

# Пыль от газоочистки производства феррохрома и пути ее утилизации

<sup>1</sup>**ЖУМАШЕВ Калкаман**, д.т.н., зав. лабораторией, *innovaciya\_zh@mail.ru*,

<sup>1</sup>**БАЙСАНОВ Алибек Сайлауович**, к.т.н., зав. лабораторией, *alibekbaisanov.ab@gmail.com*,

<sup>1\*</sup>**КАТРЕНОВ Бауыржан Боранбаевич**, к.т.н., старший научный сотрудник, *baur-8-3@mail.ru*,

<sup>2</sup>**ЖУМАГАЛИЕВ Ерлан Уланович**, к.т.н., зав. кафедрой,

<sup>2</sup>**ШАБАНОВ Ербол Жақсылықұлы**, PhD, профессор,

<sup>1</sup>Химико-металлургический институт имени Ж. Абишева, ул. Ермакова, 63, Караганда, Казахстан,

<sup>2</sup>НАО «Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», пр. А. Молдагуловой, 34, Актобе, Казахстан,

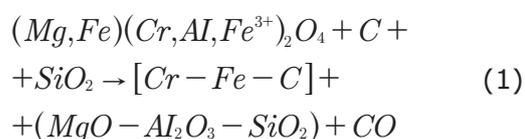
\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Статья посвящена переработке хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов руднотермической печи при выплавке углеродистого феррохрома. Пыль характеризуется низким содержанием оксида хрома (III) и повышенным содержанием оксида магния. Как известно, высокое содержание оксида магния негативно влияет на свойства шлака при выплавке феррохрома. В этой связи оптимальным способом переработки пыли является получение хромового концентрата путем удаления из нее магния и других металлов. Существующие способы переработки хромсодержащих отходов показывают возможность применения для этой цели недорогого реагента – серной кислоты. Целью работы авторов статьи являлась проверка возможности применения серной кислоты для переработки пыли. Проведенные авторами лабораторные эксперименты также показали возможность получения хромового концентрата из пыли с применением в качестве реагента серной кислоты.

**Ключевые слова:** высокоуглеродистый феррохром, хромсодержащая пыль, сульфатизация, выщелачивание, хромовый концентрат.

Высокоуглеродистый феррохром применяется при выплавке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей, куда хром входит в качестве легирующего элемента. Назначение сталей определяет необходимую концентрацию хрома в них от десятых долей до нескольких десятков процентов. Хромовые минералы в рудах Донского месторождения (промышленный центр г. Хромтау) относятся к группе хромшпинелидов, которые могут быть выражены общей формулой (Mg, Fe)(Cr, Al, Fe<sup>3+</sup>)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Процесс выплавки феррохрома из хромшпинелидов суммарно описывается реакцией:



Выделяющиеся по реакции (1) отходящие газы в зависимости от типа использу-

емой печи содержат различное количество хромсодержащей пыли. При выплавке данного сплава в закрытой печи из-за повышенного давления под сводом запыленность отходящего газа меньше и составляет 15-20 г/м<sup>3</sup>. Удельный выход пыли на 1 т феррохрома для закрытой печи составляет 50-150 кг/т, а для открытой печи – 25-75 кг/т [1]. Улавливание хромсодержащей пыли из пылегазовой смеси осуществляется мокрым методом, при котором твердые частицы выводятся с водой в виде суспензии. Объем улавливаемой пыли составляет примерно 47 тыс. т в год в зависимости от производительности печей постоянного тока.

Содержание оксида хрома Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в уловленной пыли выше, чем в других хромсодержащих техногенных отходах, и достигает 30%. Чуть ниже содержание оксида хрома лишь в шламовых хвостах обогащения хромовой руды Донского ГОКа и составляет 27,04% [2]. Использование уловлен-

ной пыли в качестве добавки в шихту при выплавке феррохрома является наиболее выгодным способом ее утилизации. Однако повышенное содержание оксида магния в пыли сдерживает реализацию этого способа на практике.

Поскольку выплавка высокоуглеродистого феррохрома является шлаковым процессом, то получение оптимального по составу шлака является необходимым условием успешного проведения процесса выплавки. Шлаковый режим процесса выплавки феррохрома в руднотермических печах достаточно полно описывается системой  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ , т.к. в составе конечных шлаков сумма этих трех оксидов составляет более 90% [3]. С применением тройной диаграммы состояния  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  (рисунок 1) можно определять температуру плавления шлака в зависимости от соотношения этих оксидов [4].

Феррохром с содержанием хрома 65-70% и углерода 7-8,5% имеет температуру плавления 1550-1570°C, поэтому температура плавления шлака должна быть 1650-1670°C. Для обеспечения такой температуры плавления и прогрева шлака, обеспечивающих его нормальную жидкотекучесть и полный выход из печи, состав шлака должен соответствовать составу, приведенному в таблице 1 и области шпинели на тройной диаграм-

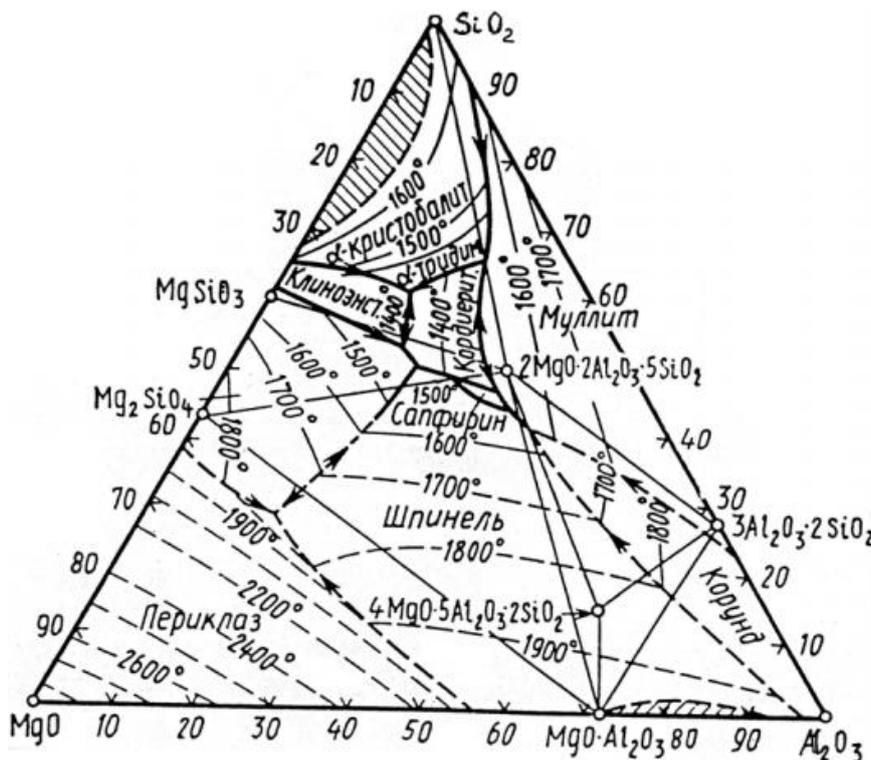
**Таблица 1 – Химический состав конечного шлака выплавки углеродистого феррохрома, %**

SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
32-35	37-40	22-27	3-5

ме состояния  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  (рисунок 1) [4].

Повышенное содержание MgO в рудах Донского ГОКа обуславливает высокую температуру размягчения (более 1700°C) рудообразующего минерала – хромшпинелида [5] и высокую температуру первых порций образующегося шлака (около 1760°C) [6]. Другими словами, повышенное содержание MgO в рудах привело к переходу состава печных шлаков из области магнезиальной шпинели  $MgO \times Al_2O_3$ , соответствующей оптимальному составу, в область тугоплавкого форстерита  $2MgO \times SiO_2$  (1867°C) [3], что приводит к росту температуры плавления и увеличивает вязкость образующегося шлака.

Учитывая количество улавливаемой пыли и высокое содержание в ней оксида хрома (III), ее можно рассматривать как ценное техногенное сырье. С учетом спроса



**Рисунок 1 – Тройная диаграмма состояния  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$**

на хромовый концентрат разработка способа переработки уловленной пыли является одной из приоритетных задач в сфере обращения с текущими отходами ферросплавного производства. Способ переработки пыли должен предусматривать в первую очередь удаление оксида магния  $MgO$  из пыли, и может быть реализован по схеме, включающей в себя как минимум два этапа (рисунок 2). На первом этапе из пыли требуется выделить хромосодержащий и магнийсодержащий промежуточные продукты. На втором этапе хромосодержащий промежуточный продукт необходимо переработать с получением хромового концентрата, а магнийсодержащий промежуточный продукт – с получением магниевого товарного продукта. В зависимости от выбора методов очистки промежуточного продукта в качестве товарного магниевого продукта может выступить жженая или белая магнезия, кристаллический сульфат или хлорид магния, основной карбонат магния, металлический магний и т.д.

Хромосодержащая пыль от газоочистки представляет собой не только смесь мелких частиц исходного сырья (руда и кокс), но и содержит в себе частицы конечного шлака, образующиеся в процессе взаимодействия кремнеземистого флюса с хромшпинелями ( $MgO \times Cr_2O_3$  и  $FeO \times Cr_2O_3$ ), содержащимися в рудной части шихты.

По минералогическому составу пыль отличается от других хромосодержащих отходов, содержащих соединения хрома, железа и магния. Хром и магний в пыли содержатся

в таких соединениях, как магнезиохромит (пикрохромит)  $MgO \times Cr_2O_3$ , магнезиоферрит  $MgO \times Fe_2O_3$ , магнезиальная шпинель  $MgO \times Al_2O_3$ , хромит  $FeO \times Cr_2O_3$ , серпентин  $3MgO \times 2SiO_2 \times 2H_2O$  клиноэнстатит (метасиликат магния)  $MgO \times SiO_2$ , форстерит (ортосиликат магния)  $2MgO \times SiO_2$ , кордиерит  $2MgO \times 2Al_2O_3 \times 5SiO_2$ .

Обзор способов переработки шламов обогащения хромитовых руд и хромосодержащей пыли отходящих газов показывает возможность их переработки с применением относительно недорогого реагента – серной кислоты, производимой из отходящих газов предприятий цветной металлургии.

Так, в работе [7] серная кислота применяется для переработки шламов обогащения Донского ГОКа. Шлам, содержащий хром, магний, цветные металлы и другие полезные компоненты, подвергается сульфатизирующему обжигу совместно с восстановителем (углем). При этом решение основной задачи операции обжига сводилось к переводу в водорастворимые соединения магния, цветных и редкоземельных металлов с отделением хрома и его соединений в нерастворимый остаток – кека. Показана возможность разделения хрома от других металлов в виде нерастворимого кека при низких температурных интервалах обжига – 723-873 К. Установлено, что энергия Гиббса реакции взаимодействия сульфата хрома с восстановителем ~ в 2,5 раза превышает значения энергии Гиббса реакций взаимодействия с восстановителем сульфатов остальных металлов.



Рисунок 2 – Общая схема переработки хромосодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов при выплавке высокоуглеродистого феррохрома

При выбранных температурных интервалах взаимодействие сульфатов магния, железа и цветных металлов с восстановителем невозможно, пока в системе присутствует сульфат хрома. В ходе взаимодействия сульфата хрома с восстановителем образуется оксид хрома (III), который при последующем водном выщелачивании выпадает в осадок в виде нерастворимого кек, в то время как сульфаты остальных металлов концентрируются в растворе.

В статье [8] показана перспективность применения серной кислоты для переработки хромсодержащей пыли отходящих газов, содержащей 17,57% оксида хрома (III), с получением хромового концентрата. Сернокислотное выщелачивание пыли при температуре 68°C позволило за счет перехода магния в раствор получить кек, содержащий 47% оксида хрома (III). Такой кек может быть использован в производстве хромсодержащих огнеупоров, а также при выплавке феррохрома как заменитель хромового концентрата.

Зарубежные исследования подтверждают перспективность применения серной кислоты для переработки хромсодержащих отходов. Так, в работе [9] приведён анализ современных технологий утилизации хромсодержащих пылей и шлаков, включая гидрометаллургические методы, основанные на сернокислотном выщелачивании, и показана их эффективность для комплексного извлечения ценных компонентов.

Учитывая результаты представленных исследований по переработке хромсодержащих отходов в работах [7-9], цель работы авторов статьи состояла в проверке возможности применения серной кислоты для переработки хромсодержащей пыли с получением хромового концентрата. Для этого авторами были проведены эксперименты в лабораторных условиях по двум направлениям. Первое направление предусматривало использование концентрированной кислоты, а второе – использование разбавленных растворов серной кислоты.

**Материалы, методы исследования и анализа.** В качестве исходного материала для экспериментов была использована хромсодержащая пыль, уловленная мокрым

методом из отходящих газов, химический состав которой представлен в таблице 2. Масса пыли, отбираемой для каждого опыта, составляла 20 г.

По первому направлению пыль, добавив в нее концентрированную серную кислоту, подвергали выдержке при различных температурах в электрокамерной печи ЭКПС-10 с целью сульфатизации содержащихся в ней металлов. Полученный спек затем выщелачивали в воде с целью растворения полученных сульфатов металлов. Выщелачивание спека проводили при разных температурах и продолжительности процесса. Для выщелачивания использовались стеклянный стакан емкостью 300 мл и лабораторное перемешивающее устройство ER 10 со стеклянной мешалкой. Стакан с пульпой помещали в термостат U 10, позволяющий задавать необходимую температуру процесса. Мешалку помещали в пульпу, устанавливали выбранное число оборотов (60 об/мин) и фиксировали начало эксперимента.

В проведенных по первому направлению экспериментах варьировались значения таких параметров, как количество добавленной серной кислоты в пыль (5,8 мл; 6,0 мл; 8,5 мл), температура выдержки в печи (150°C; 300°C; 340°C; 600°C; 700°C), продолжительность выдержки в печи (30 мин; 60 мин; 90 мин), продолжительность выщелачивания спека в воде (30 мин; 60 мин), температура выщелачивания (20°C; 70°C). Масса воды во всех опытах по выщелачиванию спека составляла 60 г, т.е. отношение массы жидкого реагента к массе твердого материала, т.е. пыли (соотношение Ж:Т) во всех опытах составляло 3:1. После выщелачивания пульпу фильтровали на вакуум-фильтре, затем нерастворившийся при выщелачивании осадок (кек) промывали водой, высушивали и анализировали на содержание оксидов Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и MgO по стандартным методикам.

По второму направлению проводилось выщелачивание пыли в растворах серной кислоты разной концентрации при разных температурах и продолжительности процесса. Здесь варьировались значения таких параметров эксперимента, как концентрация кислоты в растворе (14%; 17%), темпера-

Таблица 2 – Химический состав хромсодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов, %

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	S	P
34,91	7,50	14,91	12,13	1,84	21,90	0,18	0,005

тура выщелачивания (70°C; 95°C), продолжительность выщелачивания (30 мин; 120 мин) и соотношение Ж:Т (3:1; 5:1). Выщелачивание пыли и фильтрацию пульпы проводили на тех же установках, что и водное выщелачивание спека.

**Результаты исследования.** Эксперименты показали перспективность применения серной кислоты в качестве реагента для переработки хромосодержащей пыли. При сернокислотной обработке часть оксида магния, содержащегося в пыли, переходила в раствор, что приводило к увеличению содержания оксида хрома в нерастворившемся осадке.

По первому направлению получение кека с наименьшим содержанием оксида магния было достигнуто при следующем режиме переработки пыли. В пыль массой 20 г добавили 8,5 мл концентрированной серной кислоты. Обработанную кислотой пыль выдерживали в печи при температуре 150°C в течение 60 мин. Затем полученный спек выщелачивали водой ( $t=70^\circ\text{C}$ , Ж:Т=3:1). Продолжительность выщелачивания составила 60 мин. После фильтрации пульпы был получен кек весом 15,61 г следующего химического состава, %: 40,56  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 7,2 Fe; 16,38 MgO. Кек после выщелачивания представляет собой хромосодержащий продукт, который можно использовать в качестве добавки в шихту для выплавки углеродистого феррохрома.

По второму направлению было получено два вида кека, т.к. возникла необходимость отстаивания пульпы от выщелачивания пыли. Крупнодисперсный и мелкодисперсный осадок был получен при следующем режиме переработки пыли. Пыль массой 20 г выщелачивали в 14%-ном растворе серной кислоты ( $t=70^\circ\text{C}$ , Ж:Т=5:1). Продолжительность выщелачивания составила 120 мин. Так как пульпу после выщелачивания практически невозможно было отфильтровать, она отстаивалась в течение суток с осажением крупнодисперсного осадка. Затем пульпу с медленно оседающим мелкодисперсным осадком отделили от отстоявшегося крупнодисперсного осадка отмучиванием, т.е. путем сливания пульпы в другую емкость. Крупнодисперсный осадок массой 9,72 г имеет следующий химический состав, %: 44,82  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 7,89 Fe; 13,05 MgO. С целью выделения мелкодисперсного осадка пульпа отстаивалась в течение пяти суток. После полного осаждения мелких частиц осветленный раствор отделялся от осадка декантацией, т.е. сливом жидкости в другую емкость. Высушенный мелкодисперсный осадок массой 3,47 г имеет следующий химический состав, %: 64,30  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 5,78 Fe; 17,64 MgO;

9,18  $\text{SiO}_2$ . Крупнодисперсный осадок можно использовать в качестве добавки в шихту для выплавки углеродистого феррохрома, а мелкодисперсный осадок представляет собой хромовый концентрат. При смешивании крупно- и мелкодисперсного осадка получается продукт с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  около 50%, что соответствует параметрам хромового концентрата. Осветленный раствор, содержащий 11,89 г/дм<sup>3</sup> MgO, может быть переработан известными способами с получением магниевого товарного продукта.

**Выводы.** Накопленные на полигонах хромосодержащие промышленные отходы оказывают негативное влияние на окружающую среду. Такие отходы, как шламы обогащения хромитовых руд и пыль от мокрой газоочистки производства феррохрома характеризуются повышенным содержанием хрома. С учетом спроса на хромовые концентраты указанные отходы могут рассматриваться как вторичный сырьевой ресурс. С точки зрения охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов оптимальным вариантом утилизации хромосодержащих отходов является их переработка, предусматривающая получение хромового концентрата и попутное извлечение ценных сопутствующих компонентов. Анализ литературных данных показывает возможность получения хромового концентрата из указанных отходов с применением в качестве реагента серной кислоты, получаемой из отходящих газов предприятий цветной металлургии. С целью проверки возможности применения серной кислоты в качестве реагента для получения хромового концентрата из хромосодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов руднотермической печи при выплавке углеродистого феррохрома, авторами статьи были проведены лабораторные эксперименты по двум способам переработки: сульфатизация металлов посредством выдержки в печи при различных температурах и сернокислотное выщелачивание. Результаты экспериментов показали возможность получения хромосодержащего продукта (40,56%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) по первому способу и хромового концентрата (50%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) по второму способу. Таким образом, в лабораторных условиях установлена возможность применения относительно недорогого реагента – серной кислоты – для переработки хромосодержащей пыли, уловленной мокрым методом из отходящих газов руднотермической печи при выплавке углеродистого феррохрома, на хромовый концентрат.

*Данное исследование профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан*

в рамках программно-целевого финансирования научных исследований на 2024-2026 гг. по программе BR 24992882 «Разработка

новых технологий по переработке техногенных отходов с улучшением экологической обстановки в регионе».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаревский П.П., Романенко Ю.Е. Получение хромового концентрата химического обогащения путем переработки пыли производства углеродистого феррохрома // Инновации в материаловедении и металлургии: Материалы IV Междунар. интерактивной науч.-практ. конф. – Екатеринбург, 2015. – С. 16-20.
2. Омарова С.А., Гладышев С.В., Жолдасбай Е.Е., Досмухамедов Н.К. Формы нахождения Cr, Fe, цветных и редкоземельных металлов в хромитсодержащих шламах обогащения // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 6. – С. 15-22.
3. Акбердин А.А., Ким А.С., Конуров У., Сарекенов К.З., Сулейменов А.Б., Султангазиев Р.И. Влияние оксидов бора и марганца на фазовый состав шлаков производства углеродистого феррохрома // АБИШЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2011 «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии»: Материалы междунар. науч.-практ. конф. (Караганда, 22-23 июня 2011). – Караганды: Карагандинская полиграфия, 2011. – С. 101-102.
4. Воскобойников В.Г. Общая металлургия. М.: Академкнига, 2005. 768 с.
5. Абдулабеков Е.Э., Байсанов С.О., Избембетов Д.Д. Перспективы подготовки хромовых руд к металлургическому переделу // Комплексная переработка минерального сырья: Мат. между. науч.-практ. конф., посвященной 50-летию Химико-металлургического института им. Ж. Абишева (Караганда, 25-26 сентября 2008). Караганда: Экожан, 2008. – С. 107-111.
6. Заякин О.В. Особенности технологии получения хромсодержащих ферросплавов из различного хроморудного сырья // Химия и металлургия комплексной переработки минерального сырья: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Караганда, 25-26 июня 2015). Алматы: Типография ИП Серикбаева А.М., 2015. С. 252-257.
7. Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Омарова С.А. Термодинамика сульфатизирующего обжига хромитсодержащего шлама в присутствии восстановителя // Вестник КазННТУ. – 2019. – № 3. – С. 693-699.
8. Козловских Е.Ю., Доронин А.В., Богомолова А.Л., Земляной К.Г. Гидрометаллургическая переработка отходов с мокрой газоочистки ферросплавных заводов // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием (Екатеринбург, 16-19 декабря 2014 г.): в 2-х томах. – Екатеринбург: УрФУ, 2015 – Т. 2 – С. 53-56.
9. Xu, J., Liu, M., Ma, G., Zheng, D., Zhang, X., Hou, Y. Valuable Recovery Technology and Resource Utilization of Chromium-Containing Metallurgical Dust and Slag: A Review // Metals. – 2023. – Vol. 13, № 10. – Article 1768.

### **Феррохром өндірісіндегі газ тазалауынан шығарылған шаңы және оны қайта қолдану жолдары**

<sup>1</sup>**ЖҰМАШЕВ Қалқаман**, т.ғ.д., зертхана меңгерушісі, *innovaciya\_zh@mail.ru*,

<sup>1</sup>**БАЙСАНОВ Әлібек Сайлаубайұлы**, т.ғ.к., зертхана меңгерушісі, *alibekbaisanov.ab@gmail.com*,

<sup>1</sup>\***ҚАТРЕНОВ Бауыржан Боранбайұлы**, т.ғ.к., аға ғылыми қызметкер, *baur-8-3@mail.ru*,

<sup>2</sup>**ЖУМАГАЛИЕВ Ерлан Уланұлы**, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі,

<sup>2</sup>**ШАБАНОВ Ербол Жақсылықұлы**, PhD, профессор,

<sup>1</sup>Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Ермаков көшесі, 63, Қарағанды, Қазақстан,

<sup>2</sup>«Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34, Ақтөбе, Қазақстан,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Мақала руднотермиялық пешінде көміртекті феррохромды балқыту кезінде шығатын газдарынан ылғалды әдіспен ұсталған құрамында хром бар шаңды қайта өңдеуге арналған. Осы шаң хром оксидінің (III) мөлшері төмен болуымен және магний оксидінің мөлшері жоғары болуымен сипатталады. Феррохромды балқыту кезінде магний оксидінің мөлшері жоғары болуынан құрылған қождың қасиеттеріне теріс әсер ететіні белгілі. Осыған байланысты шаңды қайта өңдеудің оңтайлы тәсілі одан магний мен басқа да металдарды алып тастау арқылы хром концентратын алу болып табылады. Құрамында хром бар қалдықтарды қайта өңдеудің қолданыстағы тәсілдері осы мақсат үшін арзан бағалы реагентті – күкірт қышқылын қолдану мүмкіндігін көрсетеді. Мақала авторлары жұмысының мақсаты шаңды қайта өңдеу үшін күкірт қышқылын қолдану мүмкіндігін тексеру болып табылады. Мақаланың авторлары күкірт қышқылын реагент ретінде қолдануымен жүргізген зертханалық эксперименттер шаңнан хром концентратын алу мүмкіндігін тура көрсетті.

**Кілт сөздер:** жоғары көміртекті феррохром, құрамында хром бар шаң, сульфаттау, шаймалау, хром концентраты.

### **Dust from Gas Cleaning of Ferrochrome Production and Its Disposal Ways**

<sup>1</sup>**ZHUMASHEV Kalkaman**, Dr. of Tech. Sc., Head of Laboratory, *innovaciya\_zh@mail.ru*,

<sup>1</sup>**BAISSANOV Alibek**, Cand. of Tech. Sc., Head of Laboratory, *alibekbaisanov.ab@gmail.com*,

<sup>1</sup>\***KATRENOV Bauyrzhan**, Cand. of Tech. Sc., Senior Researcher, *baur-8-3@mail.ru*,

<sup>2</sup>**ZHUMAGALIEV Yerlan**, Cand. of Tech. Sc., Head of Department,

<sup>2</sup>**SHABANOV Yerbol**, PhD, Professor,

<sup>1</sup>Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, 63 Ermekov Street, Karaganda, Kazakhstan,

<sup>2</sup>NPJSC «K. Zhubanov Aktobe Regional University», 34 A. Moldagulova Avenue, Aktobe, Kazakhstan,

\*corresponding author.

**Abstract.** The article is devoted to the processing of chromium-containing dust caught by the wet method from the exhaust gases of a ore-thermal furnace during the smelting of carbonaceous ferrochrome. Dust is characterized by low content of chromium (III) oxide and high content of magnesium oxide. As you know, a high content of magnesium oxide negatively affects the properties of slag in the smelting of ferrochrome. In this regard, the best way to process dust is to obtain a chromium concentrate by removing magnesium and other metals from it. Existing methods of processing chromium-containing waste show the possibility of using an inexpensive reagent for this purpose – sulfuric acid. The aim of the authors of the article was to test the possibility of using sulfuric acid for dust processing. The laboratory experiments conducted by the authors also showed the possibility of obtaining a chromium concentrate from dust using sulfuric acid as a reagent.

**Keywords:** high-carbon ferrochrome, chromium-containing dust, sulfatization, leaching, chromium concentrate.

## REFERENCES

1. Lazarevskij P.P., Romanenko Yu.E. Poluchenie hromovogo koncentrata himicheskogo obogashheniya putem pererabotki py`li proizvodstva uglerodistogo ferrohroma // Innovacii v materialovedenii i metallurgii: Materialy` IV Mezhdunar. interaktivnoj nauch.-prakt. konf. – Ekaterinburg, 2015. – Pp. 16-20.
2. Omarova S.A., Gladyshev S.V., Zholdasbaj E.E., Dosmuhamedov N.K. Formy` nahozhdeniya Cr, Fe, czvetny`h i redkozemel`ny`h metallov v hromitsoderzhashhih shlamah obogashheniya // Fundamental`ny`e issledovaniya. – 2018. – № 6. – Pp. 15-22.
3. Akberdin A.A., Kim A.S., Konurov U., Sarekenov K.Z., Sulejmenov A.B., Sultangaziev R.I. Vliyanie oksidov bora i marganca na fazovy`j sostav shlakov proizvodstva uglerodistogo ferrohroma // ABISHEVSKIE ChTENIYA – 2011 «Geterogenny`e processy` v obogashhenii i metallurgii»: Materialy` mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. (Karaganda, 22-23 iyunya 2011). – Karagandy`: Karagandinskaya poligrafiya, 2011. – Pp. 101-102.
4. Voskoboynikov V.G. Obshhaya metallurgiya. Moscow: Akademkniga, 2005. 768 p.
5. Abdulabekov E.E., Bajsanov S.O., Izbembetov D.D. Perspektivy` podgotovki hromovy`h rud k metallurgicheskomu peredelu // Kompleksnaya pererabotka mineral`nogo sy`r`ya: Mat. mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashhennoj 50-letiyu Himiko-metallurgicheskogo instituta im. Zh. Abisheva (Karaganda, 25-26 sentyabrya 2008). Karaganda: E`kozhn, 2008. – Pp. 107-111.
6. Zayakin O.V. Osobennosti tehnologii polucheniya hromsoderzhashhih ferrosplavov iz razlichnogo hromorudnogo sy`r`ya // Himiya i metallurgiya kompleksnoj pererabotki mineral`nogo sy`r`ya: materialy` Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (Karaganda, 25-26 iyunya 2015). Almaty`: tipografiya IP Serikbaeva A.M., 2015. Pp. 252-257.
7. Dosmuhamedov N.K., Zholdasbaj E.E., Omarova S.A. Termodinamika sul`fatiziruyushhego obzhiga hromitsoderzhashhego shlama v prisutstvii vosstanovitelya // Vestnik KazNITU. – 2019. – № 3. – Pp. 693-699.
8. Kozlovskih E.Yu., Doronin A.V., Bogomolova A.L., Zemlyanoj K.G. Gidrometallurgicheskaya pererabotka othodov s mokroj gazoochistki ferrosplavny`h zavodov // E`nergo- i resursoberezhenie. E`nergoobespechenie. Netradicionny`e i vozobnovlyaemy`e istochniki e`nergii: Materialy` Vserossijskoj nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molody`h ucheny`h s mezhdunar. uchastiem (Ekaterinburg, 16-19 dekabrya 2014 g.): v 2-x tomah. – Ekaterinburg: UrFU, 2015 – T. 2 – Pp. 53-56.
9. Xu, J., Liu, M., Ma, G., Zheng, D., Zhang, X., Hou, Y. Valuable Recovery Technology and Resource Utilization of Chromium-Containing Metallurgical Dust and Slag: A Review // Metals. – 2023. – Vol. 13, № 10. – Article 1768.