

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМУ ОБЖИГУ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЫЛИ, СОДЕРЖАЩЕЙ ЦИНК И ЖЕЛЕЗО

Муносибов Ш.М., Илхамов М.А., Маткаримов С.Т., Каримжонов Б.Р., Максудов Ш.А.

Государственное учреждение Научно-практический центр по развитию локализации и промышленной кооперации в горно-металлургической промышленности при Министерстве горно-добывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.

Doi: 10.5281/zenodo.20279864

АННОТАЦИЯ

Сталеплавильная пыль, образующаяся в электродуговых печах, представляет собой значительный техногенный ресурс, содержащий ценные металлы, такие как железо и цинк. В то же время, неправильная утилизация этой пыли представляет серьезную экологическую опасность. В данном исследовании рассматривается возможность переработки цинксоодержащей сталеплавильной пыли путем восстановительного обжига с использованием нефтяного кокса в качестве восстановителя. Проанализирован химический состав пыли, собранной из газоочистной системы электросталеплавильного цеха АО «Узметкомбинат.» Экспериментальные исследования проводились при температурах до 1200 °С с различным содержанием восстановителя (40-90 масс.% от массы пыли). Степень возгонки цинка и поведение восстановления оксидов железа оценивались с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии. Результаты показывают, что увеличение содержания кокса до 80-90 масс.% обеспечивает удаление цинка выше 50% и почти полное восстановление оксидов железа до металлического состояния. Полученный твердый продукт (клинкер) можно непосредственно использовать в сталелитейных процессах, в то время как цинк концентрируется в парах. Предлагаемая технология является экологически и экономически целесообразной и может быть реализована с использованием существующего оборудования типа Waelz для обработки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пыль сталеплавильного производства, восстановительный обжиг, возгонка цинка, нефтяной кокс, восстановление оксида железа, процесс Вельца.

ВВЕДЕНИЕ

Исчерпание полезных ископаемых, рост объема промышленных отходов и ужесточение экологических стандартов — все это проблемы, с которыми сталкивается современная металлургическая промышленность. Таким образом, для устойчивого развития важно комплексное использование сырья, внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, а также извлечение ценных компонентов из промышленных отходов.

Стремительный рост металлургической промышленности в последние десятилетия сопровождался непрерывающимся ростом образования техногенных отходов, особенно возникающих в результате высокотемпературных процессов выплавки стали. Поскольку ее сложный химический состав и большое количество ценных металлов, таких как железо и цинк, пыль электродуговой печи (ЭДП) является одним из самых опасных отходов. Таким образом, для современной металлургии устойчивое управление пылью ЭДП стало важной научно-технической и экологической проблемой.

Металлургическая промышленность перешла на вторичное сырье и промышленные отходы из-за истощения минеральных ресурсов высшего качества и растущего спроса на металлы.

Принципы добывающей металлургии утверждают, что металлургические остатки являются техногенными полезными ископаемыми, которые могут быть переработаны и вновь включены в производственный цикл посредством соответствующих процедур [1]. Этот метод соответствует идеям устойчивого развития и циркулярной экономики, которые подчеркивают эффективное использование ресурсов, минимизацию отходов и защиту окружающей среды.

Благодаря своей гибкости, низким затратам на капитал и использованию металлолома в качестве основного сырья электродуговая сталелитейная промышленность играет ведущую роль в мировой сталелитейной отрасли. Тем не менее, при производстве стали в электродуговых печах (ЭДП) обычно образуется от 15 до 25 кг пыли на тонну производимой стали. Эта пыль, которую собирают системы газоочистки, называется пылью ЭДП. Хотя химический состав пыли ЭДП сильно зависит от природы металлолома, условий эксплуатации и конструкции печи, она обычно содержит высокие концентрации щелочных металлов, соединений свинца и оксидов железа [10].

Цинк попадает в ЭАФ преимущественно через оцинкованный стальной лом. В условиях высоких температур при выплавке стали цинк быстро

испаряется, а затем окисляется, образуя мелкие частицы ZnO , которые улавливаются системой пылеулавливания. В результате содержание цинка в пыли ЭАФ обычно варьируется от 10 до 25 мас.%, что делает её ценным вторичным источником цинка [11]. При этом железо остаётся основным компонентом пыли, преимущественно в форме Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO .

Несмотря на высокое содержание металла, прямая утилизация пыли ЭАФ в сталеплавильных печах невозможна. Цинк имеет низкую температуру кипения ($907^\circ C$) и склонен к многократному испарению при переплавке, что приводит к усилению пылеобразования, постоянной деградации и нестабильности работы. Более того, присутствие цинка негативно влияет на качество стали и производительность печи [11]. По этим причинам пыль ЭАФ часто классифицируется как опасный отход, а её захоронение на полигонах во многих странах ограничено или запрещено из-за риска загрязнения почвы и грунтовых вод тяжёлыми металлами [16].

За последние десятилетия было предложено множество технологий для обработки цинкосодержащей пыли ЭДП. Эти технологии можно условно разделить на гидрометаллургические и пирометаллургические подходы. Гидрометаллургические методы включают селективное выщелачивание цинка с использованием кислотных или щелочных растворов с последующей очисткой и извлечением металла. Хотя такие процессы могут обеспечивать высокое извлечение цинка, они часто страдают от высокого расхода реагентов, сложных требований к очистке сточных вод и трудностей с обращением с богатыми железом остатками [5].

В отличие от этого, пирометаллургические процессы основаны на высокотемпературной обработке пыли ЭДП, обычно включающей восстановительный обжиг и возгонку цинка. Эти процессы используют термодинамические свойства цинка, который легко испаряется после восстановления до металлического состояния. Среди пирометаллургических технологий процесс Вельца получил широкое промышленное признание и в настоящее время является одним из наиболее часто используемых методов переработки цинкосодержащих металлургических отходов [6].

Процесс Вельца заключается в обработке пыли ЭАФ во вращающейся печи при температуре $1000-1200^\circ C$ в присутствии углеродистого восстановителя. В этих условиях оксид цинка восстанавливается и улетучивается, а железо остается в твердой фазе. Полученные продукты - это обогащенный цинком возгон и железосодержащий клинкер. Простота, надежность и промышленная зрелость процесса Вельца делают его особенно привлекательным для крупномасштабных применений [6,8].

Термодинамические основы испарения цинка при восстановительном обжиге были подробно изучены. Согласно термодинамическим анализам, восстановление ZnO угарным газом становится благоприятным при температурах выше примерно $950^\circ C$, что подтверждается отрицательными значениями свободной энергии Гиббса [4,15]. После восстановления металлический цинк проявляет высокое давление паров, что способствует его быстрому переходу в газовую фазу. При $1200^\circ C$ давление паров цинка превышает 1000 мм рт.ст., что обеспечивает эффективное отделение от твердой матрицы [12].

Оксиды железа, присутствующие в пыли ЭДП, подвергаются ступенчатому восстановлению при восстановительном обжиге. Последовательность восстановления $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ хорошо изучена и подробно описана в литературе по высокотемпературным металлургическим процессам [2,3]. Избыток углерода и угарного газа смещает равновесие в сторону образования металлического железа. Кроме того, металлическое железо может выступать в качестве вторичного восстановителя оксида цинка посредством металлотермических реакций, что еще больше усиливает восстановление цинка [7].

Помимо термодинамических аспектов, кинетика восстановления оксидов цинка и железа играет решающую роль в определении эффективности восстановительного обжига. Восстановление оксида цинка зависит от таких факторов, как температура, содержание восстановителя, размер частиц и диффузия газа через пористую структуру обжигаемого материала. Кинетические исследования показали, что при более низких температурах или недостаточных условиях восстановления удаление цинка лимитируется скоростью химических реакций, в то время как при более высоких температурах преобладают ограничения массопереноса и диффузии [13].

Минералогическая форма цинка в пыли ЭАФ также существенно влияет на его восстанавливаемость. Цинк присутствует не только в виде ZnO , но и в виде феррита цинка ($ZnFe_2O_4$), который обладает более высокой термостойкостью и требует более высоких температур или более жестких условий восстановления для разложения. Было показано, что карботермическое восстановление феррита цинка протекает по сложным реакционным путям, включающим промежуточные фазы и твердофазные реакции [9].

Другим важным аспектом восстановительного обжига является образование низкоплавких фаз, особенно богатых щелочными оксидами и силикатами железа. Эти фазы могут частично плавиться при высоких температурах, блокируя пористые каналы и затрудняя диффузию паров цинка из внутренней части частиц в газовую фазу.

Такие явления могут ограничивать эффективность удаления цинка даже в термодинамически благоприятных условиях [7,12].

Обработка пыли ЭАФ методом восстановительного обжига имеет значительные преимущества для окружающей среды. В связи с высоким энергопотреблением и воздействием на окружающую среду восстановление цинка снижает потребность в его первоначальном производстве. В то же время преобразование вредных пылей в концентрированные пары цинка и перерабатываемые твердые продукты снижает количество отходов, необходимых для утилизации [16-20].

Несмотря на многочисленные промышленные опыты и исследования, оптимизация параметров восстановительного обжига остается актуальным вопросом. Тип восстанавливающего агента, дозировка и температура, продолжительность процесса и конструкция печи должны быть тщательно сбалансированы, чтобы максимизировать извлеченный цинк при сохранении металлургической ценности железосодержащего остатка. В частности, сталелитейные предприятия в регионе могут получить финансовые и логистические преимущества от использования местных углеродсодержащих материалов, таких как нефтяной кокс [8].

В металлургическом секторе Узбекистана накопление большого количества цинксодержащей пыли ЭДП представляет собой ценный ресурс, а также экологическую проблему. Таким образом, создание эффективных методов переработки, подходящих к конкретному составу местных пылей, имеет большое практическое значение. Предыдущие исследования показали, что восстановительное обжига может быть полезным для переработки металлургических отходов в региональных условиях; однако они подчеркнули необходимость проведения тщательных экспериментальных и термодинамических исследований [1,15].

Цель этого исследования состоит в том, чтобы изучить, как работает восстановление цинксодержащей сталеплавильной пыли при использовании нефтяного кокса в качестве восстановителя. Особое внимание уделяется тому, как содержание восстанавливающих агентов влияет на восстановление оксида железа и улетучивание цинка при повышенных температурах. Данная работа направлена на разработку эффективной и экологически чистой технологии переработки пыли ЭДП, сочетая результаты экспериментов с термодинамическими и кинетическими идеями.

В этом исследовании основное внимание уделяется процессу восстановления сталеплавильной пыли АО «Узметкомбинат» с

использованием нефтяного кокса. Особое внимание уделяется определению наилучших параметров процесса, чтобы максимизировать удаление цинка при одновременном обеспечении успешного восстановления оксидов железа.

АНАЛИЗ

Объектом исследования является сталеплавильная пыль, собираемая из газоочистной системы электродуговой печи АО «Узметкомбинат.» В настоящее время на предприятии накопилось более 60 000 тонн цинксодержащей пыли, а годовая скорость образования составляет около 12 000-13 000 тонн.

Химический состав исследуемой пыли определяли стандартными методами химического анализа. Основные компоненты обобщены в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав сталеплавильной пыли

Компонент	Содержание, мас. %
Общее количество Fe	31,2
Fe ₂ O ₃	41,6
FeO	4,6
ZnO	16,2
PbO	1,36
SiO ₂	3,4
CaO	3,4
MnO	3,7
Na ₂ O	10,4
Другие	следы

В качестве восстановителя был использован нефтяной кокс, произведенный на Ферганском НПЗ. Среднее содержание углерода в коксе составило около 95 мас.%. Выбор нефтяного кокса основывался на его высоком содержании фиксированного углерода, низком выходе золы и доступности. Были приготовлены смеси сталеплавильной пыли и нефтяного кокса с различным содержанием кокса (40, 65, 80 и 90 мас.% от массы пыли). Каждая смесь тщательно гомогенизировалась и загружалась в шамотные тигли.

Тигли помещали в шахтную печь, предварительно нагретую до 1200 °С. Восстановительный обжиг, проводили в течение 90 минут в контролируемых условиях. После обжига тигли извлекали из печи и охлаждали до комнатной температуры.

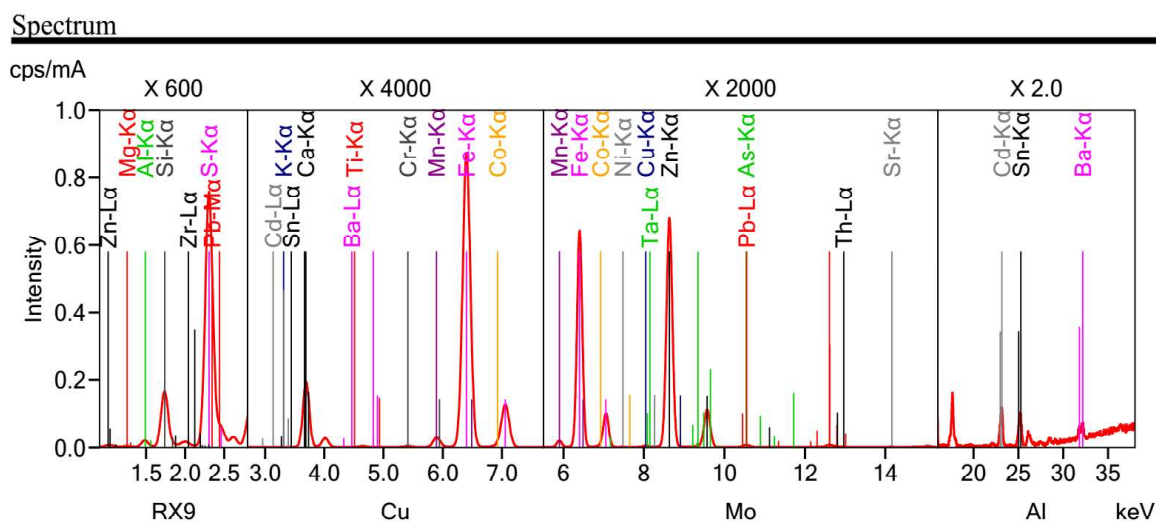


Рисунок. 1. результаты спектрального анализа образцов

Остаточное содержание цинка в обожженном продукте (клинкере) и концентрацию цинка в дыме определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Степень восстановления оксида железа оценивали по изменению содержания Fe и FeO.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначальные эксперименты с 40 мас.% нефтяного кокса показали ограниченное удаление цинка. Остаточное содержание цинка в клинкере оставалось выше 14 мас.%, что свидетельствует о недостаточном восстановлении и улетучивании соединений цинка. Это поведение можно объяснить ограниченным доступом к восстанавливающему углероду и недостаточной генерацией газа CO, который играет решающую роль в восстановлении оксида цинка и феррита цинка.

Увеличение содержания кокса значительно улучшило удаление цинка за счет интенсификации как прямых твердофазных реакций, так и косвенных механизмов газофазного восстановления. Результаты экспериментов обобщены в таблице 2.

Таблица 2.

Влияние содержания кокса на остаточный цинк в клинкере

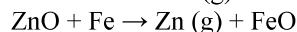
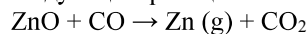
Содержание кокса, мас.%	Остаток Zn, мас.%
52	13,4
65	10,56
80	7,98
90	7,98

Данные показывают, что увеличение содержания кокса до 80-90 мас.% снижает содержание цинка в клинкере примерно до 8 мас.%. В этих условиях удаление цинка в газовую

фазу достигает около 52,4%. Дальнейшее увеличение содержания кокса не приводит к заметному улучшению, что указывает на то, что процесс становится ограниченным диффузией.

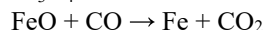
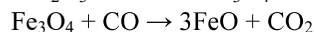
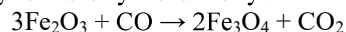
Для оценки возможности реакций восстановления оксидов цинка и железа при восстановительном обжиге был проведен термодинамический анализ. Согласно диаграммам Эллингса, изменение свободной энергии Гиббса (ΔG°) для восстановления ZnO угарным газом становится отрицательным при температурах выше 950°C, что свидетельствует о термодинамической благоприятности процесса.

Восстановление оксида цинка может протекать по следующим реакциям:



При 1200°C давление паров металлического цинка превышает 1200 мм рт.ст., что обеспечивает его быстрое испарение после восстановления до металлического состояния. Это термодинамическое условие необходимо для предотвращения повторного окисления цинка в твердой матрице.

Восстановление оксида железа происходит по ступенчатому механизму:



Наличие избытка углерода смещает равновесие в сторону образования металлического железа. Восстановленное железо дополнительно способствует извлечению цинка посредством металлотермического восстановления, улучшая общее извлечение цинка.

Помимо термодинамической благоприятности, кинетика восстановления и массопереноса существенно влияют на эффективность удаления цинка. Восстановление оксида цинка контролируется как скоростью химической

реакции, так и диффузией паров цинка через пористую структуру клинкера.

При более низком содержании кокса недостаточная пористость и ограниченное газообразование ограничивают диффузию цинка. Увеличение содержания восстановителя усиливает образование пор за счет интенсификации выделения газа (CO), что облегчает удаление паров цинка. Однако при содержании кокса выше 80 мас.% образование

тугоплавких фаз, богатых щелочными оксидами и силикатами железа, может частично блокировать пористые каналы. Более того, явления спекания при повышенных температурах уменьшают эффективную поверхность, что приводит к диффузионно-контролируемой кинетике. Это объясняет наблюдаемое плато в эффективности удаления цинка при содержании кокса свыше 80 мас.%.

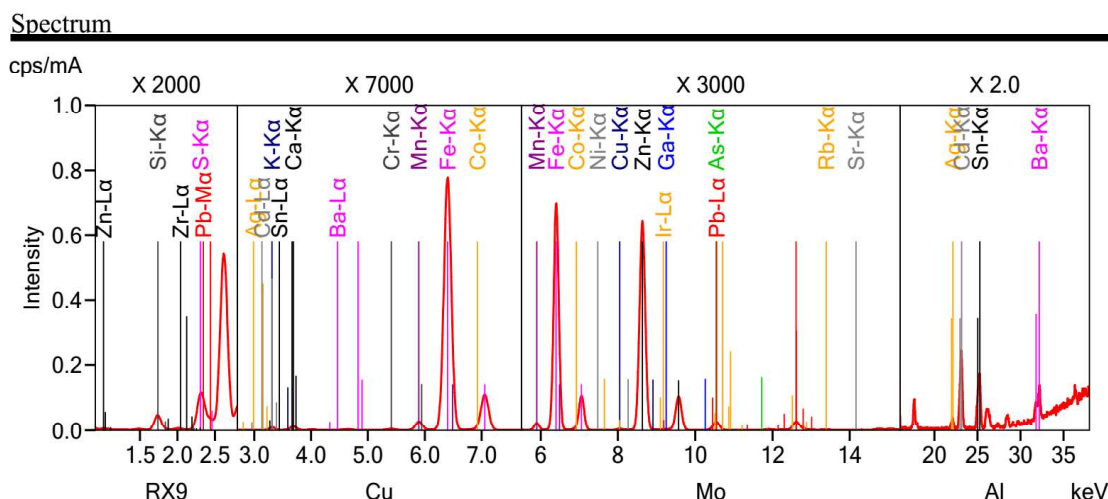
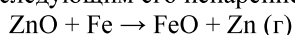


Рисунок 2. Спектральный анализ образцов, полученных в результате восстановления

Данные показывают, что увеличение содержания кокса до 80-90 мас.% снижает содержание цинка в клинкере примерно до 8 мас.%. В этих условиях удаление цинка в газовую фазу достигает около 52,4%.

Удаление цинка при восстановительном обжиге регулируется восстановлением ZnO и последующим его испарением:



При 1200 °C давление паров цинка превышает 1200 мм рт.ст., что обеспечивает благоприятные условия для испарения цинка. Однако дальнейшее повышение температуры может привести к частичному плавлению малоплавких фаз, блокируя поры и затрудняя диффузию цинка.

Экспериментальные результаты подтвердили почти полное восстановление FeO до металлического железа. Содержание FeO в клинкере после обжига было ниже 0,02 мас.%. Присутствие металлического железа дополнительно способствует восстановлению цинка из ZnO.

При температурах около 1150-1200 °C может происходить частичное науглероживание железа, что приводит к образованию фаз чугуна. Это повышает металлургическую ценность твердого продукта.

Обработка сталеплавильной пыли восстановительным обжигом значительно снижает экологическую нагрузку, связанную с ее утилизацией. Восстановление цинка и железа способствует ресурсосбережению и

экономической эффективности. Предлагаемый процесс может быть реализован с использованием существующих печей Вельца или аналогичного оборудования вращающейся печи, что позволяет минимизировать капитальные вложения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что восстановительный обжиг является эффективным методом переработки цинкосодержащей сталеплавильной пыли АО “Узметкомбинат”. Нефтяной кокс является подходящим восстановителем, обеспечивающим как извлечение цинка, так и глубокое восстановление оксидов железа.

Оптимальные параметры процесса были определены следующим образом: - Температура: 1200 °C - Время обжига: 90 минут - Содержание кокса: 80-90 мас.% от массы пыли

В этих условиях более 50% цинка переходит в газовую фазу, а железо практически полностью восстанавливается до металлического состояния. Полученный клинкер может быть непосредственно повторно использован при выплавке стали, а богатые цинком пары представляют собой ценное вторичное сырье.

Предлагаемая технология является экологически чистой и промышленно осуществимой, что дает перспективное решение для устойчивого управления сталеплавильной пылью.

RUX VA TEMIRNI O'Z ICHIGA OLGAN PO'LAT ERITISH CHANGINI QAYTARUVCHI KUYDIRISH JARAYONI BO'YICHA TADQIQOTLAR

Munosibov Sh.M., Ilxamov M.A., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A.

O'zbekiston Respublikasi Tog'-kon sanoati va geologiya vazirligi huzuridagi Tog'-kon sanoatida mahalliy lashtirish va sanoat kooperatsiyasini rivojlantirish ilmiy-amaliy markazi davlat muassasasi, Toshkent, O'zbekiston.

ANNOTATSIYA Elektr yoyli pechlarda hosil bo'ladigan po'lat eritish changi temir va rux kabi qimmatbaho metallarni o'z ichiga olgan muhim texnogen resurs hisoblanadi. Shu bilan birga, ushbu changni noto'g'ri utilizatsiya qilish jiddiy ekologik xavf tug'diradi. Mazkur tadqiqotda rux saqlovchi po'lat eritish changini qaytaruvchi kuydirish usuli orqali, qaytaruvchi sifatida neft koksidan foydalangan holda qayta ishlash imkoniyati ko'rib chiqilgan. "Uzmetkombinat" AJ elektro-po'lat eritish sexining gaz tozalash tizimidan yig'ib olingan changning kimyoviy tarkibi tahlil qilindi. Tajribaviy tadqiqotlar 1200 °C gacha bo'lgan haroratlarda, qaytaruvchi moddaning chang massasiga nisbatan 40–90 massa foiz miqdorida olib borildi. Ruxning uchib chiqish darajasi hamda temir oksidlarining qaytarilish xatti-harakati atom-absorbsion spektroskopiya usuli yordamida baholandi. Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, koks miqdorini 80–90 massa foizgacha oshirish ruxni 50 % dan ortiq miqdorda ajratib olishni hamda temir oksidlarini deyarli to'liq metall holatgacha qaytarishni ta'minlaydi. Hosil bo'lgan qattiq mahsulot (klinker) bevosita po'lat ishlab chiqarish jarayonlarida qo'llanishi mumkin, rux esa bug' fazasida kontsentratsiyalanadi. Taklif etilayotgan texnologiya ekologik va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lib, Waelz turidagi mavjud uskunalardan foydalangan holda amaliyotga joriy etilishi mumkin.

KALIT SO'ZLAR po'lat eritish changi, kuyindini tiklash, ruxni uchirish, koksli neft, temir oksidini tiklash, Velslash jarayoni.

STUDIES ON THE REDUCTIVE ROASTING OF ZINC AND IRON CONTAINING STEELMAKING DUST

Munosibov Sh.M., Ilkhamov M.A., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A.

State Inter-Enterprise Scientific and practical center for the development of localization and industrial cooperation in the mining and metallurgical industry under the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan.

ABSTRACT Steelmaking dust generated in electric arc furnaces represents a significant technogenic resource containing valuable metals such as iron and zinc. At the same time, improper disposal of this dust poses a serious environmental hazard. This study examines the feasibility of processing zinc-containing steelmaking dust by means of reductive roasting using petroleum coke as a reducing agent. The chemical composition of the dust collected from the gas-cleaning system of the electric steelmaking shop of JSC «Uzmetkombinat» was analyzed. Experimental investigations were carried out at temperatures up to 1200 °C with varying contents of the reducing agent (40–90 wt.% relative to the dust mass). The degree of zinc volatilization and the behavior of iron oxide reduction were evaluated using atomic absorption spectroscopy. The results demonstrate that increasing the coke content to 80–90 wt.% ensures zinc removal exceeding 50% and almost complete reduction of iron oxides to the metallic state. The resulting solid product (clinker) can be directly utilized in steelmaking processes, while zinc is concentrated in the vapor phase. The proposed technology is environmentally and economically viable and can be implemented using existing Waelz-type equipment for processing.

KEYWORDS steelmaking dust, reductive roasting, zinc volatilization, petroleum coke, reduction of iron oxide, Waelz process

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Habashi F. Principles of Extractive Metallurgy. Volume 2: Hydrometallurgy. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1983.
2. Turkdogan E.T. Physical Chemistry of High-Temperature Processes. Academic Press, New York, 1980.

3. Frukhan R.J. Steel Production, Molding, and Processing: Steel Melting and Refining. AISE Steel Foundation, Pittsburgh, 1998.
4. Pickles K.A. Thermodynamic analysis of selective reduction of electric arc furnace dust. Journal of Hazardous Materials, 2010, 166, pp. 1030-1042.
5. Oustadakis P., Tsakiridis P.E., Katsiapi A., Agatzini-Leonardou S. The hydrometallurgical process of extracting zinc from the dust of an electric arc furnace. Journal of Hazardous Materials, 2010, 179, pp. 1-7.
6. Hagelstein C. The Wels process for processing zinc-containing residues. Lead-Zinc 2000, TMS, Warrendale, 2000, pp. 493-506.
7. Suetens T., Guo M., Blanpain B. Mechanisms of reactions in the carbothermic reduction of zinc oxide in metallurgical waste. Metallurgical and Materials Transactions B, 2015, 46, pp. 123-134.
8. Antrekovich J., Steinlechner S., Unger A. Extraction of zinc from metallurgical waste by high-temperature processes. Minerals Engineering, 2016, 89, pp. 27-36.
9. Zhang Y., Li H., Wang X. Carbothermal behavior ZnFe₂O₄ in electrodeox furnace dust. Thermochemica Acta, 2014, 579, pp. 1-7.
10. Gezennek A.G., Huber J.K., Patisson F. Dust formation in an electric arc furnace: the birth of particles. Technology of Powders, 2005, 157, pp. 2-11.
11. Brookard W.J., Davey C.J., Rodopoulos T. The behavior of zinc in the smelting of steel in an electric arc furnace. Enrichment of Mineral Resources, 2005, 18, pp. 205-214.
12. Piret N., Legu J.G. Zinc Evaporation in Carbothermal Processing of Steel Smelting Dust. Metallurgical Transactions B, 1992, 23, pp. 113-121.
13. Itō S., Asano K. Kinetics of reduction of zinc oxide by carbon monoxide gas. ISIJ International, 2001, 41, pp. 105-111.
14. Hwang J.J., Huang H., Zou Y.M. Reduction of zinc from electric arc furnace dust by heat treatment. Journal of Materials Science, 2008, 43, pp. 5935-5943.
15. Wang K., Sun T., Coo J. Thermodynamic analysis of zinc evaporation from electric arc furnace dust. Journal of Environmentally Clean Production, 2018, 172, pp. 151-160.
16. Li J., Zhuang X., Carol X. Ecological and resource aspects of electric arc furnace dust utilization. Resources, Preservation and Recycling, 2019, 143, pp. 75-88.
17. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Djuraev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Kinetics of carbon-thermal reduction of magnetite. Student Bulletin, 2021, 8 (153), pp. 60-62.
18. Alamova G.Kh., Rakhimov N.S., Juraev Sh.Sh., Khojiev Sh.T. Reduction of volatile metal oxides. Student Bulletin, 2021, 8 (153), pp. 69-71.
19. Hojiyev S.T., Nuraliyev O.U., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T. Some thermodynamic aspects of magnetite reduction in the presence of carbon. Universum: Technical Sciences, 2021, 3 (84), pp. 60-64.
20. Karimjonov B.R., Berdiyarov B.T., Matkarimov S.T., Hojiyev Sh.T. Analysis of modern methods for processing zinc-containing steel dust. Proceedings of the International Scientific Conference, Bukhara, 2020, pp. 65-66.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Munosibov Shokhrub Mukhiddin ugli	– Chief Specialist of the Center of localization, PhD, State Interprise Scientific and practical center for the development of localization and industrial cooperation in the mining and metallurgical industry under the Ministry of Mining Industry and Geology the. Republic of Uzbekistan, 100164, Tashkent, Olimlar Str., 49, Republic of Uzbekistan. ORCID: https://orcid.org/0009-0004-6413-8882 , Mail: shokhrubmunosibov@gmail.com
Ilkhamov Murod Akhtamovich	– Director of the Center of localization, State Interprise Scientific and practical center for the development of localization and industrial cooperation in the mining and metallurgical industry under the Ministry of Mining Industry and Geology the. Republic of Uzbekistan, 100164, Tashkent, Olimlar Str., 49, Republic of Uzbekistan. ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2087-0524 , e-mail: m_ilkhamov@mail.ru
Matkarimov Sokhibjon Turdalievich	– Head of the Career center, DSc, professor; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2393-6576 , e-mail: sohibtm@gmail.com
Karimjonov Begzod Rahmatjonovich	– Researcher; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0009-0003-3518-1745 , e-mail: b.karimjonov@tdtu.uz
Maksudov Shuhrat Aripjanovich	– Researcher; Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, University Str., 2, Republic of Uzbekistan ORCID: https://orcid.org/0009-0007-3918-5240 , e-mail: shuhrat.m250aa@gmail.com