

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**

выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KBNH3045>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажибоева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

А. К. Жунусова, А. К. Жунусов, *А. Е. Кенжебекова

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

*e-mail: kenzhebekova_psu@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОРУРНОГО АГЛОМЕРАТА

В данной статье приводятся исследования ввода в состав агломерационной шихты флюсов, чем больше в составе расплава FeO, тем больше магния в решетке магнетитовой фазы. В металлургии, в частности при производстве черных металлов часто используются техногенные отходы в качестве дешевых заменителей железных, марганцевых, хромистых руд. Как правило, техногенные отходы имеют фракционный состав менее 5 мм. Агломерация отходов глиноземного производства с получением железорудного агломерата позволяет вовлечь в металлургический передел различные техногенные отходы. По приведенным данным при использовании в качестве флюса доломита подтверждается присутствием в составе железорудного агломерата металлического железа. Ввод доломита в агломерационную шихту позволяет получить офлюсованный агломерат. При использовании агломерата для выплавки металлов, офлюсованный агломерат позволит вывести из печей известняк. Вывод, которого приводит к экономии значительного количества тепла, затрачиваемой на диссоциацию CaCO_3 и MgCO_3 , соответственно экономится топливо. Магний диссоциирует с магнетитом до образования MgFe_2O_4 и MgO . Для подтверждения достоверности проведенных исследований были изучены образцы не офлюсованного и офлюсованного агломерата и выполнен усредненный элементный состав спека по данным EDS-анализа, приведенные на рисунках и таблицах в данной работе.

Ключевые слова: Железистый песок, железорудный агломерат, оксид магния, флюсы, спекание, микроанализ, спектрограмма.

Введение

Глинозем, как известно, производят из бокситов по методу Байер – спекание [1]. При таких способах образуется большое количество шламовых отходов. Одним из таких шламов называют – отвальные шламы, среди которых больше половины занимают железистые пески. По данным источников [2; 3] на одну тонну получаемого из бокситов глинозема приходится от 0,9 до 1,5 т отвальных шламов. До настоящего времени в Казахстане железистые шламы практически не находят дальнейшего применения и складываются на шламовых полях. Последние занимают огромные территории и наносят

окружающей среде колоссальный вред. По всему миру такие шламовые поля занимают земельных площадей от 10 до 50 га и хранят десятки миллионов тонн отходов [4].

Из некоторых источников известно, что в мире накоплено от 2,0 млрд. до 4,0 млрд. тонн отходов глиноземного производства [5] и на содержание таких шламохранилищ тратятся огромные денежные средства.

Шламы глиноземного производства содержат высокое количество щелочи и поэтому представляют опасность для окружающей среды. Известна катастрофа, произошедшая в Венгрии в 2010 году (г. Колонтар). В результате прорыва дамбы было выброшено около 700 тыс. тонн шламов. Пострадали люди, животный мир и были разрушены дома [6].

До настоящего времени в мире представлено большое многообразие работ по переработке красных шламов. Однако, проводимые исследования не все представляют интерес со стороны металлургии. Многие технологии переработки красных шламов отличаются дороговизной на реализацию представленных исследований, также большинство из них сопровождаются сложностью и многостадийностью процессов переработки. Красный шлам по своему составу может использоваться в разных направлениях промышленности. В работах [7; 8] представлены различные варианты использования красных шламов по различным отраслям промышленности. В представленных исследованиях рассматриваются пирометаллургические, гидromеталлургические способы и прямое использование красных шламов, а также в качестве катализаторов химической промышленности. Например, в работах [9,10] подходят критически к переработке отходов глиноземного производства, к примеру, что в работах [11; 12; 13; 14] предлагается использовать отходы глиноземного производства в качестве фильтра для очистки воды, извлечения металлов, пирометаллургической переработке и использования в качестве строительных материалов. Однако, пирометаллургическая переработка занимает преимущественно главное место.

В металлургии, в частности при производстве черных металлов часто используются техногенные отходы в качестве дешевых заменителей железных, марганцевых, хромистых руд. Как правило, техногенные отходы имеют фракционный состав менее 5 мм. При работе на мелкой шихте, к примеру, в доменной печи значительно возрастают давление дутья на фурмах и потери напора дутья в столбе шихты. Все это приводит к зависанию шихты, ухудшается газопроницаемость. Возникает ухудшение степени использования химической и тепловой энергии. В таких условиях не приходится нормально эксплуатировать печи и добиться производительности работы цехов. Очевидно, что большая часть перечисленных трудностей устраняется предварительным окускованием мелочи - агломерацией.

Таким образом, агломерация отходов глиноземного производства с получением железорудного агломерата позволяет вовлечь в металлургический передел различные техногенные отходы [15], такие как: отсеvy руд, шламы, прокатную окалину, колошниковые и аспирационные пыли и в том числе железистые шламы глиноземного производства [16]. Подготовленная к плавке окускованная высококачественная шихта позволит не только утилизировать существующие отходы, но и улучшить рабочий ход печей при выплавке черных металлов в углеродо - восстановительной плавке, снизить вынос пыли, уменьшить удельный расход кокса и увеличить количество металлов за счет использования техногенных отходов. Проведенный анализ литературных источников и предварительные исследования агломерации отходов глиноземного производства позволили установить, что наиболее приемлемой технологией для использования железистых песков в металлургии является агломерационный процесс и использование

полученного железорудного агломерата в качестве заменителя легковесного лома при производстве чугуна, стали, ферросплавов.

Материалы и методы

Исследования получения железорудного агломерата проводились в лаборатории кафедры «Металлургия» НАО «Торайгыров университета». В качестве шихты при агломерации использовали железистый песок в смеси с различными железосодержащими отходами (прокатная окалина, аспирационная пыль) коксовую мелочь фракции 0-5 мм и флюсующие материалы.

Основной задачей исследования по данному направлению является изучение механизма влияния флюсов на физико-химические свойства железорудного агломерата и подбор оптимального типа флюса. От правильного подбора флюсующего материала, который лучше всего подобрать в процессе агломерации, и в будущем при восстановительных процессах получения чугуна и ферросплавов офлюсованный железорудный агломерат окажет положительное влияние на химизм процесса получения черных металлов (чугуна, углеродистого ферромарганца, низкокремнистого ферросилиция).

При агломерации железистого песка в качестве флюсующего материала использовали доломит. Доломит выбран с точки зрения наиболее подходящего флюса для материалов в своем составе имеющие глинозем. С позиции оксидной системы FeO-CaO-Fe₂O₃-Al₂O₃ имеется система как и в системе (Fe²⁺, Ca²⁺//Fe₂O₄²⁻, Al₂O₄²⁻), с главной диагональю F'A (герцинит) – CF (моноферрит кальция) в соответствии с ΔG_T^0 .

Согласно работам авторов [17] на полученной ими диаграмме процессы взаимодействия компонентов железорудной смеси с флюсующими кальцийсодержащими материалами протекают преимущественно с образованием легкоплавких расплавов в окрестностях ферритов кальция, представленных в виде смесей с магнетитом, вюститом, герцинитом и моноалюминатом кальция. Появление алюминатов кальция, как самостоятельной фазы, возможно по завершении всех реакции в смесях с достижением равновесия в основном в высокоизвестковых частях систем. Появление герцинита легкоплавкое и имеет высокую электропроводность. Поэтому процесс плавки железорудного агломерата может сопровождаться образованием легкоплавких шлаков, т.е. скорость образование шлаков больше, чем скорость восстановления железа. Это естественно приведет к расстройству хода печи, если не предпринять специальных мер для предотвращения указанных отрицательных факторов.

Для этого необходимо добавлять доломит при агломерации железистых песков. Это может обеспечить образование более тугоплавких конечных шлаков. Но при этом следует выявить характер изменения фазового состава агломератов и образующихся шлаков, и соответственно их свойств в зависимости от количества доломита в шихте с определением его оптимального количества.

Таким образом, предварительно были подготовлены пробы образцов железорудного агломерата для дальнейшего исследования в лаборатории Центра опережающего развития «Veritas» НАО ВКТУ им. Д. Серикбаева. Пробы состояли из железорудного агломерата и офлюсованного доломитом агломерата.

Результаты и обсуждение

Пробы железорудного агломерата из железистых песков отходов глиноземного производства полученного в процессе агломерации подверглись микроанализу растровой электронной микроскопией с системой микроанализа INCA Energy на базе ЦАП «Veritas» Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск).

В таблицах 1–4 и рисунках 1–4 представлены данные параметров обработки анализов всех элементов агломерата, элементный состав железорудного агломерата по данным EDS-анализа.

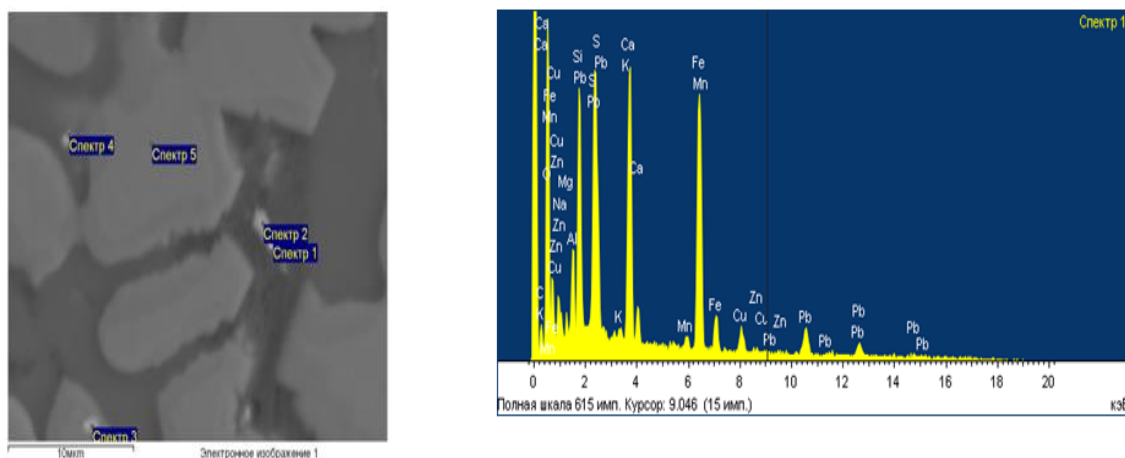


Рисунок 1 – Микроанализ и спектрограмма железорудного агломерата

Таблица 1 – Данные параметров обработки анализов всех элементов неофлюсованного железорудного агломерата

Спектр	Химические элементы, %										
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	As	Pb
Спектр 1	28,9	0,73	15,9	7,4	-	3,98	-	42,7	0,39	-	-
Спектр 2	15,3	0,51	17,4	7,9	0,27	4,57	-	53,5	0,60	-	-
Спектр 3	28,0	0,60	15,6	6,3	0,39	4,68	0,30	43,4	0,30	0,43	-
Спектр 4	26,7	0,81	16,0	6,9	-	3,97	0,17	45,4	-	-	0,05
Спектр 5	12,6	0,85	19,4	3,0	-	3,39	0,31	59,6	-	-	0,85

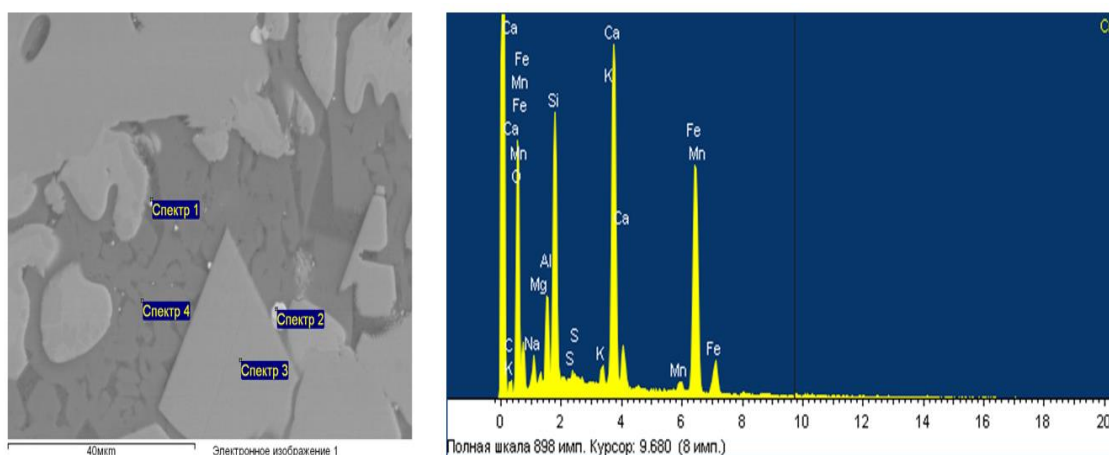


Рисунок 2 – Микроанализ и спектрограмма железорудного агломерата

Таблица 2 – Данные параметров обработки анализов всех элементов офлюсованного железорудного агломерата

Спектры	Химический состав, %										
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	K	Mn	Na
Спектр 1	38,65	0,64	13,23	9,43	-	5,63	28,57	-	0,95	0,99	1,91
Спектр 2	18,19	-	10,81	3,90	-	4,63	62,47	-	-	-	-
Спектр 3	33,21	0,81	11,04	2,98	-	4,31	46,77	-	-	0,88	-
Спектр 4	38,77	1,18	17,30	10,24	-	7,08	25,43	-	-	-	-

Из рисунка 1 и таблицы 1 видно, что максимальное количество железа обнаруживается в спектрах 2 и 5 – 53,5 и 59,6 соответственно. В таблице 2 и на рисунке 2 наблюдается, что максимальное количество железа обнаруживается в спектре 2 – 62,47. Такое количество железа в этих спектрах подтверждается присутствием магнетита и гематита. Данные рисунков 1 и 2 по результатам EDS-анализа подтверждаются данными рентгенофазового анализа (Рисунок 3).

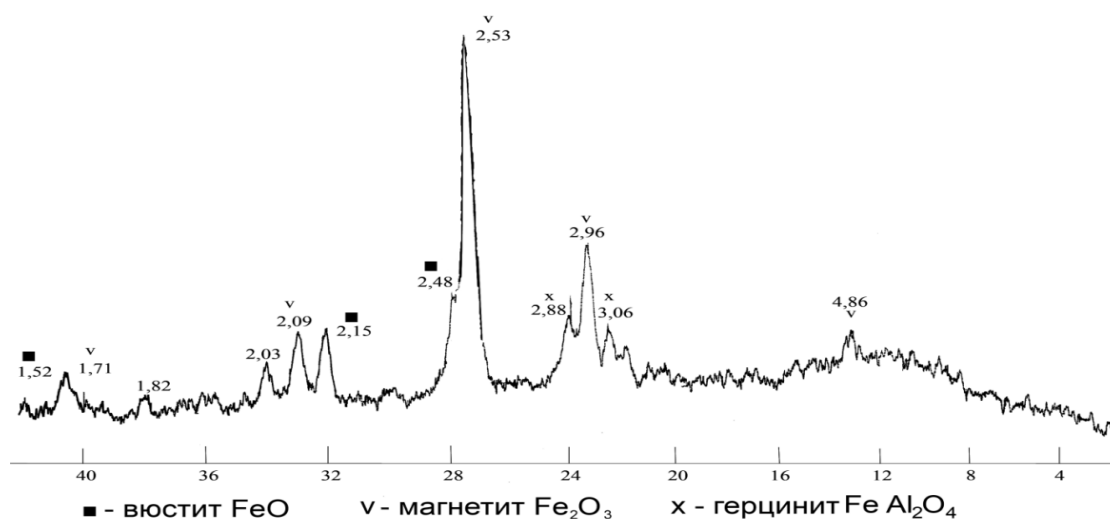


Рисунок 3 – Рентгенограмма железорудного агломерата

На рентгенограмме неофлюсованного железорудного агломерата наблюдается появление герцинита (Рисунок 3). Появление герцинита объясняется тем, что при агломерации происходит разрушение силикатов железа в восстановительных условиях и соответственно взаимодействие компонентов без флюсующих материалов будут протекать преимущественно с образованием легкоплавких расплавов в окрестностях ферритов кальция, представленных в виде смесей с магнетитом, вюститом, герцинитом и моноалюминатом кальция, что и наблюдается из данных рисунка 3. Появление алюминатов кальция, как самостоятельной фазы с позиции оксидной системы FeO-CaO-Fe₂O₃-Al₂O₃, возможно по завершении всех реакции в смесях с достижением равновесия в основном в высокоизвестковых частях систем. Появление герцинита легкоплавкое и имеет высокую электропроводность. Поэтому процесс плавки железорудного агломерата может сопровождаться образованием легкоплавких шлаков, т.е. скорость образование шлаков больше, чем скорость восстановления железа. Это естественно приведет к расстройству хода печи, если не предпринять специальных мер для предотвращения указанных отрицательных факторов.

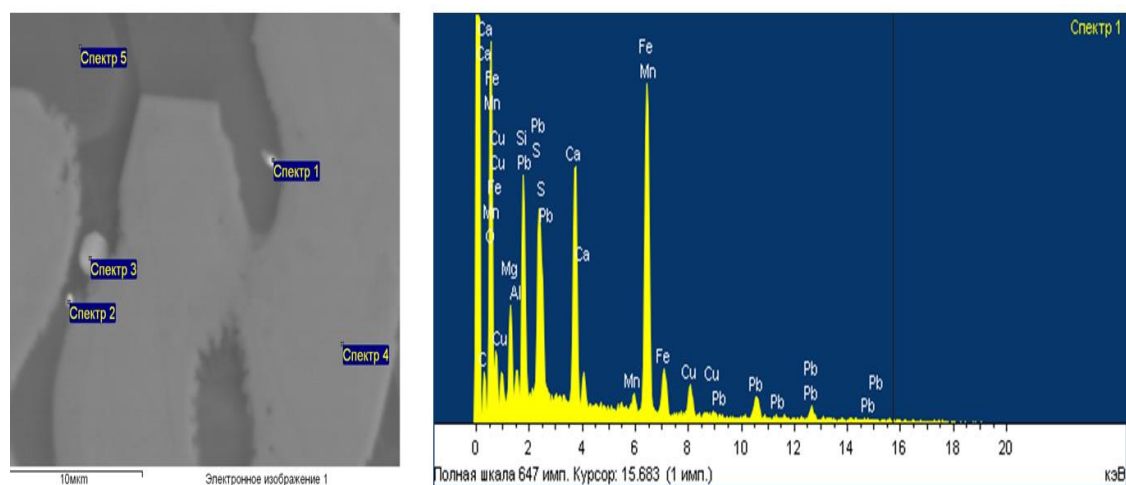


Рисунок 4 – Микроанализ и спектрограмма офлюсованного доломитом железорудного агломерата

Таблица 3 – Данные параметров обработки анализов всех элементов офлюсованного железорудного агломерата

Спектры	Химический состав, %									
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Zn	Pb
Спектр 1	23,90	3,57	16,3	7,0	0,32	3,23	42,7	0,12	-	2,86
Спектр 2	22,51	3,29	15,2	5,75	0,73	3,20	47,3	0,97	-	1,05
Спектр 3	24,36	2,60	17,0	4,06	-	2,88	47,81	-	1,29	-
Спектр 4	30,90	4,58	14,3	2,46	-	4,50	43,26	-	-	-
Спектр 5	36,50	5,95	15,2	5,80	-	5,6	30,95	-	-	-

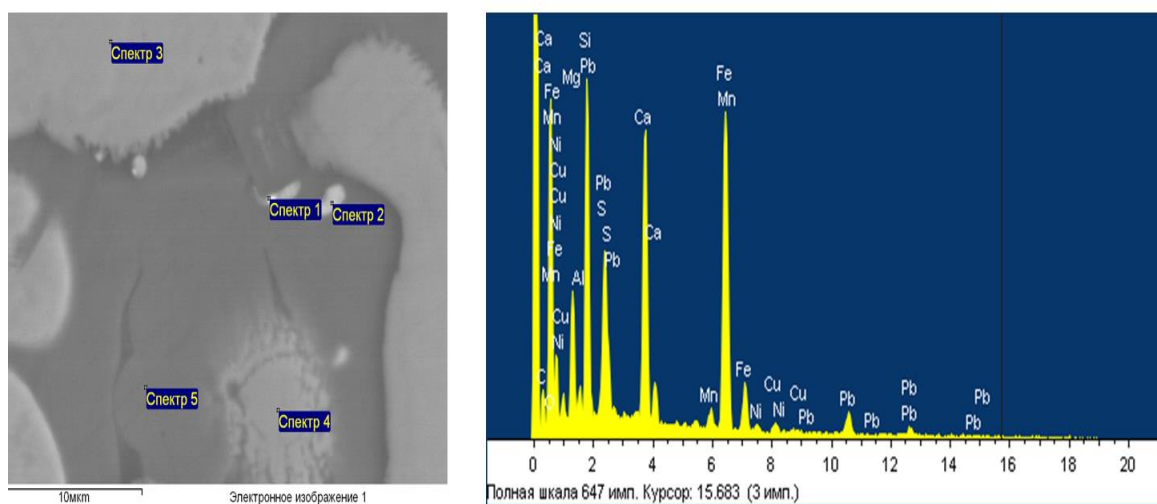


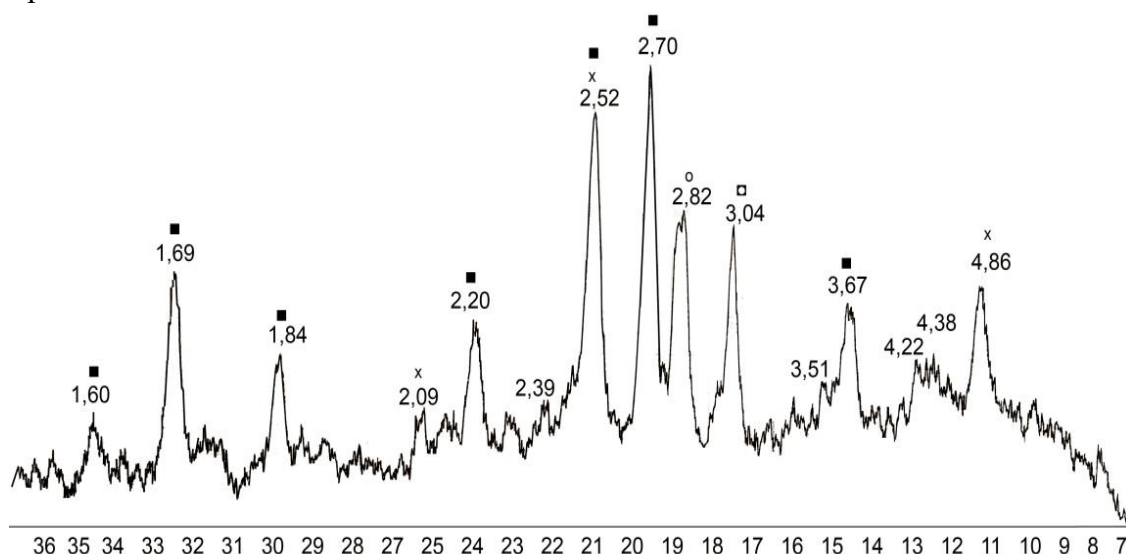
Рисунок 5 – Микроанализ и спектрограмма офлюсованного доломитом железорудного агломерата

Таблица 4 – Данные параметров обработки анализов всех элементов офлюсованного железорудного агломерата

Спектры	Химический состав, %									
	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	Cu	Ni	Pb
Спектр 1	23,49	4,85	14,6	8,16	1,74	5,25	49,32	1,46	0,96	0,17
Спектр 2	25,33	3,83	16,5	6,27	0,87	3,24	42,60	1,36	-	-
Спектр 3	30,03	4,82	17,1	2,45	-	3,30	42,30	-	-	-
Спектр 4	31,23	3,22	13,2	2,64	-	3,00	46,71	-	-	-
Спектр 5	26,94	6,05	14,3	10,98	-	13,6	28,13	-	-	-

Из данных рисунков 4, 5 и таблиц 3,4 микроанализа и спектрограмм офлюсованного доломитом железорудного агломерата наблюдаются практически во всех спектрах одинаковое количество железа с появлением герцинита, что подтверждается представленными данными рентгенограммы офлюсованного железорудного агломерата (Рисунок 3).

Из рентгенограммы железорудного агломерата представленного на рисунке 6 видно вместе с гематитом (Fe_2O_3), магнетитом (Fe_3O_4) наблюдается образование сопутствующих минералов кальцита ($CaCO_3$), сидерита ($FeCO_3$) и магнезия (MgO). Появление данных минералов объясняется тем, что при агломерации происходит разрушение силикатов железа в восстановительных условиях, при котором и образуется сидерит.



■ - гематит; x - магнетит; □ - кальцит; o - доломит-сидерит

Рисунок 6 – Рентгенограмма офлюсованного железорудного агломерата

По данным рентгенограммы офлюсованного железорудного агломерата представленного на рисунке 6 наблюдается образование кремнийсодержащего расплава. Который, происходит в системе с избытком FeO , при этом определяется направление формирования минералообразования агломератов. При агломерации не офлюсованного агломерата силикатные связки агломератов основности 1,2–1,4 лежат в оливинном поле диаграммы состояния $CaO-FeO-SiO_2$, занимая широкую область составов, прилегающие к двухкальциевому силикату [18].

По данным [18–20] состав оливиновой фазы в каждом конкретном случае определяется основностью расплава и количеством двухвалентного железа. В офлюсованном агломерате состав расплава не приближается к фазе фаялитового состава (FeSiO_4). Максимальное количество фаялита может достигать 80 %, при этом в составе агломерата FeO находится 62,47 % (Таблица 2) и может иметь низкую температуру плавления 1130 °С.

Глинозем, содержащийся в составе железорудного агломерата, является составляющей фаз – связок. При агломерации глинозем входит в состав рудных, ферритных и силикатных фаз. Доля алюминия в составе фаз определяется окислительным потенциалом газовой фазы при формировании агломерата. Если окислительный потенциал ниже газовой фазы, тем больше в системе FeO и Al в виде герцинита, что объясняется его появлением (Рисунок 6).

Магний (MgO) в составе железорудного агломерата будет являться источником FeO . В зависимости от основности агломерата MgO вместе с FeO расходуется на построение силикатных фаз или входит в состав магнетитового твердого раствора (Fe,Mg) Fe_2O_4 , который образуется на контакте гематита с магнийсодержащими силикатным раствором при основности железорудного агломерата выше 0,7. Магний (MgO) в железорудном агломерате приведет к диссоциации трехвалентного железа в расплаве и накоплению в нем двухвалентного железа с переходом в более тугоплавкую часть с образованием магнетитовых фаз.

При агломерации железистых песков в зависимости от отношения в расплаве двухвалентного железа к трехвалентному, что в свою очередь определяется окислительным потенциалом газовой фазы, оксид магния входит в состав рудного материала либо в состав силикатов.

Выводы

Проведенные исследования показали целесообразность ввода в состав агломерационной шихты флюсов. Ввод доломита позволяет образовывать в расплаве больше вюстита, чем больше в составе расплава FeO , тем больше магния переходит в решетку магнетитовой фазы. По приведенным данным рисунков 1-6 и таблиц 1-4 при использовании в качестве флюса доломита подтверждается присутствием в составе железорудного агломерата металлического железа. При использовании агломерата для выплавки металлов, офлюсованный агломерат позволит вывести из печей известняк. Вывод известняка из печей приведёт к экономии значительного количества тепла, затрачиваемой на диссоциацию CaCO_3 и MgCO_3 , соответственно экономится топливо. Магний диссоциирует с магнетитом до образования MgFe_2O_4 и MgO и переходу герцинита в магнетитовую фазу. Достоверность проведенных исследований железорудного и офлюсованного агломерата подтверждается элементными данными микроанализа растровой электронной микроскопии с системой микроанализа INCA Energy (EDS-анализа) и представленными рентгенограммами исследуемых агломератов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Mayes, W. M., Jarvis, A. P., Burke, I. T.** Dispersal and attenuation of trace contaminants downstream of the Ajka bauxite residue (redmud) depository failure, Hungary // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45. – No. 12. – P. 5147–5155.

2 **Zhang, R., Zheng, S., Ma, S., Zhang, Y.** Recovery of alumina and alkali in Bayer red

mud by the formation of andradite-grossularhydrogarnet in hydrothermal process // Journal of Hazardous Materials. – 2011. Vol. – 189. – P. 827 – 835.

3 **Evan, K.** The history, challenges and new developments in the management and use of bauxite residue // Journal of Sustainable Metallurgy. – 2016. – Vol. 2. – P. 316–331.

4 **Трушко, В. Л., Утков, В. А., Бажин, В. Ю.** Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // Записки Горного института. – 2017. – Т. 227. – С. 547–553.

5 **Zhaobo, L., Hongxu, L.** Metallurgical process for valuable elements recovery from red mud – a review // Hydrometallurgy. – 2015. – Vol. 155. – P. 29 – 43.

6 **Anton, A., Rekasi, M., Uzinger, N.** etc. Modelling the potential effects of the hungarian red mud disaster on soil properties // Water, Air, & Soil Pollution. – 2012. – Vol. 223. – No. 8. – P. 5175–5188.

7 **Boily, R.** Twenty cases of red hazard, an inventory of ecological problems caused by bauxite residue from alumina production // Conference paper in Inforex on October 3, 2012, Larval, Quebec, Canada. – [Electronic resource]. – www.orbitealumine.com/media/upload/filings/Twenty_Cases_of_Red_Hazard_-_PublicVF.pdf (Accessed 12.09.2022).

8 **Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P.** Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // Journal of Hazardous Materials. 2004. Vol. 116. No. 1 – 2. P. 103 – 110.

9 **Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H.** Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // Journal of material cycles and waste management. – 2004. – Vol. 6. – No. 1. – P. 20–26.

10 **Tsakiridis P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P.** Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // Journal of Hazardous Materials. 2004. – Vol. 116. – No. 1 – 2. – P. 103–110.

11 **Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H.** Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // Journal of material cycles and waste management. – 2004. – Vol. 6. – No. 1. – P. 20–26.

12 **Power, G., Grafe, M., Klauber, C.** Bauxite residue issues : I. Current management, disposal and storage practices // Hydrometallurgy. – 2011. – Vol. 108. – No. 1–2. – P. 33–45.

13 **Klauber, C., Grafe, M., Power, G.** Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization // Hydrometallurgy. – 2011. – Vol. 108. – No. 1 – 2. – P. 11–32.

14 **Liu, Y., Naidu, R., Ming, H.** Red mud as an amendment for pollutants in solid and liquid phases // Geoderma. – 2011. – Vol. 163. – No. 1 – 2. P. 1–12.

15 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan. Metallurgija. – 60 (2021). – (1-2):101-103.

16 **Абсолямова, Д. Р., Жунусов, А. К., Кулумбаев, Н. К., Маженов, А., Шошай, Ж.** Определение оптимального количества топлива при агломерации отходов алюминиевого производства // Вестник ВКГТУ. – Усть-Каменогорск : ВКГТУ им. Серикбаева, 2015. – № 4. – С. 24–27.

17 **Tolymbekov, M. Zh.** The diagram of phase structure of the oxide system MnO-MgO-CaO-SiO₂-Al₂O₃. Proceedings of INFACON XIII – 13th International Ferroalloys Congress: Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020. – P. 663–668.

18 **Мальшева, Т. Я., Долицкая, О. А.** Петрография и минералогия железорудного сырья: Учебное пособие для вузов / Мальшева Т.Я., Долицкая О.А. – М. : МИСИС, - 2004. – 424 с.

19 **Malysheva, T.Y., Pisarev, S.A., Kalinin, A.S., Makavetskas, A.R., Fishchenko,**

Yu.Yu. Evolution of mineral composition of fluxed sinter from iron ore concentrate of the Kovdor deposit. // *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. – 2019. – 62(7):578-580. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-7-578-580>.

20 Шабанов Е.Ж., Сәлімгерей Н.А., Габдуллин С.Т., Төлеуқадыр Р. Т., Мұздыбаев Д. Р. Термодинамически-диаграммный анализ фазовых равновесий в металлической системе Cr-Mn-Si-Fe. // *Наука и техника Казахстана*. – 2022. – № 2. – С. 56–65.

REFERENCES

1 Mayes, W. M., Jarvis, A. P., Burke, I. T. Dispersal and attenuation of trace contaminants downstream of the Ajka bauxite residue (redmud) depository failure, Hungary // *Environmental Science & Technology*. – 2011. – Vol. 45. – No. 12. – P. 5147–5155.

2 Zhang, R., Zheng, S., Ma, S., Zhang, Y. Recovery of alumina and alkali in Bayer red mud by the formation of andradite-grossularhydrogarnet in hydrothermal process // *Journal of Hazardous Materials*. – 2011. – Vol. 189. – P. 827–835.

3 Evan, K. The history, challenges and new developments in the management and use of bauxite residue // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2016. – Vol. 2. – P. 316–331.

4 Trushko, V. L., Utkov, V. A., Bazhin, V. YU. Aktual'nost' i vozmozhnosti polnoj pererabotki krasnyh shlamov glinozemnogo proizvodstva [Relevance and possibilities of complete processing of red mud from alumina production] // *Notes of the Mining Institute*. – 2017. – T. 227. – P. 547–553.

5 Zhaobo, L., Hongxu, L. Metallurgical process for valuable elements recovery from red mud – a review // *Hydrometallurgy*. – 2015. – Vol. 155. – P. 29–43.

6 Anton, A., Rekasi, M., Uzinger, N. etc. Modelling the potential effects of the hungarian red mud disaster on soil properties // *Water, Air, & Soil Pollution*. – 2012. – Vol. 223. – No. 8. – P. 5175–5188.

7 Boily, R. Twenty cases of red hazard, an inventory of ecological problems caused by bauxite residue from alumina production // Conference paper in Inforex on October 3, 2012, Larval, Quebec, Canada. – [Electronic resource]. – URL: www.orbitealuminae.com/media/upload/filings/Twenty_Cases_of_Red_Hazard_-_PublicVF.pdf (Accessed 12.09.2022).

8 Tsakiridis, P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P. Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – Vol. 116. – No. 1–2. – P. 103–110.

9 Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H. Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // *Journal of material cycles and waste management*. – 2004. – Vol. 6. – No. 1. – P. 20–26.

10 Tsakiridis P. E., Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P. Red mud addition in the raw meal for the production of Portland cement clinker // *Journal of Hazardous Materials*. 2004. – Vol. 116. – No. 1 – 2. – P. 103–110.

11 Cakici, A. I., Yanik, J., Karayildirim, S. U. T., Anil, H. Utilization of red mud as catalyst in conversion of waste oil and waste plastics to fuel // *Journal of material cycles and waste management*. – 2004. – Vol. 6. – No. 1. – P. 20–26.

12 Power, G., Grafe, M., Klauber, C. Bauxite residue issues : I. Current management, disposal and storage practices // *Hydrometallurgy*. – 2011. – Vol. 108. – No. 1–2. – P. 33–45.

13 Klauber, C., Grafe, M., Power, G. Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization // *Hydrometallurgy*. – 2011. – Vol. 108. – No. 1 – 2. – P. 11–32.

14 Liu, Y., Naidu, R., Ming, H. Red mud as an amendment for pollutants in solid and

liquid phases // Geoderma. – 2011. – Vol. 163. – No. 1 – 2. P. 1–12.

15 **Zhunosov, A., Tolymbekova, L., Abdulabekov, Ye., Zholdubayeva, Zh., Bykov, P.** Agglomeration of manganese ores and manganese containing wastes of Kazakhstan. Metallurgija. – 60 (2021). – (1-2):101-103.

16 **Absolyamova, D. R., Zhunosov, A. K., Kulumbaev, N. K., Mazhenov, A., Shoshaj, ZH.** Opredelenie optimal'nogo kolichestva topliva pri aglomeracii othodov alyuminiyevogo proizvodstva [Determination of the optimal amount of fuel during agglomeration of aluminum production waste] // Vestnik EKSTU. – Ust-Kamenogorsk : EKSTU named after. Serikbaeva, 2015. – № 4. – P. 24–27.

17 **Tolymbekov, M. Zh.** The diagram of phase structure of the oxide system MnO-MgO-CaO-SiO₂-Al₂O₃. // Proceedings of INFACON XIII – 13th International Ferroalloys Congress : Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020. – P. 663–668.

18 **Malysheva, T. YA., Dolickaya, O. A.** Petrografiya i mineralogiya zhelezorudnogo syr'ya [Petrography and mineralogy of iron ore raw materials] : Textbook for universities / Malysheva T. Ya., Dolitskaya O. A. – Moscow, 2004. – 424 p.

19 **Malysheva, T. Y., Pisarev, S. A., Kalinin, A. S., Makavetskas, A. R., Fishchenko, Yu. Yu.** Evolution of mineral composition of fluxed sinter from iron ore concentrate of the Kovdor deposit. // *Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* – 2019. – 62(7). – P. 578–580. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2019-7-578-580>.

20 **Shabanov, E. Zh., Sälimgerej, N. A., Gabdullin, S. T., Töleuqadyr, R. T., Müzdybaev, D. R.** Termodinamicheski-diagrammnyj analiz fazovyh ravnovesij v metallicheskoj system [Thermodynamic diagram analysis of phase equilibria in the metal system Cr-Mn-Si-Fe. // Science and technology of Kazakhstan, 2022. – No 2. – P. 56–65.

Поступило в редакцию 15.09.23.

Поступило с исправлениями 15.10.24.

Принято в печать 23.02.24.

А. К. Жунусова, А. К. Жунусов, * А. Е. Кенжебекова

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

15.09.23 ж. баспаға түсті.

15.10.23 ж. түзетулерімен түсті.

23.02.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ТЕМІР КЕНІ АГЛОМЕРАТЫНЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Бұл мақалада агломерациялық шикіқұрамның құрамына флюстердің еңгізілуі жайлы зерттеулер келтірілген, FeO балқымасының құрамында негұрлым көп болса, магнетит фазасының торында магний соғұрлым көп болады. Metallургияда, атап айтқанда қара металдар өндірісінде темір, марганец, хром рудаларының арзан алмастырғыштары ретінде техногендік қалдықтар жиі пайдаланылады. Әдетте, техногендік қалдықтардың фракциялық құрамы 5 мм-ден аз. Темір кені агломератын алу арқылы глиназем өндірісі қалдықтарының агломерациясы металлургиялық қайта балқыту әртүрлі техногендік қалдықтарды тартуға мүмкіндік береді. Жоғарыда келтірілген мәліметтерге сәйкес, флюс ретінде доломитты пайдаланған кезде темір рудасы агломератының құрамында металды

темірдің бар екенің расталады. Доломитті агломерациялық шикіқұрамға енгізу флюстелген агломерат алуға мүмкіндік береді. Металдарды қорыту үшін агломератты пайдаланған кезде флюстелген агломерат пештерден ақтасты шығаруға мүмкіндік береді. Нәтижесінде, CaCO_3 және MgCO_3 диссоциациясына жұмсалатын жылудың едәуір мөлшері үнемделеді, сәйкесінше отын үнемделеді. MgFe_2O_4 және MgO түзілгенге дейін магний магнетитпен диссоциацияланады. Жүргізілген зерттеулердің дұрыстығын растау үшін флюстелмеген және флюстелген агломерат үлгілері зерделенді және осы жұмыстағы суреттер мен кестелерде келтірілген EDS-талдау деректері бойынша күйеженің орташаланған элементтік құрамы орындалды.

Кілтті сөздер: Темірлі құм, теміррудасы агломерат, магний оксиді, флюстер, женіңектелу, микроанализ, спектрограмма.

A. K. Zhunusova, A. K. Zhunusov, * A. Ye. Kenzhebekova

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 15.09.23.

Received in revised form 15.10.23.

Accepted for publication 23.02.24.

STUDIES OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF IRON ORE AGGLOMERATE

This article presents studies of the introduction of fluxes into the sinter mixture; the more FeO in the melt, the more magnesium in the magnetite phase lattice. In metallurgy, in the production of ferrous metals, technogenic waste is often used as cheap substitutes for iron, manganese, and chromium ores. As a rule, technogenic waste has a fractional composition of less than 5 mm. Agglomeration of alumina production waste with the production of iron ore agglomerate makes it possible to involve various man-made wastes in metallurgical processing. According to the data presented, when dolomite is used as a flux, it is confirmed by the presence of metallic iron in the iron ore agglomerate. The introduction of dolomite into the sintering charge makes it possible to produce a fluxed agglomerate. When using sinter for metal smelting, fluxed sinter will allow limestone to be removed from the furnaces. A conclusion that leads to saving a significant amount of heat spent on dissociation CaCO_3 and MgCO_3 , fuel is saved accordingly. Magnesium dissociates with magnetite to form MgFe_2O_4 and MgO . To confirm the reliability of the research carried out, samples of non-fluxed and fluxed agglomerate were studied and the averaged elemental composition of the sinter was carried out according to EDS analysis, shown in the figures and tables in this work.

Keywords: Ferrous sand, iron ore agglomerate, magnesium oxide, fluxes, sintering, microanalysis, spectrogram.

Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4203

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

e-mail: nitk.tou.edu.kz

www.stk.tou.edu.kz