

**RECYCLING OF TECHNOGENIC WASTES FROM THE PRODUCTION
OF HIGH-CARBON FERROCHROME FOR REFRACTORY MATERIALS**

Ivan D. Kascheev¹, Murat S. Dosekenov², Kiril G. Zemlyanoy¹,
Dzhubadhan D. Izbembetov², Vladimir I. Zhuchkov³, Oleg V. Zaiakin³

¹Ural Federal University (620002, Russia, Ekaterinburg),

²Transnational Company "Kazchrome" (030015, Kazakhstan, Aktobe),

³Institute of Metallurgy, Ural division of Russian Academy of Sciences
(620016, Russia, Ekaterinburg)

Abstract

We studied the characteristics (thermal resistance, strength, open porosity, water absorption, etc.) of technogenic wastes from the production of high-carbon ferrochrome. Demonstrated the possibility making of refractory products made from these materials. Refractory products were obtained, which can be used for lining in the ferroalloy industry.

Key words: metallurgy, ferro-alloys, high-carbon ferrochrome, slag, refractory materials

Для производства высокотемпературных материалов, пригодных для изготовления огнеупоров, наряду с природными используют и некоторые техногенные продукты, образующиеся в процессе производства металла, сжигания углей и т.д. [1]. Независимо от способа получения таких материалов они должны обладать комплексом определенных свойств, без которых применение их в качестве высокотемпературных материалов невозможно. Это огнеупорность, высокотемпературная прочность, термостойкость, пористость, химическая стойкость и др.

С целью улучшения технико – экономических показателей работы плавильных агрегатов вместо плавящихся материалов на основе MgO и шпинели $MgO \cdot Al_2O_3$ в сочетании с графитом, применяют техногенные материалы, имеющие высокую огнеупорность. Техногенные материалы являются в первую очередь потенциальным сырьём для изготовления огнеупорных, жаростойких, керамических и плавящихся материалов различного состава. Учитывая широкий диапазон составов, такие материалы могут быть использованы не только в огнеупорной отрасли, но и в других отраслях промышленности. Особый интерес в этом плане представляют шлаки от производства феррохрома [2]. Высокая огнеупорность шлаков позволяет использовать их в производстве огнеупорных изделий и бетонов (особенно шлаков от производства металлического хрома), что дает возможность заменить дефицитные и дорогие материалы. Показано, что техногенное сырьё в виде алюмотермического шлака, имея высокую плотность и низкую пористость, обладая хорошо развитой микро- и макроструктурой позволяет изготавливать широкий ассортимент продукции. Однако, следует отметить, одно важное обстоятельство, в силу которого до сих пор использование техногенного сырья в производстве огнеупоров весьма ограничено. Оно заключается в нестабильности состава техногенного сырья. По этой причине переработка такого сырья требует дополнительных затрат на сортировку, селективную подготовку и обогащение, что неизбежно ведёт к заметному удорожанию дешёвого сырья.

На Актюбинском заводе ферросплавов (АЗФ, Казахстан, г.Актобе) при выплавке различных марок феррохрома образуется несколько основных видов отходов. К ним относятся: шлаки высокоуглеродистого и рафинированного феррохрома; пыль различных уровней газоочистки.

В 2010 году на заводе образовалось 282 тыс. т шлаков высокоуглеродистого феррохрома, в которых находилось 21 тыс. т хрома, и 187 тыс. т шлака рафинированного феррохрома (7,6 тыс. т хрома). Общая степень извлечения хрома из отходов различного происхождения составляет всего 53,6 %.

Из шлака получают продукты в виде феррохрома разных марок (извлечен из шлаков после магнитной сепарации в виде королек), металлоконцентрата с разным содержанием хрома и щебня фракции 0-5 и 5-20 мм. Феррохром отгружается потребителям, металлоконцентрат направляется на переплав с получением товарного феррохрома, а щебень реализуется для строительства дорог и других строительных нужд.

В то же время не было использовано еще одно направление реализации шлаков феррохрома – получение из них огнеупорных материалов.

Из литературных данных известно, что фазовый состав промышленных шлаков от производства высокоуглеродистого феррохрома из-за неравновесного характера кристаллизации и примесей представлен не только форстеритом, шпинелидами, но и стекловидной фазой. Содержание стекла может колебаться в пределах от 10 до 40 объём. % в зависимости от условий охлаждения. Стекловидная фаза обогащена кремнеземом, оксидами железа и хрома [3]. Наличие стекла и включений металла (до 7 %) существенно снижают огнеупорные свойства этих шлаков.

Рядом исследователей проведены работы по использованию шлаков высокоуглеродистого феррохрома в качестве огнеупорного материала [3-5]. Исследования, выполненные авторами [4] по применению отвалных шлаков в качестве заполнителей жаростойких бетонов, показали, что независимо от вида вяжущего (портландцемент или высокоглиноземистый цемент) температура начала деформации под нагрузкой образцов бетона составляет всего лишь 1210-1230⁰С, а их разрушение наступает при температуре 1230-1240⁰С.

Шлаки текущего выпуска предлагается использовать на заполнители легких и тяжелых жаростойких бетонов, предварительно удалив из них металл [3]. Попытки извлечения металла магнитной сепарацией из твердых шлаков не дали положительных результатов, поэтому авторы предлагают разжигать расплав введением силикатной глыбы в шлак в момент его выпуска из рудотермической электропечи. Этим способом удастся доосадить значительное количество металла, однако огнеупорные свойства шлаков из-за введения оксида натрия снижаются.

Таким образом, аналитический обзор показывает, что для использования шлаков высокоуглеродистого феррохрома в качестве огнеупорного материала необходимо существенное улучшение и стабилизация их составов и огнеупорных свойств. Небольшое повышение температуры службы изделий на основе данных шлаков может быть достигнуто за счет добавления к твердому шлаку тонкомолотой добавки магнезита. Так для получения огнеупорных изделий предлагается масса, состоящая из шлака высокоуглеродистого феррохрома и добавки магнезита до 25 % [5].

В качестве исследуемого материала в нашей работе использован шлак завода АЗФ от производства высокоуглеродистого феррохрома, содержащего, %:

MgO	SiO ₂	CaO	Cr _{общ.}	Al ₂ O ₃	Fe _{общ.}	C
37,0	24,3	0,9	3,0	16,7	3,0	1,8

Исследуемые образцы представляют собой магнезиально-силикабно-шпинельный материал.

Зерновой состав шлака:

Фракция, мм	> 5	3-5	2-3	1-2	0,5-1	0,063-0,5	0,063-0,045	< 0,045
Содержание, %	22,0	28,0	14,3	13,3	13,6	6,8	1,1	0,6

Насыпная масса шлака составляет 1,89 г/см³.

Фазовый состав определяли для четырёх проб шлака, отобранных из фракций, мм: +3,0, 3,0–1,0, 1–0,5, -0,5. Результаты определения фазового состава представлены в табл. 1.

По фазовому составу исследуемый материал представляет собой смесь кремнеземистых фаз, форстерита, шпинелида и стеклофазы переменного состава (основные фазы) с небольшим количеством силикатов кальция и магния (примесные фазы).

Для уточнения вещественного состава материала были проведены петрографические исследования, которые показали, что структура материала представлена, в основном, шпинелью, форстеритом и стеклом. В промежуточном веществе в небольших количествах обнаружены алюмосиликаты магния и кальция. Однако соотношение указанных фаз различно.

Таблица 1. Фазовый состав исследуемых материалов

Фаза	Шлак высокоуглеродистого феррохрома фракции, мм			
	+ 3,0	3,0-1,0	1,0-0,5	- 0,5
SiO ₂	++	+	+	++
MgSiO ₄	+	+	+	+
(Mg,Fe)O·(Al,Cr) ₂ O ₃	+	+	+	+
3CaO·2SiO ₂	+	-	-	+
MgCaSiO ₄	+	+	-	-
Стекло (MgO–CaO–SiO ₂ –Al ₂ O ₃ –Fe ₂ O ₃)	+	+	++	++

Характер кристаллизации в материалах довольно однородный. Среди основной массы форстерита выделяется значительное количество стеклофазы. Кристаллы форстерита имеют микротрещины. В меньшем количестве содержится шпинелид. Его кристаллы размерами меньше форстерита и имеют высокую отражательную способность. Для материала характерна неравномерная микропористость в пределах 5-15 %. Наличие указанных минералов в исследуемой пробе подтверждается просмотром материалов в иммерсионных жидкостях и

рентгенофазовым анализом. Следует отметить, что исследуемый материал существенно различается по содержанию стеклофазы, по видимому, в зависимости от способа образования оно колеблется от 12 до 40 %.

Таким образом, по фазовому составу исследуемый материал представляет собой смесь форстерита (до 70 объём. %), шпинелида (до 25 объём. %) и стеклофазы сложного состава (до 17 объём. %).

Результаты определения технологических свойств шлака представлены в табл. 2.

Таблица 2. Технологические свойства исследуемого материала

Свойства	Шлак высокоуглеродистого феррохрома
Огнеупорность, °С	> 1770
Относительная термостойкость, %:	92
Открытая пористость, %	6
Водопоглощение, %	2
Кажущаяся плотность, г/см ³	3,56
Дробимость, %:	
- исходного зерна	4
- зерна после определения термостойкости	87

Таким образом, основными фазами в исследуемом материале являются форстерит, шпинелид, кремнезём и стеклофаза, обогащённая примесными оксидами – кремния, кальция, железа.

Наличие большого количества стеклофазы в шлаке (от 12 до 40 %) не позволяет получать материалы высшей огнеупорности только из исследуемых отходов и требует введения избытка либо оксида магния (для перемещения области кристаллизации материала в поле форстерита), либо оксида алюминия (для перемещения области кристаллизации материала в область шпинелида – периклаза).

Следует отметить, что при любом соотношении шпинели, форстерита и периклаза в материале на последнем этапе кристаллизации должна образовываться эвтектика периклаз-шпинель-форстерит, температура которой составляет 1710°C (по Осборну), что в известной мере предопределяет температуру службы огнеупоров на основе шлаков высокоуглеродистого феррохрома, а присутствие примесей может значительно снизить температуру.

Наиболее вредными примесями могут оказаться оксиды кальция, алюминия, образующие легкоплавкие соединения: монтичеллит CaO-MgO-SiO_2 с температурой плавления 1498°C или диопсид CaO-MgO-2SiO_2 , температура плавления которого составляет 1390°C, а также кордиерит $2\text{MgO-2Al}_2\text{O}_3\text{-5SiO}_2$, плавящийся при температуре 1450°C и анортит $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-2SiO}_2$ с температурой плавления 1550°C.

Характер и допустимое количество примесей в форстеритошпинельных материалах можно лимитировать исходя из требований к чистоте материалов при получении форстеритовых и шпинелидных огнеупоров и требований к условиям их эксплуатации. Известно, что при

синтезе форстеритовых огнеупоров выбирают шихтовые материалы, содержащие наименьшее количество оксидов кальция и алюминия. В шпинельных и шпинельсодержащих огнеупорах наиболее вредной примесью является кремнезем, образующий стекловидную фазу в изделиях. Однако, при достаточном количестве оксида магния кремнезем связывается в форстерит. Содержание форстерита в шпинельных огнеупорах допускается до 20 %.

Были определены основные физико-химические свойства изделий, что обусловлено необходимостью рационального их применения в тепловых агрегатах или в местах с высокой температурой эксплуатации при воздействии агрессивных сред. В металлургии такими средами являются металлы и шлаки.

Среди основных свойств высокотемпературных изделий, как правило, выделяют такие как макроструктура (пористость и др.), термомеханические (деформация под нагрузкой, крип, пределы прочности при сжатии, изгибе или кручения, термостойкость и др.), теплофизические (теплопроводность, теплоёмкость и др.). Кроме того, свойства материала и его поведение позволяют отнести данный вид изделия к определённому классификационному типу огнеупоров и тем самым сопоставить полученные свойства с известными. Такой подход позволяет прогнозировать поведение вновь разработанных огнеупорных материалов в эксплуатации.

Тем не менее, необходимо принимать во внимание, что любое свойство не может соответствовать действительному поведению изделий в службе, где на материал (изделие) воздействуют одновременно несколько факторов и их суммарное воздействие может быть более сильным, чем влияние какого - либо одного параметра.

На испытания были представлены две партии огнеупорных изделий в виде кирпичей размерами 230 x 115 x 65 мм.

Огнеупорные изделия получали из смеси рукавной пыли газоочистки и шлака высокоуглеродистого феррохрома. Химический состав образцов огнеупорных изделий представлен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав образцов огнеупорных изделий

Содержание, масс. %								
MgO	SiO ₂	CaO	Cr _{Общ}	Cr _{Мет}	Al ₂ O ₃	Fe _{Общ}	Fe _{Мет}	C
38,8	21,4	1,6	11,8	2,8	12,4	3,7	0,1	2,7

Journal of International Scientific Publications:
Materials, Methods & Technologies, Volume 6, Part 3

Результаты определения физико – химических, термомеханических и теплофизических свойств представленных на испытания изделий приведены в табл. 4.

Таблица 4. Основные свойства изделий

Свойство	Значение*
Пористость открытая, %	$\frac{19 - 22}{21}$
Водопоглощение, %	$\frac{6.0 - 7.3}{6.5}$
Кажущаяся плотность, г/см ³	$\frac{2.73 - 2.76}{2.74}$
Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	$\frac{14 - 21}{18}$
Огнеупорность, °С	> 1770
Теплопроводность, Вт/(м·К), при температуре, °С	
400	0,60
600	1,26
800	1,31
1000	1,40

* Числитель - пределы измерения, знаменатель - среднее значение.

Минеральный состав огнеупора:

Спеченный периклаз (MgO-97) – 8-12 мас. %

Шпинель MgO·(Al, Cr)₂O₃ – 18- 22 мас. %

Шпинель MgO·Cr₂O₃ – 25-30 мас. %

Форстерит – 35-40 мас. %

Металлическая фаза – 4-5 мас. %.

Примерный зерновой состав изделий, мас. %:

Фракция 0,5-1,5 мм – 40-50.

Фракция <0,5 мм – 50-60.

Максимальный размер зерна – 1,5 мм.

Представленные для исследования изделия на основе шлака и пыли феррохромового производства по минеральному составу состоят из огнеупорных фаз: магнезиальнохромистой шпинели (MgOCr₂O₃, T_{пл}~2400⁰С), шпинелида сложного состава (MgO(Al,Cr)₂O₃, T_{пл}~2200⁰С), форстерита (2MgOSiO₂, T_{пл}~1890⁰С), спеченного периклаза (MgO, T_{пл}~2800⁰С). Стекловидная

фаза рентгенофазовым методом не фиксируется и, по всей видимости, равномерно распределена по поверхности указанных фаз в виде тонких плёнок.

Открытая пористость изделий колеблется от 19 до 22 %. Для двух фракционных шихт это значение допустимо. Например, периклазохромитовые изделия ОАО "Комбинат "Магнезит" находятся в этом же интервале, хотя их фракционный состав более сложный.

Предел прочности при сжатии изделий изменяется от 14 до 21 Н/мм². Такие пределы изменения свойственны двухфракционным шихтам и во многом зависят от подготовки массы к прессованию. Применение интенсивных смесителей типа "Айрих" позволит заметно уменьшить разброс значений. Общий уровень прочности достаточно низок, что говорит либо о недостаточно подобранном зерновом составе, либо об отсутствии (недостаточном количестве) связующего в шихте.

Теплопроводность изделий находится на уровне шамотных огнеупоров и значительно ниже, чем у периклазовых (4-5 Вт/(м•К)) изделий. Важно отметить, что теплопроводность хотя и повышается с ростом температуры, но остаётся в пределах класса алюмосиликатных материалов.

Таким образом, по своим физико-химическим характеристикам шлак является огнеупорным материалом и может рассматриваться как сырьевой источник для изготовления огнеупорных изделий для ряда применений в футеровке тепловых агрегатов.

В настоящее время огнеупоры в системе $\text{MgO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$ (магнезиальношпинелидных) производятся в основном в виде штучных (обоженных или безобжиговых) изделий, бетонных блоков, неформованных масс для выполнения монолитных футеровок, торкретирования рабочей поверхности и мертелей для монтажа огнеупорных футеровок тепловых агрегатов.

Исходными материалами для производства магнезиальношпинелидных огнеупорных изделий и масс могут являться шлаки ферросплавного производства, хромитовые руды и магнезиальная составляющая – спеченный периклаз, плавленный периклаз и т.п.

Изготовление обоженных магнезиальношпинелидных огнеупорных изделий включает общие для керамического производства процессы : измельчение и рассев минерального сырья; дозирование, увлажнение и перемешивание компонентов шихты; прессование сырца; сушку и обжиг штучных изделий.

Физико-химические особенности формирования магнезиальношпинелидных огнеупоров предопределяются природой и соотношением фаз в системе $\text{MgO-CaO-FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, образующихся в процессе изготовления изделий из конкретных видов сырья.

При разработке технологии и параметров производства обоженных магнезиальношпинелидных изделий с заданным комплексом технических свойств учитывается неравновесность фазового состава реальных изделий, но выбор природы, химического состава и соотношения исходных компонентов в шихте, температуры, продолжительности термообработки, состава газовой атмосферы базируется на предпочтительности фазовых превращений в указанной выше семикомпонентной системе.

Максимально возможные огнеупорные свойства и устойчивость к воздействию агрессивных реагентов (шлаковые и металлические расплавы) проявляются безпористыми магнезиальношпинелидными огнеупорами.

Учитывая негативное влияние увеличения открытой пористости и размера пор, становится очевидной необходимость поиска технологических путей изготовления изделий с минимальной пористостью, рациональным размером и распределением пор в изделиях.

При производстве обожженных и безобжиговых магнезиальношпинелидных изделий весьма существенно влияние на их технические характеристики дисперсности компонентов шихты; условий приготовления массы; давления и режима прессования сырца; вещественного состава зернистых и дисперсных компонентов шихты; температуры, скорости нагрева и охлаждения, состава газовой среды при термообработке.

С точки зрения наиболее плотной упаковки частиц зерновой состав шихты должен быть прерывистым, т.е. включать крупную, несколько промежуточных и тонкодисперсную фракции в оптимальном соотношении : размер и относительное содержание средних и тонкодисперсной фракций должны обеспечивать заполнение пустот между крупными частицами.

Наиболее распространенными для магнезиальношпинелидных штучных изделий при трехфракционном варианте дозировки являются следующие соотношения фракций в шихте (%): крупная 40-45; промежуточная 18-20; тонкодисперсная 35-42.

Оптимальное количество технологической связки, обеспечивающей высокие формовочные свойства массы, взаимосвязаны не только с ее природой, но и с зерновым составом компонентов и их содержанием в шихте. Для магнезиальношпинелидных промышленных масс содержание связки рекомендуется 3-6 объем. % сверх 100 % шихты.

Из многочисленных исследованных видов технологической связки при многотоннажном производстве магнезиальношпинелидных изделий приемлемой является технические лигносульфонаты (ЛСТ) - технологический отход целлюлозной промышленности. Экспериментально обоснованной и широко используемой в практике рекомендацией, применительно к ЛСТ для приготовления магнезиальношпинелидных масс, является плотность ее водного раствора $1,25 \pm 0,02$ г/см³ при температуре $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$, обеспечивающая при оптимальной формовочной влажности массы 1,9-3,2 % величину сухого остатка 1,2-2,0 %. В настоящее время на смену ЛСТ приходят специально разработанные комплексные временные технологические связующие на основе нафталинметилсульфонатов.

Прессование магнезиальношпинелидных изделий осуществляется полусухим способом из относительно рыхлых масс.

Выбор оптимальных значений давления и скорости его нарастания базируется на необходимости максимально возможного уплотнения сырца без образования структурных дефектов (перепрессовки) и разрушения зернистых компонентов шихты.

Увеличение давления прессования с 30 до 200 МПа приводит к уменьшению пористости магнезиальношпинелидного сырца на 33 % (относительно) (с 21,9 до 14,6 %). Одновременно с уплотнением сырца происходит изменение размера пор и их удельной поверхности.

Давление прессования при изготовлении магнезиальношпинелидных огнеупоров в зависимости от вещественного, зернового состава шихты и требований, предъявляемым к свойствам сырца и готовых изделий, может колебаться в пределах 120-500 МПа, что обеспечивает кажущуюся плотность сырца $3,05-3,32$ г/см³ и прочность на сжатие непосредственно после прессования выше 5 МПа.

Спекание магнезиальношпинелидных огнеупоров - один из наиболее сложных в физико-химическом и технологическом аспектах процессов, что обусловлено наложением образования шпинелидной фазы, твердых растворов переменного состава, магнезиально-силикатных расплавов и их совокупным влиянием на уплотнение материала при нагревании. Формирование текстуры и структуры магнезиальношпинелидных изделий, как правило, не завершаются при нагревании и выдержке при максимальных температурах обжига, а продолжают и на начальной стадии охлаждения.

Процесс термообработки магнезиальношпинелидных изделий правомерно разделить на последовательные стадии, для каждой из которых характерно протекание специфических превращений, подобных для всей группы материалов данного типа.

Нагревание изделий до 400-450⁰С сопровождается удалением временной технологической связки (Н₂О, ЛСТ) с увеличением пористости и снижением прочности сырца. В интервале 450-800⁰С отмечается дальнейшее увеличение пористости и снижение прочности изделий по причине разложение гидроксидов магния и кальция.

Выше 1000⁰С начинается спекание магнезиальношпинелидных изделий, сопровождающееся, как правило, уплотнением и упрочнением сырца. Исключением могут быть композиции, в которых в диапазоне температур 900 - 1250⁰С отмечается интенсивное образование шпинельной фазы.

В интервале температур 1000⁰С - $t_{\max}$ протекают одновременно процессы образования твердых растворов, расплава и наиболее интенсивно проявляется уплотнение и упрочнение материала вследствие развития процессов массопереноса и спекания.

При охлаждении материала происходят распад твердых растворов с выделением вторичных шпинелидов и кристаллизация расплавов, определяющие особенности химико-минералогического состава и текстуры обожженного материала.

Скорость нагрева изделий до 800-850⁰С может быть весьма высокой (до 70-80⁰С/ч), поскольку при нагревании магнезиальношпинелидные изделия претерпевают незначительную усадку (менее 0,8-1,0 %), а высокая термовлагопроводность в сочетании с небольшой влажностью массы (менее 2,0-2,7 %) не вызывает специфических дефектов.

Целесообразность производства безобжиговых магнезиальношпинелидных огнеупоров (штучных изделий, бетонных блоков, неформованных набивных и торкрет-масс) при одинаковой износоустойчивости с обожженными определяется возможностью исключения из технологического потока передела обжига изделий.

Эффективность использования безобжиговых магнезиальношпинелидных огнеупоров (особенно, неформованных масс и крупных бетонных блоков) складывается не только из снижения продолжительности и трудоемкости ремонтов, но и в ряде случаев повышения эксплуатационной стойкости в сравнении с обожженными изделиями.

Технологический процесс производства штучных безобжиговых изделий включает приготовление массы, прессование и сушку сырца. В зависимости от назначения изделия могут изготавливаться в виде обычного сырца либо армированного трехсторонними кассетами с внутренними перегородками или без них.

В качестве химических связок, обеспечивающих упрочнение изделий при сушке, используются водные растворы ЛСТ, MgSO₄, MgCl₂, В₂О₃, полифосфатов натрия, фосфатов алюминия, смеси фосфатов алюминия и хрома, фосфатов магния, смеси сульфата и фосфата алюминия.

Таким образом, из анализа свойств шлаков от выплавки высокоуглеродистого феррохрома и существующих технологий производства огнеупорных шпинелидных изделий можно сделать следующие выводы.

1. Исследуемые отходы производства высокоуглеродистого феррохрома могут использоваться в качестве сырья для производства огнеупоров. Исходя из химического и фазового состава исследуемых материалов на их основе возможно производить огнеупоры форстерито–шпинельного и форстерито–шпинельно–периклазового составов.

Технологические свойства исследованных материалов позволяют получать плотные прочные огнеупоры (как формованные изделия, так и неформованные материалы).

2. Результаты испытаний огнеупорных изделий показали, что физико-механические свойства изделий на холоду соответствуют средним показателям для огнеупорных материалов. Такие изделия могут эксплуатироваться при условии быстрого их нагрева ($1000\text{--}1500^{\circ}\text{C}/\text{мин}$) до температур спекания свободного MgO - более 1600°C и относительно тонкого слоя огнеупорного материала. Этим условиям соответствует эксплуатация огнеупоров на выпускных лотках руднотермических печей, производящих углеродистый феррохром.

3. Для получения высокой прочности и метало- и шлакоустойчивости по отношению к расплавам феррохромового производства (и к остальным расплавам чёрной металлургии) в состав огнеупоров на основе шлаков высокоуглеродистого феррохрома необходимо вводить магниальный компонент в виде спеченного или плавленого периклаза, синтетического периклаза, магнезии, тонкодисперсного MgO в количестве от 10 до 50 мас.% в виде тонкомолотой фракции и (или) тонкомолотой фракции и крупных (до 3 мм) зёрен. Составляющие компоненты шлака высокоуглеродистого феррохрома (форстерит, шпинелид, шпинель) самостоятельно практически не спекаются во всём интервале вплоть до температур плавления и получить прочные изделия только из них очень сложно.

4. В случае производства обожжённых изделий в качестве временной технологической связки необходимо использовать раствор ЛСТ или синтетические органические связующие (например серия "Термопласт" производства ООО "Полипласт Новомосковский"). При этом температура обжига изделий не может быть ниже $1600\text{--}1650^{\circ}\text{C}$ для обеспечения достаточных для условий ферросплавного производства свойств изделий.

5. В случае производства безобжиговых материалов (бетонных изделий, бетонных масс, торкрет-масс и т.п.) в качестве связующего рекомендуется использовать комплексные связки вида раствор ЛСТ ("термопласт") / неорганическое вяжущее (MgSO_4 , MgCl_2 , полифосфат натрия) / борная кислота (оксид бора). Такие комплексные связующие обеспечат комфортные условия формования изделий или элемента футеровки (реологические свойства массы, адгезию к поверхности и т.п.) и высокую механическую прочность во всём интервале температур от комнатной до температур эксплуатации огнеупора. Количественное соотношение огнеупор / связующая композиция и соотношение отдельных элементов в составе композиции требуют лабораторной (или опытно-промышленной) отработки для каждого конкретного вида сырья и условий получения огнеупорного материала.

6. Возможными областями использования огнеупоров на основе пыли и шлаков высокоуглеродистого феррохрома могут являться чёрная металлургия (футеровка электродуговых печей, футеровка ковшей, сливных лотков в ферросплавном производстве, футеровка агрегатов вакуумирования стали, футеровки нагревательных печей прокатных станов) и цветной металлургии (черновая обработка сульфидных руд – медной, никелевой, полиметаллической).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашеев И.Д., Стрелов К.К., Мамыкин П.С. Химическая технология огнеупоров Москва: Интермет Инжиниринг, 2007, 752 с.
2. Перепелицин В.А., Коротеев В.А., Рытвин В.М., Гильберг Г.И., Григорьев В.П., Абызов

Journal of International Scientific Publications:
Materials, Methods & Technologies, Volume 6, Part 3

- Д.Н., Куталов В.Г. Высокоглинозёмистое техногенное сырьё. Огнеупоры, № 4, 2011, С. 5-16.
3. Лапкина Ю.В., Демин Б.Л., Никулина Л.Б. Технология переработки шлаков углеродистого феррохрома. В кн.: Шлаки чёрной металлургии. Том 22. Свердловск. 1975, С. 120-123.
 4. Фомичев Н.А., Абызов А.Н., Абызова Т.Н. Жаростойкие бетоны на основе шлаков ферросплавного производства. В кн.: Строительные материалы и бетоны. Вып. 2. Челябинск: Южно–Уральское книжное издательство, 1967, С. 262-275.
 5. Sreiter P. Einsatz von Ferrochromschlake fur herrstellug von Forsteritsteinnen. Silikattechnik, № 3, 1976, P. 85-86.