

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

УДК 669-027/.33
МРНТИ 53.01.91
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.42>

Комплексное использование
минерального сырья. № 4. 2018.
ISSN 2616-6445 (Online), ISSN 2224-5243 (Print)

И. В. БОНДАРЕНКО^{1*}, Е. А. ТАСТАНОВ^{1,2}, Н. М.-К. САДЫКОВ¹, М. Ш. ИСМАГУЛОВА²

¹Институт Металлургии и Обогащения, Алматы, Казахстан, e-mail: igor1957@mail.ru

²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ШЛАКОВ РАФИНИРОВАННОГО ФЕРРОХРОМА С ПОЛУЧЕНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО ПОРИСТОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Received: 11 September 2018 / Peer reviewed: 16 September 2018 / Accepted: 15 October 2018

Аннотация. В отвалах Актюбинского завода ферросплавов складированы более 12 млн. тонн шлак рафинированного феррохрома. Шлак в значительных количествах содержит корольки металла, а пылевидная минеральная часть шлака рафинированного феррохрома, представлена в основном двухкальциевым силикатом, загрязненный ядовитыми соединениями шестивалентного хрома. Металл может быть отделен от минеральной части пневмосепарацией и рассевом на ситах, а минеральная часть шлака эффективно переработана путем ее смешивания с железистым казахстанским диатомитом (опока), жидким стеклом и термической обработкой гранул с получением пористого стеклоподобного теплоизоляционного материала. Двухкальциевый силикат взаимодействуя с мелкодисперсным гидроксидом железа и гидратированным кремнеземом при нагреве до $t \geq 1000$ °С образует пористую стеклофазу, представленную ферро-силикокальциевыми соединениями, придающими обожженным гранулам высокую механическую прочность. Установлено, что оптимальными условиями получения окатышей являются: соотношение диатомитовой руды к минеральной части шлака рафинированного феррохрома 2:1, так как при других соотношениях практически не наблюдается образование обволакивающей окатыш стеклофазы; температура обработки 1050 °С, так как при более низких температурах практически не наблюдается образование стеклофазы. Соединения шестивалентного хрома при этом разрушаются при нагреве и растворяются в стекломассе с переходом в нерастворимую форму. Показано, что минеральная часть шлаков рафинированного феррохрома благодаря сравнительно высокому содержанию оксидов кальция и кремния является ценным сырьем для получения гранулированного пористого теплоизоляционного материала. Предлагаемая технология позволяет извлекать высокоценную металлическую составляющую шлаков рафинированного феррохрома в виде дорогостоящего металлоконцентрата рафинированного феррохрома и получать пористые окатыши-наполнители для железобетонных изделий.

Ключевые слова: шлак, феррохром, хром, стеклофаза, диатомит, ферритно-кальциевое флюосовязующее, окатыши

Введение. По технологии производства рафинированного феррохрома отвальным продуктом является шлак (далее шлак РФХ), имеющий средний состав, % вес.: Cr_{общ}-3,5-15; CaO-38-41; Si-7,2-8,4; Al₂O₃-3,0-4,0; MgO-7,0-10,5; Fe_{общ}-0,8-1,3. Шлаки РФХ являются саморассыпающимся пылевидным продуктом с включением корольков металла [1] и содержат ядовитый водорастворимый шестивалентный хром [2, 3]. Отвалы шлаков РФХ являются одним из основных экологических загрязнителей воды и почвы по шестивалентному хрому.

АО «Актюбинский завод ферросплавов» не единственный производитель рафинированного феррохрома на территориях бывшего Советского Союза, по подобным

технологиям работают Челябинский электрометаллургический комбинат (ЧЭМК) и Запорожский ферросплавный завод, также с образованием значительных объемов шлака РФХ.

Предыдущие исследования казахстанских ученых и специалистов были направлены на стабилизацию структуры шлаков соединениями бора [3] и на доизвлечение из них металлоконцентрата [4], однако они не решали проблему утилизации их минеральной составляющей.

Разделение металлоконцентрата и минеральной части шлака может осуществляться сухими гравитационными методами- пневмосепарация, сухая пневматическая

отсадка, сепарация в «кипящем» слое [4, 5]. Соединения бора в шлаковом расплаве стабилизируют структуру шлаков при охлаждении [6] для исключения разрушения структуры шлака, пыления и организации возможности хранения шлака РФХ. В исследовании посвященном переработке минеральной части на строительную продукцию не уделено должного внимания проблеме шестивалентного хрома [7]. В другом исследовании предлагается использовать минеральную часть шлаков РФХ при известковании кислых почв в центральных областях России. [8]. Однако в данном случае, вполне вероятно экологическое загрязнение почв шестивалентным хромом, тем более такая «утилизация» неприемлема для Казахстана, где почвы имеют выраженный щелочной состав. Минеральная часть представлена в основном двухкальциевым силикатом, обладающим слабвяжущими свойствами. Предлагается использовать определенное количество минеральной части шлака РФХ после операции кислотного восстановления шестивалентного хрома в трехвалентный, в качестве сульфатизирующей добавки в цементный клинкер. Количество такой добавки в составе цементного клинкера может достигать 30 %, но учитывая перспективные объемы потребления цемента Актобинской областью утилизация шлака РФХ не может быть решена в полном объеме. [9]. Причем химические методы нейтрализации водорастворимых соединений шестивалентного хрома не дают полной гарантии их полного восстановления до безвредного трехвалентного состояния. Хотя требования предельно допустимых концентраций по СанПиН для соединений шестивалентного хрома как в России, так и в Казахстане достаточно жесткие н.б. 0,15 мг/м³.

Научная новизна предлагаемой нами технологии заключается в получении на основе минеральной части шлаков РФХ гранулированного пористого стеклообразного материала-наполнителя теплобетонных изделий. Более ста лет известно применение искусственных гранулированных пористых наполнителей в производстве бетонных изделий (керамзит, шлаки металлургических производств), позволяющие получать теплобетонные изделия с низкой теплопроводностью.

Известно, что стекла варят с использованием кварца, известняка и

соединений щелочных металлов. Однако в процессе получения стекла важно соблюдать соотношения данных компонентов. Оксид кальция при варке стекол ведет себя разнообразно. Так известно, что при низких температурах он повышает вязкость стекла, при высоких температурах в небольших количествах (до 8-10 %) снижает вязкость, а в больших количествах (около 20 %) увеличивает ее. Минеральная часть шлаков РФХ является источником, как оксида кальция, так и кремнезема в производстве стекол, причем они находятся в мелкодисперсном и равномерно распределенном состоянии. При производстве изделий из стекла вязкость стекломассы довольно высокая - 11 Па·с по сравнению с вязкостью других расплавов. Поэтому требуется достижение высокой температуры при варке 1480 – 1500 °С для производства литой стеклопродукции. Однако для производства гранулированного наполнителя нет необходимости в высокой пластичности для разлива. Наоборот требуется температура только для размягчения массы, протекания реакций взаимодействия, пенообразования и получения отдельных не слипшихся гранул. Температура размягчения и вязкость стекломассы может быть существенно снижена при использовании в качестве источника кремнезема диатомитов и пластификатора и связующего смеси-разбавленного жидкого стекла плотностью 1,30-1,35 г/см³ [10] т.е. интервал температур обжига гранул и получения пеностекла существенно снижается и находится в интервале 1000-1200 °С.

В последние годы применение диатомита в производстве стекол и силикатсодержащих строительных материалов находят все большее распространение в мире [11-17]. Причем необходим не чистый марочный диатомит, а диатомит с высоким содержанием оксидов железа (опоки). Это необходимо для того, чтобы при температурной обработке компонентов смеси образовывались легкоплавкие феррокальцитовые стекла, обладающие низкой температурой размягчения и высокой механической прочностью гранул [18]. В России, на предприятиях выпускающих железорудные окатыши, все большее распространение находит технология связывания окатышей, основанная на получении в качестве склеивающей массы-ферритно-кальциевого флюосвязующего (ФФС). Это обусловлено отсутствием эксплуатируемых

месторождений качественного бентонита в России. Замена бентонита органическим «Перидуром» ограничивается отсутствием его производства в России, а следовательно и достаточно высокой стоимостью реагента. Кроме того, «Перидур» не подошел для производства многих видов окатышей, в т.ч. хромитовых окатышей Донского ГОКа.

Проведенные опытно-промышленные испытания ФФС на обогатительных фабриках Оскольский электрометаллургический комбинат (ОМЭК) и Михайловский ГОК (МГОК), показали повышение прочности окатышей до 391 кг/окатыш, повышение содержания железа и основности в обожженной продукции. В качестве источника феррокальцитового связующего использовалась келловейская глина [19].

Важнейшим фактором является поведение соединений шестивалентного хрома при получении термическим способом гранул пеностекла. Известно, что практически все предприятия стекольной промышленности мира используют силикатную краску на основе оксида хрома для получения прозрачных стекол [10]. Бихромат кальция разрушается при нагреве до трехвалентного хромата и растворяется в силикатном расплаве, образуя водонерастворимые соединения. Аналогично ведут себя и другие соединения хрома, в т.ч. шестивалентного образуя нерастворимые силикаты. Тем самым, примеси опасного водорастворимого шестивалентного хрома в минеральной части шлаков РФХ превращается в безвредную стекломассу.

Экспериментальная часть. Для лабораторных исследований был взят шлак РФХ АО «Актюбинский завод ферросплавов» (таблица 1), железистый диатомит месторождения Жалпак (Муголжарский район, Актюбинская область) (таблица 2) и жидкое стекло натриевое для строительных целей производства ТОО «Фонд 2» ($\rho=1,35 \text{ г/см}^3$).

Шлак РФХ представляет собой сухую пылевидную массу с металлическими включениями. Поэтому он без дополнительного измельчения был подвергнут просеиванию на лабораторном вибрационном сите +0,1 мм. Выделен металлоконцентрат в количестве

11,2 % от исходного веса шлака и получена обезметалленая минеральная часть шлака с остаточным содержанием Cr_2O_3 -1,78 %, в том числе оксид хрома в виде хромата кальция -1,22 %. Железистый диатомит подвергнут измельчению на лабораторном измельчителе в течении 2 минут и расसेву 0,25мм.

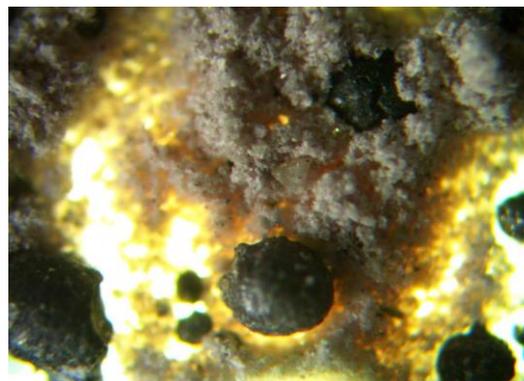


Рисунок 1 - Фотография шлака РФХ (x10)

К 100 г. молотой диатомитовой руды добавлялась минеральная часть шлаков РФХ в весовом соотношении 2-1:1. Смесь тщательно перемешивалась и добавлялось разбавленное в три раза жидкое стекло в количестве 30-40 мл. Проведенными ранее исследованиями известно, что добавки жидкого стекла способствуют увеличению прочности гранул перед термической обработкой [20]. Из пасты на лабораторном чашевом грануляторе накатаны окатыши крупностью 6-8 мм. Сырые окатыши выдержаны при комнатной температуре в течении 24 часов. Достигнутая прочность сырых окатышей 15 кг/окатыш. Окатыши подвергнуты прокатке в лабораторной муфельной печи «Nabertherm» при скорости нагрева 15 °С/мин. до 1000, 1050 и 1100 °С. Время выдержки при достигнутой заданной температуре 1 час. Полученные обожженные окатыши охлаждены и подвергнуты раздавливанию на ручном строительном прессе МИП -25Р с замером прочности. Среднеарифметическая прочность окатышей рассчитывалась по 7 определениям. Был определен средний насыпной вес полученных окатышей при разных температурах прокатки.

Таблица 1 – Химический состав шлака РФХ содержание, вес %.

Cr_2O_3	Fe	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	K_2O	MnO	Ni+Co	S	TiO_2
15,11	3,17	24,0	40,3	8,07	3,89	0,16	0,23	0,04	0,12	0,19

Таблица 2 – Химический состав железистого диатомита содержание, вес %.

Проба №	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	S ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃
1005	0,54	0,416	3,785	25,85	3,658	1,349	0,217	0,299	0,139	0,024	0,046	27,440

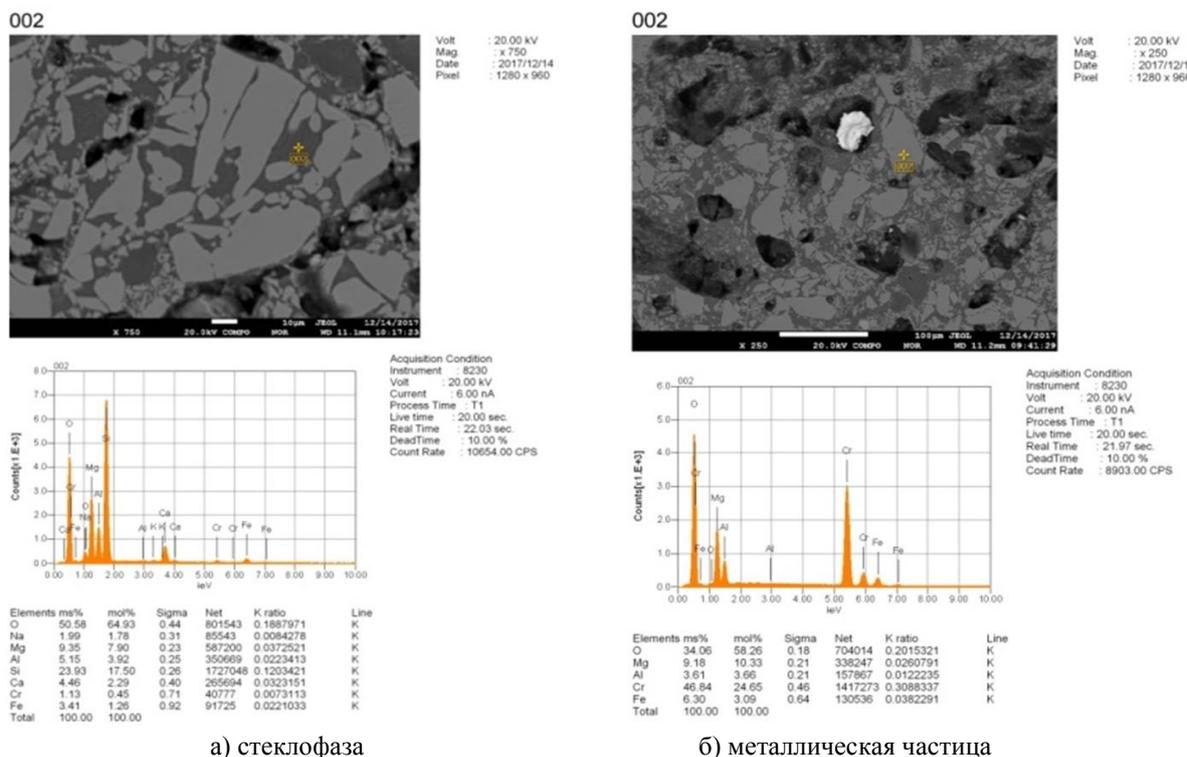


Рисунок 2 - Результаты элементного микроанализа на растровом электронном микроскопе JEOLJXA-8230.

Для исследования содержания остаточного водорастворимого хрома, 100 грамм окатышей были помещены в емкость с 1000 мл. дистиллированной водой на 48 часов при комнатной температуре. По окончании опыта окатыши отфильтрованы от воды и в воде определялось содержание водорастворимого хрома. Хрома в воде не обнаружено, так как по-видимому, водорастворимый шестивалентный хром перешел в трехвалентное состояние и сплавлен в виде стеклофазы. Остаточный металлический хром, невыделенный просеиванием в процессе термического спекания окатышей не претерпевает существенных изменений о чем свидетельствуют результаты микрозондирования на элементный микроанализ шлифа окатыша, выполненные на растровом электронном микроскопе JEOLJXA-8230. Результаты анализа приведены на рисунке 2.

Таблица 3 – Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа окатыша

Наименование	Формула	Содержание, %
Кварц	SiO ₂	55
Магнезиальный хеденбергит	Ca(Fe,Mg)Si ₂ O ₆	10
Парагонит -2M1	NaAl ₂ (AlSi ₃)O ₁₀ (OH) ₂	9
Периклаз	MgO	4
Хлоритид-А	FeAl ₂ Si ₅ (OH) ₂	3

Результаты рентгенофазового анализа окатыша, прокаленного при температуре 1050 °С приведены в таблице 3. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение α-Cu.

Обсуждение результатов. Результаты исследований свидетельствуют о том, что:

- получены окатыши, обладающие выраженной стеклоподобной структурой;

- наилучшим соотношением диатомитовой руды к минеральной части шлака РФХ является 2:1, так как при других соотношениях практически не наблюдается образование обволакивающей окатыш стеклофазы, окатыши получают тяжелыми и непористыми из-за значительного количества CaO;

- оптимальной является температура 1050 °С, так как при более низких температурах практически не наблюдается образование стеклофазы, а при более высокой (1100 °С) происходит частичное прилипание окатышей к стенкам алундового стакана; при температуре 1050 °С насыпная плотность окатышей составляет 0,75 кг/дм³, что близко насыпной плотности керамзита (0,5-0,8 кг/дм³) и уступает соответствующему показателю для пеностекла (0,18-0,24 кг/дм³), однако нужно учитывать очень высокое содержание в окатышах оксидов кальция и магния, которые резко увеличивают плотность стекла;

- достигнутая прочность при температуре 1050 °С составила 352 кг/окатыш, что является очень высоким показателем для пеностекол, но, например, не достигает лучших показателей на прочность для керамзитовых гранул (250-500 кг/окатыш);

- при водной обработке прокаленных окатышей перехода шестивалентного хрома в водную вытяжку не обнаружено, так как происходит его остеклование.

Выводы. Исследования показали, что минеральная часть шлаков РФХ благодаря сравнительно высокому содержанию оксидов кальция и кремния является ценным сырьем для получением гранулированного пористого теплоизоляционного материала. Железистый диатомит казахстанского месторождения Жалпак в смеси с минеральной частью шлаков РФХ при термической прокатке позволяет получить пористые прочные стеклоподобные структуры. Высокая прочность окатышей объясняется образованием при прокатке магнезиального хеденбергита и хлоритоида-А. Плотность и пористость, а следовательно теплоизоляционные свойства окатышей зависят от содержания, в первую очередь, оксида кальция, но в будущем они могут быть существенно улучшены путем увеличения пористости за счет добавок пористообразующих веществ, например, отсевов Шубаркольского угля [21].

Предлагаемая технология является комплексной, что позволяет извлекать

высокоценную металлическую составляющую шлаков РФХ в виде дорогостоящего металлоконцентрата рафинированного феррохрома и получать пористые окатыш-наполнители для железобетонных изделий. За счет извлечения металлоконцентрата, рационального использования отхода производства-минеральной части шлаков РФХ проект экологичен и экономически выгоден.

Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК по гранту AP05130665 «Разработка комплексной безотходной технологии переработки шлаков рафинированного феррохрома АО «Актюбинский завод ферросплавов» с получением металлоконцентрата и строительной продукции».

ЛИТЕРАТУРА

1 Рысс М.А. Производство ферросплавов. М.: Металлургия. 1985. – 380с.

2 Республиканская ассоциация горнодобывающих и горно-металлургических предприятий. ERG будет перерабатывать лежалый шлак Актюбинского завода ферросплавов. // Газета Курсив kz. 13.11.2014.

3 Иманкулов Ж.И., Гончарова Т.Г., Яковлева Н.А., Лимешкина Е.С., Альмуразаева С.И. Результаты исследований содержания хрома в атмосферном воздухе, воде, почве, растениях Актюбинской области // Материалы VI Международная научно-практическая конференция «Тяжелые металлы и радионуклеиды в окружающей среде». Т. 1. г. Семей. 2010. – С. 10-20.

4 Отчет о результатах исследования лежалых шлаков рафинированного феррохрома. Energo project industrijaa. d.Beograd август 2014. Белград. Сербия. 83с.

5 Патент 2347622 РФ Способ переработки отвального распадающегося шлака. / Привалов О.Е., Разин А.Б., Петлюх П.С., Есенжулов А.Б., Карманов Р.Т., Демин Б.Л., Грабеклис А.А.. Опубл. 27.02.2009. Бюл. № 4.

6 Совершенствование силикотермического процесса выплавки низкоуглеродистого феррохрома. Авторы: Кучер А.Г., Новиков Н.В., Таджибаев Н.Т // Сталь. –1995. – №4. – С. 31-33.

7 Смирнов Л.А. Грабеклис А.А., Демин Б.Л. Переработка шлаков ферросплавного производства. // Труды ОАО Уральский институт металлов. 2005. «УралИнфо» Информационное агенство www.urm.ru. (Дата обращения: 17.09.2017).

8 Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Том 1. М.: Металлургия. 1979. – С. 194-196.

9 [Электрон. ресурс] В Актюбинской области возможно снижение себестоимости строительства за

счет строительства цементного завода// www.krn.kz (Дата обращения: 31.10.2017).

10 Казеннова Е.П. Общая технология стекла и стеклянных изделий. М.: Стройиздат. 1989. 144 с.

11 Маневич В.Е. Субботин Р.К. Никифоров Е.А. Диатомит-кремнесодержащий материал для стекольной промышленности. // Стекло и керамика. – 2012. – № 5. – С. 34-39.

12 Shuqiang Xuab, Julin Wangab, Qinglin Mac Xin Zhaod Tao Zhange Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate // Construction and Building Materials. – 2014. – V 73. – P. 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.069>.

13 R.J. Flower (University College London, London, UK) Diatom methods | Diatomites: Their Formation, Distribution, and Uses / Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition). 2013, – P. 501-506.

14 Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite // Sustainable Materials and Technologies. – 2018. – V. 16. – P. 47-53.

15 Jianzong Man, Wenyuan Gao, Shuang Yan, Guishan Liu, Hongshun Hao. Preparation of porous brick from diatomite and sugar filter mud at lower temperature // Construction and Building Materials. – 2017. – V. 156. – P. 1035-1042. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.021>.

16 Пустовгар А. Эффективность применения активированных диатомитов в сухих строительных смесях. // Строительные материалы. – 2006. – № 78. – С. 52-57.

17 Кульдеев Е.И. Бондаренко И.В. Орынбеков Р.Е. Применение активированного диатомита в сухих строительных смесях. // Вестник КазНУ. – 2018. – №5. – С. 404-407.

18 Бондаренко И.В. Тастанов Е.А. Садыков Н. М-К. Получение инновационного теплоизоляционного материала из шлаков феррохрома. // Экология и промышленность Казахстана. – 2018. – №1. – С. 32-35.

19 [Электрон. ресурс] Карпенко Р.А., Громов А.С. Хайдуков В.П. Ферритно-кальциевый флюосо-связующий для железорудных окатышей. (ЛГТУ, г. Липецк) Сайт <http://komane.ru/>. (Дата обращения: 06.09.2018).

20 Ковзаленко В.А., Сарсенбай Г., Садыков Н.М.К., Абдувалиев Р.А. Комплексная переработка каолиновых глин с получением промышленных продуктов. // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – № 1. – С. 26 - 34.

21 Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Высокопористый теплоизоляционный материал на основе жидкого стекла. // Физика и химия стекла. – 2017. – Т 43. – №2. – С. 17-21.

REFERENCES

1 Ryss M.A. *Proizvodstvo ferrosplavov.* (Production of ferroalloys) M.: Metallurgiya. **1985.** 380. (in Russ.).

2 *Respublikanskaya assotsiatsiya gornodobyvayushchikh i gorno-metallurgicheskikh predpriyatij. ERG budet pererabatyvat lezhalye shlak Aktyubinskogo zavoda ferrosplavov.* (Republican Association of Mining and Metallurgical Enterprises. ERG will process the slag of Aktyubinsk Ferroalloys Plant) gazeta Kursiv kz.=Newspaper Kursiv kz. 13.11.2014. (in Russ.).

3 Imankulov Zh.I., Goncharova T.G., Yakovleva N.A., Limeshkina E.S., Almurzayeva S.I. *Rezultaty issledovaniy soderzhaniya khroma v atmosfernom vozdukh. vode. pochve. rasteniyakh Aktyubinskoy oblasti* (The results of studies of chromium content in atmospheric air, water, soil, plants of the Aktobe region) // Materialy VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Tyazhelye metallu i radionukleidy v okruzhayushchey srede».(Materials VI International Scientific and Practical Conference "Heavy Metal and Radionuclides in the Environment) T. 1. g. Semey. **2010.** (in Russ.).

4 *Otchet o rezultatakh issledovaniya lezhalykh shlakov rafinirovannogo ferrokhroma.* (Report on the results of the investigation of the slag of slag refined ferrochromium) Energo project industrijaa. d.Beograd Belgrad. Serbiya. **2014.** 83. (in Eng.).

5 Patent 2347622 RF *Sposob pererabotki otvalnogo raspadayushchegosya shlaka.* (Method for processing the waste disintegrating slag). Privalov O.E., Razin A.B., Petlyukh P.S., Esenzhulov A.B., Karmanov R.T., Demin B.L., Grabeklis A.A. Opubl. 27.02.2009. Byul. № 4. (in Russ.).

6 Kucher A.G., Novikov N.V., Tadzhibayev N.T. *Sovershenstvovaniye silikotermicheskogo protsessa vyplavki nizkouglerodistogo ferrokhroma.* (Improvement of the silicothermic process of smelting low-carbon ferrochromium.) Stal=Steel. **1995.** 4. 31-33. (in Russ.).

7 Smirnov L.A., Grabeklis A.A., Demin B.L. *Pererabotka shlakov ferrosplavnogo proizvodstva.*(Processing of slag ferroalloy production.). Trudy OAO Uralskiy institut metallov. (Proceedings of the Ural Institute of Metals) 2005. «UralInfo» Informatsionnoye agentstvo www.urm.ru. (access date: 17.09.2017).

8 Timonin A.S. *Inzhenerno-ekologicheskiy spravochnik.*(Engineering and environmental reference book) Tom 1. M.: Metallurgiya. (Metallurgy). **1979.** 194-196.

9 *V Aktyubinskoy oblasti vozmozhno snizheniye sebestoimosti stroitelstva za schet stroitelstva tsementnogo zavoda* (In Aktyubinsk region, it is possible to reduce the cost of construction through the construction of a cement plant) www.krn.kz (access date: 31.10.2017).

10 Kazennova E.P. *Obshchaya tekhnologiya stekla i steklyannykh izdeliy.* (General technology of glass and glassware). M.:Stroyizdat. **1989.** 144. (in Russ.).

11 Manevich V.E., Subbotin R.K., Nikiforov E.A. *Diatomit-kremnesoderzhashchiy material dlya stekolnoy promyshlennosti.* (Diatomite-siliceous material for the glass industry). **2012.** 35-42. (in Russ.).

12 Shuqiang Xuab. Julin Wangab. Qinglin Mac Xin Zhaod Tao Zhange Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate. *Construction and Building Materials.* **2014.** 73. 33-40. (in Eng). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.069>

13 Flower R.J. (University College London. London. UK) Diatom methods | Diatomites: Their Formation, Distribution, and Uses. *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition).* **2013.** 501-506. in Eng).

14 Properties of sustainable cement mortars containing high volume of raw diatomite // *Sustainable Materials and Technologies.* **2018.** 16. 47-53. (in Eng.).

15 Jianzong Man. Wenyuan Gao. Shuang Yan. Guishan Liu. Hongshun Hao. Preparation of porous brick from diatomite and sugar filter mud at lower temperature. *Construction and Building Materials.* **2017.** 156. 1035–1042. (<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.021>) (in Eng.).

16 Pustovgar A. *Effektivnost primeneniya aktivirovannykh diatomitov v sukhikh stroitelnykh smesyakh.* (The effectiveness of the use of activated

diatomites in dry building mixtures). *Stroitelnyye materialy=Construction Materials.* **2006.** 52-57. (in Russ.).

17 Kuldeyev E.I. Bondarenko I.V. Orynbekov R.E. *Primeneniye aktivirovannogo diatomita v sukhikh stroitelnykh smesyakh.* (The use of activated diatomite in dry building mixtures). *Vestnik KazNITU (Bulletin of KazNRU).* **2018.** 5. 404-407. (in Russ.).

18 Bondarenko I.V. Tastanov E.A. Sadykov N.M.-K. *Polucheniye innovatsionnogo teploizolyatsionnogo materiala iz shlakov ferrokroma.* (Obtaining an innovative thermal insulation material from ferrochrome slags). *Ekologiya i promyshlennost Kazakhstana.=Ecology and Industry of Kazakhstan.* **2018.** 1. 32-35. (in Russ.).

19 Karpenko R.A.. Gromov A.S. Khaydukov V.P. *Ferritno-kaltsiyevyy flyusovsyzuyushchiy dlya zhelezorudnykh okatyshey.* (Ferritic-calcium flux-bonding for iron ore pellets) LGTU . g. Lipetsk. Site: <http://komane.ru>. (access date: 06.09.2018).

20 Kovzalenko V.A.. Sarsenbay G.. Sadykov N.M.K.. Abdulvaliyev R.A. *Kompleksnaya pererabotka kaolinitovykh glin s polucheniym promyshlennykh produktov.* (Complex processing of kaolinite clays to produce industrial products). *Kompleksnoye ispolzovaniye mineralnogo Syria (Complex Use of Mineral Resources).* **2018.** 1. 26 - 34.

21 Abdrakhimova E.S.. Abdrakhimov V.Z. *Vysokoporistyy teploizolyatsionnyy material na osnovе zhidkogo stekla.* (High-porosity heat-insulating material based on liquid glass) *Fizika i khimiya stekla= Physics and Chemistry of Glass.* **2017.** 43, 2. 17-21. (in Russ.).

И. В. БОНДАРЕНКО ^{1*}, Е. А. ТАСТАНОВ ^{1,2}, Н. М.-К САДЫҚОВ. ¹, М. Ш. ИСМАҒУЛОВА ²

¹ *Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан. e-mail: igor1957@mail.ru*

² *Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан*

ТҮЙІРШІКТЕЛГЕН КЕУЕКТІ ӘЙНЕККЕҰҚСАС ЖЫЛУОҚШАУЛАҒЫШ МАТЕРИАЛДЫ АЛУ ҮШІН ТАЗАРТЫЛҒАН ФЕРРОХРОМ ШЛАКЫНЫҢ МИНЕРАЛДЫ БӨЛІГІН ҚАЙТА ӨНДЕУ.

Түйіндеме. «Ақтобе феррокорытпа зауыты» АҚ тазартылған феррохром шлактарының (қождары) 12 млн. тоннадан астамы, үйінді қалдықтарға жөнелтеді. Шлақтың (қождын) біршама мөлшері металдан турады, ал тазартылған феррохром шлакының (қожын) шаңтектес минералды бөлігі, ласты, улы алты валентті хромның бөлігі, ласты, улы алты валентті хромның екі кальцийлі силикатымен негізделген. Минерал бөлігіндегі, металды пневмосеперация және елегіште елеу арқылы бөліп алуға болады. Ал Шлақтың минералды бөлігінің тиімді өңдеу жолмен, яғни түйіршіктелген кеуеті, әйнеккеұқсас жылуоқшаланғыш материалды алу үшін, қазақстандық темірлі диатомит (кремнилі тау жынысымен) пен сұйық шыны және қоспаның термиялық өңдеумен оларды араластырып алуға болады. Екі кальцийлі силикат, майдадисперсті темір гидрототығымен және гидратталған кремниймен 1000 °С дейін өзара әрекеттеседі де, кеуеті әрекеттесфаза түзеді. Пеллет өндірісінің оңтайлы шарттары: диатомитті кеннің рафинадталған феррохром шлагының минералды бөлігіне қатынасы 2:1 болғандықтан, басқа коэффициенттерде жылжымалы шыны фазалық таблеткалардың пайда болуы байқалады, өңдеу температурасы 1050 °С, себебі төменгі температурада шыны фаза қалыптаспайды. Демек, ферро – силикокальцийлі қосылыстардың күйдірілген қоспасының механикалық беріктігі анағұрлым жоғары. Алтывалентті хром қосылысы, әйнектімассада ериді және белсенсіз түрге айналады. Рафинадталған феррохром шлактарының кальций мен кремний оксидтерінің салыстырмалы түрде жоғары құрамына байланысты минералды бөлігі түйіршікті кеуеті жылу оқшаулағыш материалдарды өндіру үшін құнды шикізат болып табылады. Ұсынылып отырған технология тазартылған феррохромның қымбат тұратын металл концентрат түрінде рафинадталған феррохром шлактарының жоғары құнды металл құрамдас бөлігін алуға және темірбетон бұйымдары үшін кеуеті пеллет толтырғыштар алуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: қож (шлак), хромның қосылыәйнекті фаза, диатомит, кальций ферритті – кальцийлі флюсты біріктіргіш, беріктігі.

I. V. BONDARENKO^{1*}, *Y. A. TASTANOV*^{1,2}, *N. M-K SADYKOV*¹, *M. S. ISMAGULOVA*²

¹*Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan, *e.mail: igor1957@mail.ru*

²*Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan*

PROCESSING OF MINERAL PART OF REFINED FERROCHROME SLAGS TO OBTAIN PELLETTED POROUS HEAT INSULATOR

Annotation. In the wastes of the joint stock Aktobe Ferro-alloy plant, there are over 12 mln ton of refined ferrochrome slags that contain significant amounts of the metal dorebead. Dust-like mineral part of the slag of refined ferrochrome mainly consists of di-calcium silicate contaminated with poisonous compounds of hexatomic chrome. The metal can be separated from the mineral part by air separation and screen sizing, while the mineral part of the slag can be very efficiently mixed with Kazakhstani ferri-ferrous diatomite (opoka) and fluid glass and thermally processed to obtain glass-like heat insulating material. Being heated up to $t \geq 1000^{\circ}\text{C}$ Di-calcium silicate interacts with finely divided ferrum dioxide and hydrated silica to form porous glass phase of ferro-silica-calcium compounds that strengthen the heat-processed pellets against any mechanical influence. It was found that the optimum conditions for pellet production are: the ratio of diatomite ore to the mineral part of the RFX slag 2: 1, because at other ratios, the formation of a rolling glass-phase pellet is observed, the processing temperature is 1050°C , because at lower temperatures there is practically no formation of a glass phase. The compounds of hexatomic chrome are destroyed at heating and dissolve in the glass mass where they become insoluble.

It is shown that the mineral part of RFX slags due to the relatively high content of calcium and silicon oxides is a valuable raw material for the production of granular porous heat-insulating material. The proposed technology makes it possible to extract a high-value metal component of RFX slags in the form of an expensive metal concentrate of refined ferrochromium and to obtain porous pellet fillers for reinforced concrete products.

Keywords: slag, ferrochrome, chrome, glass phase, diatomite, ferritic-calcium flux-bonding, pellets

Поступила 11.09.2018