,0	24,0	–	–	8,0	–

температуру ликвидуса (жидкой фазы) выше 2000 °С, а эвтектические соединения проявляются выделением плавней от 1546 до 1800 °С.

В таблице 3 приведены исследуемые составы шихт, различающихся фракционным составом (от 5 до 0,063 мм) и их процентным соотношением.

Свойства полученных материалов после испытания и их физико-механические показатели при 100, 500, 1000, 1350 и 1650 °С приведены в таблице 4.

Наиболее огнеупорными установлены составы, в которые был введен магнезитовый материал – это комбинации кек – магнезит (массы 17-1, 17-2), а также кек – ХШП-01 (массы 34-1, 34-2, 34-3), в которых обнаружена свободная фаза оксида магния. Комбинации масс,

содержащих: кек – ХШП – огнеупорная глина (33-4), кек – глиноземистый цемент (масса 34-4) при увеличении температуры обжига до 1650 °С образцы изделий оплавившись и подверглись значительной температурной деформации.

На рис. 1 показаны перспективные массы и изделия из них в координатах предел прочности при сжатии и температура обжига.

По характеру построенных кривых видно, что кеки ХШП-01 (массы 34-1, 34-2, 34-3) хорошо сочетаются, однако, изменение прочности при обжиге их отличаются, в зависимости от соотношения компонентов – наблюдаются уменьшение этого показателя прочности при увеличении содержания в шихте ХШП-01 – при 20% прочность составляет при 1650 °С – 41,7 МПа,

Таблица 4. Технические свойства обжиговых и безобжиговых огнеупоров, термообработанных при различных температурах

№ пп	Наименование масс	Температура, °С								
		100	500	1000	1300	1650				
		σ	σ	σ	ρ	σ	ρ	σ	ρ	Y
1	17-1	19,58	18,28	11,10	2,68	14,0	2,67	32,84	2,67	-3,85
2	17-2	22,03	18,11	14,23	2,63	15,0	2,60	17,19	2,51	1,23
3	33-4	5,58	8,56	13,68	2,25	18,0	2,30	Оплавление		
4	34-1	25,4	14,02	12,40	2,28	17,5	2,32	29,18	2,52	-5,17
5	34-2	12,61	10,71	12,82	2,40	20,0	2,48	41,07	2,62	-8,64
6	34-3	18,55	31,19	24,57	2,52	20,0	2,50	13,99	2,45	-6,28
7	34-4	17,58	9,81	13,85	2,21	15,0	2,24	Оплавление		
8	38-1	5,94	6,09	13,60	2,45	16,5	2,48	Не обжигали		
9	38-2	17,29	16,10	69,96	2,52	18,0	2,54	Оплавление		

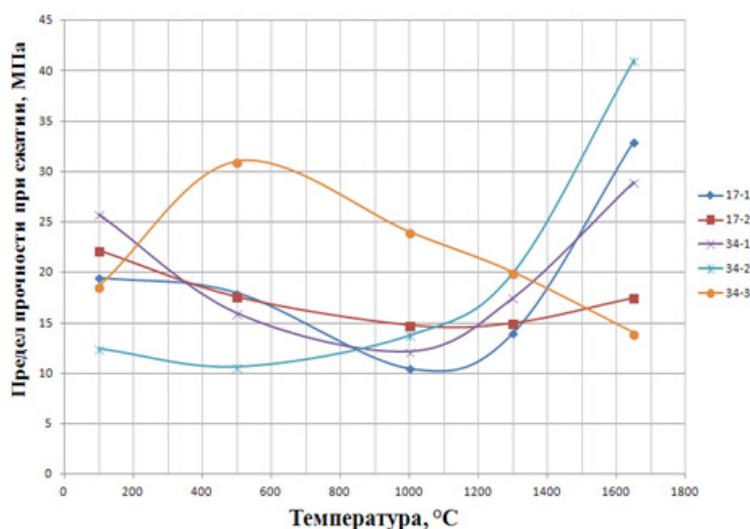


Рис. 1. Изменение предела прочности при сжатии (σ) различного состава масс и температуры обжига (T °С).

а при 46% – она снижается до 14 МПа (1650 °С). Из рис. 1 видно, что прочность изделий в начале обжига снижается в результате выгорания связующих добавок, а затем идет ее резкое увеличение, начиная с температур 1000-1200 °С, которое связано с проявлением процессов жидкофазного и твердофазного спекания компонентов шихты. При увеличении в составе масс дополнительно к имеющимся плавням цементных вяжущих (масса 34-1) наблюдается повышение прочности при обжиге до 500 °С и значительное снижение кривой при повышении температуры. Проявление легкоплавких компонентов при обжиге наблюдается также на примере массы 34-1 (40% ХШП-01) и 34-2 (20% ХШП-01), где прочность также увеличивается с уменьшением ХШП компонента. Напротив, спекающая способность материала значительно снижается при повышении в составе шихты тугоплавкого магнезита (масса 17-2). В шихтах, содержащих кек и магнезит (17-1, 17-2), прочность огнеупоров изменяется с 28,6 % до 16,6 % – соответственно 17,0 МПа и

32,8 МПа. Причем у массы с меньшим количеством магнезита наблюдается резкое падение прочности в интервале 700–1100 °С.

По данным полуколичественного рентгенофазового анализа (таблица 5 и рис. 2) показано, что в составе исследованных масс присутствуют в большом количестве форстерит ($T_{пл} - 1790$ °С), магнохромит ($T_{пл} - 2100$ °С), периклаз ($T_{пл} - 2800$ °С) и благородная шпинель ($T_{пл} - 2300$ °С), что отвечает высокой огнеупорности получаемых на их основе тугоплавких изделий (рис. 2).

В соответствии проведенными исследованиями установлены составы шихты, по которым изготовлены безобжиговые и обожженные изделия и определены их технические характеристики (таблица 6).

В отличие от безобжиговых огнеупоров, прочность которых формируется только за счет прессования изделий и сушки, прочность обожженных стабилизируется в процессе высокотемпературного обжига путем диффузии минеральной составляющей шихты.

Таблица 5. Количественный минерально-фазовый состав огнеупоров после обжига при 1650 °С

№ п/п	Наименование масс изделий	Содержание, %					Суммарный состав компонентов, %
		Форстерит	Магнохромит	Периклаз	Шпинель MgAl ₂ O ₄	Fe	
1	17-1	61,6	24,4	14,0	–	–	Магнезит-16,6; кек-83,4
2	34-2	53,6	46,4	–	–	–	ХШП-20; кек-80
3	38-1	62,6	30,5	–	2,6	4,2	Кек-100

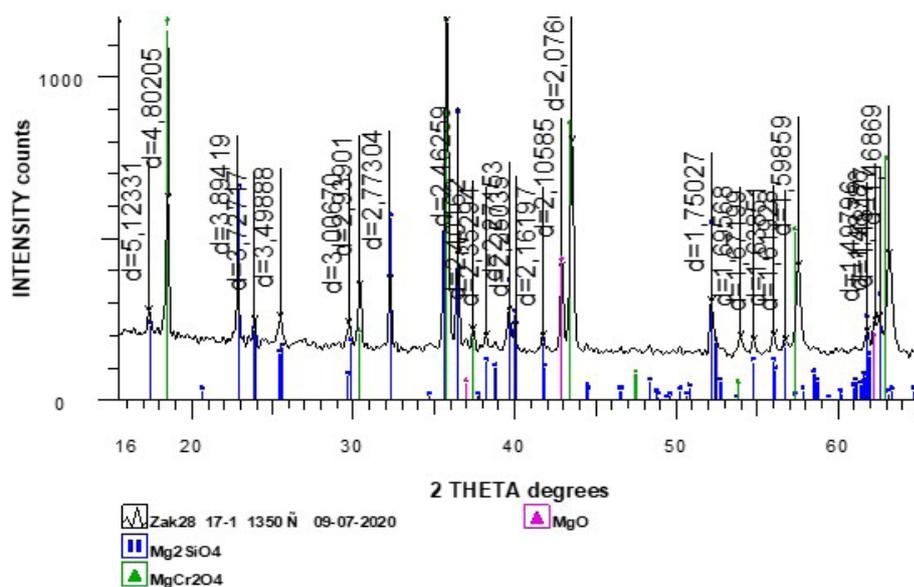


Рис. 2. Рентгенограммы огнеупорных обжиговых изделий, изготовленных методом спекания при 1650 °С. Изделия из массы 17-1: магнезит – 16,6 %; кек – 83,4%.

Таблица 6. Шихты для изготовления изделий (Прессование – 100 МПа)

№ пп	Индекс изде- лия	Состав шихт, %									
		Кек, фракции, %		ХШП-01 фракции, %		Магнезит фракции, %		Прочность при сжатии, МПа		Огнеупорность, °С	
		5-0 мм	< 0,063 мм	Бога- тый, 1-0 мм	Бед- ный < 0,063 мм	1-0 мм	< 0,063 мм	Без об- жига, 100 °С	Обожжен- ные, 1450 °С	Без об- жига, 100 °С	Обожжен- ные, 1450 °С
1	17-1	70,8	12,6	–	–	8,3	8,3	19,58	21,5	1650	1650
2	34-1	60,0	–	20,0	20,0	–	–	59,7	26,5	1580	1580
3	34-2	80,0	–	10,0	10,0	–	–	12,61	41,07	1580	1580

Из таблицы 6 видно, что огнеупорность изделий повышается с добавкой магнезита (масса 17-1). Однако, бой магнезита в этом случае расходуется в значительных количествах по отношению к отходам кека (шлама), что потребует дополнительных вложений для приобретения магнезитовых порошков. Применение магнезита объясняется необходимостью связывания оксидов железа (FeO , Fe_2O_3) в тугоплавкий магнезиохромит ($\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$).

Рентгенофазовый анализ рукавной пыли (ХШП-01 и шлама (кека) (таблица 2) показал, что в ХШП-01 (бедный) имеется свободный оксид магния (48,71 %) и силикаты (8,5 %), а кек (не подвергнутый термообработке), металлическое железо, который затем окисляется, переходя в закисную форму.

В массах 34-1, 34-2, содержащих кек и рукавную пыль (ХШП-01), содержит легкоплавкие минералы с температурами плавления 1200-1470 °С, за счет которых огнеупорность их составила 1560-1580 °С. В основном, это группа оливинов, в которую входит и тугоплавкий форстерит (Mg_2SiO_4), далее менее тугоплавкий оливин (MgOFeOSiO_2) и легкоплавкий фаялит (Fe_2SiO_4). Как видно из формул, их отличает содержание оксидов магния и железа в соединении с оксидом кремния и температура плавления их зависит от соотношения этих оксидов и колеблется от 1200 до 1900 °С.

Одной из причин появления микротрещин и низкой прочности изделий (при обжиге 1600 °С) является образование фаялита (Fe_2SiO_4) с температурой плавления 1205 °С и образование эвтектических смесей со средней температурой плавления 1225 °С, вследствие взаимодействия закиси железа (FeO) с оксидом кремния (SiO_2).

При избытке в изделиях оксидов железа при охлаждении может выделяться закисное

железо в виде легкоплавкого вюстита также приводящего к растрескиванию огнеупора.

Высокое содержание в массах оксида кремния (более 20%) и его возможный избыток дополнительно приводит при 1470 °С к образованию кристобалита, который впоследствии в результате полиморфного превращения переходит в тридимит, сопровождающегося также увеличением объема материала с появлением трещин.

Следовательно, оксид магния в виде периклаза является основным минералом для связывания свободного оксида железа и оксида кремния в тугоплавкие соединения (магнезиоферрит и форстерит), а для полноты реакции образования магнезиоферрита необходимо применять оксид железа (Fe_2O_3), который получается окислением из закисного железа или металлического железа при 900-1000 °С.

Как видно из таблицы 2, рукавная пыль ХШП-01 (бедный) содержит 48,7 % свободного оксида магния и для образования магнезиоферрита из смеси ХШП-01 (бедный) и кека необходимо предварительно все формы железа, содержащихся в кеке, перевести в оксид железа (Fe_2O_3).

С этой целью были проведены исследования различных составов масс с предварительным обжигом кека и ХШП-01 и без предварительного обжига.

Полученные материалы (таблица 7) показывают, что предварительный обжиг кека при 1000 °С повышает прочность изделий (масса 47) – 23,35 МПа, при соотношении их 1:1, или при добавке в состав дополнительно магнезита до 20% (масса 44) – 36,9 МПа. Соответственно, повышается их огнеупорность до 1750-1780 °С, что подтверждается образованием тугоплавких соединений.

Таблица 7. Состав и свойства огнеупорных изделий на основе кека и рукавной пыли ХШП-01 (бедный)

№ масс	Составы шихт, %						Свойства изделий		
	Кек, 5-0 мм не обожжен- ный	Кек, 1-0 мм обжиг 1000°C	ХШП-01 бедный, не обоже- ный <0,063 мм	ХШП-01 бедный, обжиг 1000°C <0,063 мм	Магнезит, 1-0 мм	Магнезит, <0,063 мм	Предел прочности, МПа		
							Безоб- жиго- вых, сушка, 100 °C	Обожжен- ных, 1450 °C	Огне- упор- ность, °C
43	50	-	50	-	-	-	1,25	2,89	1580
44	40	-	40	-	10	10	36,98	18,96	1750
45	70	-	-	-	15	15	17,09	19,84	1780
46	100	-	-	-	-	-	8,52	11,83	1580
47	-	50	50	-	-	-	23,35	16,99	1800
48	-	50	-	50	-	-	10,20	12,54	1750
50	-	45	-	45	-	10	13,41	14,36	1780
51	-	67	-	33	-	-	10,12	7,74	1580
52	-	45	10	45	-	-	13,53	6,25	1580

4. Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Изучен минеральный и химический состав высокохромистых отходов феррохромистого производства и проведены технологические исследования различных комбинаций материалов с огнеупорными и многокомпонентными добавками.

2. Определены физико-технические свойства обжиговых огнеупоров, термообработанных при различных температурах и установлен минерально-фазовый состав огнеупоров после обжига при 1650 °C с образованием форстерита, магнохромита и периклаза (массы 34-2, 17-1).

3. Разработана технология, позволяющая связывать легкоплавкие компоненты отходов шлама (кека) и рукавной пыли (ХШП-01) в тугоплавкие и огнеупорные соединения, в результате которой повышается огнеупорность до 1750-1780 °C и прочность изделий до 23,35-36,98 МПа.

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант ИРН AP08857429).

Литература

- [1]. Бережной А.С. Многокомпонентные щелочные оксидные системы. – Киев: Наукова Думка. – 1998. – 200 с.
- [2]. Изембетов Д.Д., Амангельдиев Н.М., Зупаров Н.С. Разработка технологии производства огнеупорных изделий из рукавной пыли и шлаков высокоуглеродистого феррохрома // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – №2(17). – С.56–61.
- [3]. Фомичев И.А., Абызов А.И., Абызова Т.П. Жаростойкие бетоны на основе шлаков ферросплавного производства. В кн. Строительные материалы и бетоны. Вып.2 // Челябинск. – 1967. – С.262–275.
- [4]. Савченко Ю.И., Степанова И.Р. Разработка и испытание форстерито-шпинельных огнеупоров на основе шлаков высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ) в тепловых агрегатах // Сборник научных трудов комплексного и рационального использования магнезиального сырья и огнеупоров. – М.: Металлургия. – 1987. – С.54–58.
- [5]. Кашеев И.Д., Ладыгичев М.Г., Гусовский И.С. Неформованные огнеупоры. Справочное издание в 2-х томах. Свойства и применение неформованных огнеупоров. – М.: Теплоэнергетик. – 2003. – 400 с.
- [6]. Патент 2181778. РФ, Кл.С22В1/00, В03В9/04. Способ переработки шлака углеродистого феррохрома // Грабеклис А.А., Демин Б.Л., Шатайлов Ю.Л., Максимов В.В., Диденко С.И. – Оpub. 27.04.2002.

- [7]. Камышников В.В. Получение плавяных огнеупорных материалов из шлака углеродистого феррохрома. Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. Ленинград, 1984. – С.182.
- [8]. Замятин С.Р., Пургин А.К., Хорошавин Л.Б. и др. Огнеупорные бетоны. Справочник. – М.: Металлургия. – 1982. – 192 с.
- [9]. Бирюкова А.А., Тихонова Т.А., Боронина А.В. Шлаки производства высокоуглеродистого феррохрома - сырье для производства огнеупорных бетонов. // Новые огнеупоры. – №5. – 2004. – С.58–63.
- [10]. Шугинисов М.Т., Мырзахметов М.М., Сартаев Д.Т., Орынбетов Е.С. Жаростойкий бетон на основе феррохромового шлака // Инженерно-строительный журнал. – 2004. – №7–51. – С.38–45.
- [11]. Уайт Дж. Факторы, определяющие структуру многофазной керамики / Дж. Уайт Керамика: Сборник трудов I и II конференции Британского и Голландского керамических обществ: пер. с англ.. – М.: Металлургия. – 1967. – С.140–161.
- [12]. Перепелицын В.А. Основы технической минералогии и петрографии: Учебное пособие. – М.: Недра. – 1987. – 225 с.
- [13]. Рывтин В.М., Перепелицын В.А., Пономаренко А.А., Гильварг С.И. Феррохромовые алюминотермическая шлаки – техногенное сырье многофункционального применения. Часть 1. Вещественный состав и свойства феррохромовых шлаков // Новые огнеупоры. – 2017. – №10. – С.8–14.
- [5]. Kashcheev ID, Ladygichev MG, Gusovskiy IS (2003) Properties and application of unshaped refractories [Svoystva i primeneniye neformovannyh ogneuporov] Teploenergetik, Moscow, Russia. ISBN 5-902202-16-7. (in Russian)
- [6]. Grabeklis AA, Demin BL, Shatailov YuL, Maksimov VV, Didenko SI (2002) Method for processing carbon ferrochrome slag [Sposob pererabotki shlaka uglerodistogo ferrohroma] Patent RF 2181778. (in Russian)
- [7]. Kamyshnikov VV (1984) Obtaining fused refractory materials from carbon ferrochrome slag. [Poluchenie plavlenykh ogneupornykh materialov iz shlaka uglerodistogo ferrohroma]. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Leningrad. P.182. (in Russian)
- [8]. Zamyatin SR, Purgin AK, Khoroshavin LB (1982) Refractory concrete. Directory. [Ogneupornye betony. Spravochnik] Metallurgy, Moscow. (in Russian)
- [9]. Biryukova AA, Tikhonova TA, Boronina AV (2004) New refractories [Novye ogneupory] 5:58–63. (in Russian)
- [10]. Shuginisov MT, Myrzakhmetov MM, Sartaev DT, Orynbetov ES (2014) Engineering and construction journal [Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal] 7:38–45. doi:10.5862/MCE.51.5. (in Russian)
- [11]. White J (1967) Ceramics: Collected Works of the I and II conference of the British and Dutch ceramic societies: translated from English [Keramika: Sbornik Trudov I i II konferencii Britanskogo i Gollandskogo keramicheskikh obshchestv: perevod s anglijskogo]. Metallurgy, Moscow. (in Russian)
- [12]. Perepelitsyn VA (1987) Fundamentals of technical mineralogy and petrography: Uch. Manual [Osnovy tekhnicheskoy mineralogii i petrografii: Uchebnoe posobie]. Nedra, Moscow. (in Russian)
- [13]. Rytvin VM, Perepelitsyn VA, Ponomarenko AA, Gil'varg SI (2017) New refractories [Novye ogneupory].10:8–14. (in Russian)

References

- [1]. Berezhnoy AS (1998) Multicomponent alkaline oxide systems [Mnogokomponentnye shchelochnye oksidnye sistemy] Naukova Dumka, Kiev, Ukraina. ISBN 5-12-000207-2. (in Russian)
- [2]. Izembetov DD, Amangeldiev NM, Zuparov NS (2015) Theory and Technology of Metallurgical Production [Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva] 2(17):56–61. (in Russian)
- [3]. Fomichev IA, Abyzov AI, Abyzova TP (1967) Building materials and concrete [V knige Stroitel'nye materialy i betony] 2:262–275. (in Russian)
- [4]. Savchenko YuI, Stepanova IR and others (1987) Collection of scientific works of complex and rational use of magnesian raw materials and refractories [Sbornik nauchnykh trudov kompleksnogo i racional'nogo ispol'zovaniya magnezial'nogo syr'ya i ogneuporov] Metallurgy, Moscow, Russia. (in Russian)

Production of refractories from high-chrome waste of ferroalloy production

A. Akishev¹, A. Nursharip^{1,2}, S.M. Fomenko¹, S. Tolendiuly^{1,3}, N.T. Rakhym¹, M.T. Bekjanova¹

¹Institute of Combustion Problems, Bogenbai Batyr str., 172, Almaty, Kazakhstan

²Al-Farabi Kazakh National University, 71 Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

³Almaty University of Energy and Communications named after G. Daukeev, 126/1 Baitursynov str., Almaty, Kazakhstan

Abstract

Waste from the metallurgical industry usually contains valuable mineral components that can apply as raw materials for the extraction of materials for many industries in various areas of production. Ferrochromium wastes are materials consisting of oxides of chromium, silicon, aluminum, iron, calcium, which in the process of processing chromite ores, as a result of melting, are combined into refractory and low-melting multicomponent oxide systems of variable composition. One of the directions of their use is the production of multifunctional refractories: blocks and brick lining of heating units, different mortars, coatings, shotcrete masses – by using low-chromium waste (slags, recycling waste) and high-chromium waste – cakes (sludge) and bag filter dust (chromium spinel KhShP-01). The article discusses the use of high-chromium wastes from the ferrochrome production of JSC «AFP» (cakes, chromium spinel KhShP-01) of variable phases and mineral composition when combined with refractory magnesite, chamotte scrap and other additives. As a result of the research, a technology has been developed for obtaining products with high refractoriness up to 1750–1780 °C and strength value of 23.35–36.98 MPa.

Keywords: high-chromium waste, multifunctional refractory, phase composition, multicomponent system of states, drying mode, pressing pressure, firing temperature.

Ферроқорытпа өндірісінің жоғары хромды қалдықтарынан отқа төзімді материалдар өндіру

А. Акишев¹, А. Нуршарип^{1,2}, С.М. Фоменко¹, С. Толендиулы^{1,3}, Н.Т. Рахым¹, М.Т. Бекджанова¹

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

²Әль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

³Г.Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Байтұрсынов көшесі, 126/1, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа

Металлургия өнеркәсібінің қалдықтарында өндірістің әртүрлі салаларында көптеген салалар үшін материалдар жасау үшін шикізат ретінде қызмет ете алатын бағалы минералды компоненттер бар. Феррохром қалдықтары хром, кремний, алюминий, темір, кальций оксидтерінен тұратын, хромит кендерін өңдеу процесінде балқыту нәтижесінде құбылмалы құрамды отқа төзімді және төмен балқитын көпкомпонентті оксидті жүйелерге біріктірілетін материалдар. Оларды қолдану бағыттарының бірі көп функциялы отқа төзімді материалдарды алу болып табылады: жылыту қондырғыларын блоктық және кірпіштен қаптау үшін, әртүрлі ерітінділерді, жабындарды, бетонды массаларды – хромы аз қалдықтарды (шлактарды, қайта өңдеу қалдықтарын) және жоғары хромды қалдықтарды – пирожныйларды (шлам) және қап сүзгі шаңы (ХШП-01). Мақалада «Ақтөбе ферроқорытпа зауыты» АҚ ферроқорытпа өндірісінің (торттар, ХШП-01) фазасы өзгермелі және минералды құрамымен біріктірілген кезде жоғары хромды қалдықтарды пайдалану қарастырылады. Отқа төзімді магнезит, шамот сынықтары және басқа да қоспалар. Зерттеу нәтижесінде жоғары отқа төзімділігі 1750–1780 °C және беріктігі 23,35–36,98 МПа болатын өнімдерді алу технологиясы әзірленді.

Кілт сөздер: жоғары хромды қалдықтар, көп функциялы отқа төзімді, фазалық құрамы, күйлердің көпкомпонентті жүйесі, кептіру режимі, престоу қысымы, күйдіру температурасы.