АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07203 – «Металлургия»

Ержан Айдана

«Исследование и разработка технологии окускования высокодисперсной пыли ферросплавного производства с целью ее утилизации»

Диссертационная работа направлена на разработку научно обоснованной технологии окускования высокодисперсной пыли (ВДП), образующейся при производстве ферросилиция, с целью получения кондиционного продукта, пригодного для повторного использования в ферросплавном производстве. Исследование ориентировано на решение актуальной задачи вовлечения техногенных отходов ферросплавного производства во вторичный производственный цикл, повышения эффективности использования сырьевых ресурсов и снижения экологической нагрузки.

Производство ферросплавов сопровождается образованием значительного количества техногенных отходов, включая пыли, шламы и шлаки. Пыли газоочистных систем представляют собой мелкодисперсные материалы, содержащие ценные компоненты, однако их физико-химические свойства не позволяют эффективно использовать их непосредственно в металлургических процессах. Накопление таких отходов приводит к экономическим потерям и оказывает негативное воздействие на окружающую среду.

Современная металлургия в значительной степени основана на использовании мелкодисперсного сырья, что требует его предварительного окускования для обеспечения необходимой газопроницаемости шихты и стабильности технологических процессов. Мелкие частицы склонны к уплотнению, ухудшают условия прохождения газов и могут уноситься из печи в виде пыли, что снижает эффективность производства. В связи с этим применение методов окускования является необходимым этапом подготовки сырья и отходов к металлургической переработке.

Поскольку промышленность использует много энергии и является одним из основных потребителей природных ресурсов, она сначала вызывает загрязнение окружающей среды, а также вносит значительный вклад в истощение природных ресурсов, образование большого количества отходов, таких как кислотные дожди и другие нежелательные явления. Таким образом, именно промышленность является одним из основных факторов экологической напряжённости в масштабах планеты.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Диссертационная работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2023 -2025 годы, финансируемого Комитетом науки

Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (ИРН AP19576811, договор №114-КМУ4 от 17.05.2023 г.), где соискатель являлась ответственным исполнителем.

Актуальность работы. В Республике Казахстан к настоящему времени накоплено значительное количество различных промышленных отходов, при этом их объемы продолжают расти. Эти отходы занимают обширные площади, оказывают негативное влияние на атмосферу, водные ресурсы, почву, тем самым ухудшая экологическое состояние окружающей среды и снижая качество жизни населения. Хранилища отходов, зачастую не оснащённые необходимыми системами защиты, становятся источниками вторичного загрязнения: вредные вещества попадают в атмосферу, а во время дождей и паводков — в водоёмы, такие как реки, озёра и пруды.

В процессе производства ферросплавов среди прочих техногенных отходов обязательно образуется высокодисперсная пыль (ВДП). Эта пыль имеет двоякое происхождение: во-первых, она образуется в результате реализации самого технологического процесса при сбросе ферросплавного продукта; во-вторых, образуется как продукт работы газоочистительных систем.

Независимо от происхождения высокодисперсная пыль близка по составу к производимому ферросплаву и может быть использована как сырье для получения кондиционного продукта.

Особое внимание заслуживает проблема переработки отходов металлургической промышленности, в частности высокодисперсной пыли ферросплавного производства (ВДП). Эффективная утилизация таких отходов требует их предварительного окускования.

Проблема утилизации высокодисперсной пыли (ВДП) ферросплавного производства не является новой, но, тем не менее, она фактически не решена в РК.

В настоящее время в РК проблема утилизации ВДП фактически не решена: значительные объемы пыли экспортируются в зарубежные страны (РФ, КНР, Узбекистан) в качестве сырья, после чего реимпортируются обратно в Казахстан в виде брикетированной продукции с высокой добавленной стоимостью. Создание собственных технологий окускования является стратегически важной задачей для обеспечения технологической и экономической эффективности металлургической отрасли страны.

Высокодисперсная пыль сама по себе представляет экологическую опасность, т.к. требует значительных площадей для хранения, является источником загрязнения воздушного бассейна и обладает значительной пирофорностью за счет развитой поверхности взаимодействия.

В настоящее время в мире существует достаточное количество реализуемых технологий утилизации высокодисперсной пыли, но в нашей стране такие технологии широко не используются. Это обусловлено тем, что пыль каждого конкретного предприятия обладает уникальными физико-химическими свойствами, гранулометрическим составом и набором примесей. Следовательно, необходима поиск известных методов окускования

и разработка новых составов шихты (подбор связующих, расчет фракционного состава), отвечающих требованиям получаемого сырья.

Таким образом, работа, направленная на разработку эффективных режимов окускования ВДП с получением качественного брикетированного продукта, является актуальной и своевременной как с экологической, так и с научно-практической точки зрения.

Объект исследования: брикеты из ВДП производства ферросилиция.

Цель работы: разработка технологии окускования высокодисперсной пыли (ВДП), образующейся при производстве ферросилиция с получением кондиционного продукта.

Задачи исследования:

– провести анализ состава и свойств высокодисперсной пыли (ВДП), образующейся при производстве ферросилиция;

– исследовать физико-химические свойства исходной пыли (химический и фазовый составы, фракционный состав) как факторов, определяющих технологию окускования;

– провести экспериментальные исследования по выбору оптимального связующего для процесса брикетирования;

– определить оптимальные технологические параметры процесса брикетирования;

– оценить качество полученных брикетов по комплексу показателей: прочность на сжатие, выход подрешётного продукта, содержание кремния и углерода;

– проведение опытно-промышленных испытаний на производственной площадке по выплавке стали с использованием опытных брикетов.

Научная новизна:

– установлена зависимость между количеством железорудного концентрата в шихте и прочностью готового брикета: при содержании 15% ЖК достигается наибольшая прочность 25 МПа;

– установлена зависимость прочности брикетов от вида и количества связующего: бентонитовая глина в количестве 3–5% обеспечивает прочность на сжатие до 25 МПа, что в 1,4–1,7 раза выше, чем при использовании жидкого стекла или каустической соды;

– определено влияние параметров процесса брикетирования (давление прессованиия, температура и время сушки на свойства брикета из шихты, содержащей ЖК и бентонитовую глину;

– экспериментально доказана возможность полной замены кондиционного ферросилиция марки ФС50 на брикеты из ВДП при раскислении и легировании стали 30ХГС без ухудшения механических свойств и химического состава.

Практическая значимость:

- разработан и экспериментально обоснован новый состав шихты для брикетирования, который включает (мас.%): ВДП – 50–55, железорудный концентрат – 15, мелкодисперсный некондиционный ферросилиций – 25-30,

бентонит – 3, вода – 2. Такая композиция обеспечивает повышение плотности брикетов до 4,8–4,9 г/см³, что сопоставимо с кусковым ферросплавом и предотвращает всплывание брикетов в расплаве, ускоряя их растворение. Прочность на сжатие достигает не менее 25 МПа, а доля подрешётного продукта (фракции <10 мм) составляет не более 10%, что соответствует требованиям ГОСТ 1415-93 к механической прочности ферросилиция при транспортировке и загрузке в печь. Химический состав брикетов полностью соответствует марке ФС70 по содержанию кремния (68–74%), углерода (≤0,1%), серы и фосфора;

- определён оптимальный технологический режим брикетирования: давление прессования 50 кН, температура сушки 40–60°C, продолжительность сушки 90 минут, влажность шихты перед прессованием 2%. Эти параметры могут быть непосредственно использованы при оснащении промышленных линий брикетирования на ферросплавных заводах;

- в ходе опытно-промышленных испытаний на ТОО «КМЗ им. Пархоменко» подтверждена возможность полной замены кондиционного ферросилиция ФС50 разработанными брикетами при выплавке стали марки 30ХГС (ГОСТ 4543-2016). Химический состав полученной стали (0,32% C, 1,2% Si, 0,8% Mn, 1,1% Cr, S и P ≤0,035%) полностью соответствует нормативным требованиям.

- разработана и внедрена технологическая карта процесса переработки ВДП в брикеты (Приложение Д), получен акт внедрения, подтверждающий промышленную пригодность предложенного решения.

Положения, выносимые на защиту:

- возможность использования железорудного концентрата в качестве компонента шихты в процессе брикетирования;

- зависимость между содержанием железорудного концентрата и бентонита в шихте для брикетирования и прочностью брикета;

- состав брикетов из ВДП производства ферросилиция;

-технологические параметры получения брикетов из ВДП с использованием железорудного концентрата и бентонитовой глины.

Вклад соискателя заключается в постановке цели и задач исследования, анализе научно-технической литературы по вопросам утилизации высокодисперсной пыли ферросилиция, изучении химических свойств исходного сырья, планировании и проведении экспериментальных исследований по разработке технологии брикетирования. Соискателем выполнен подбор и обоснование состава шихты и связующих материалов, определены оптимальные технологические параметры процесса брикетирования, исследованы физико-механические свойства полученных брикетов и оценено их качество.

Соискатель принимала непосредственное участие в проведении опытно-промышленных испытаний брикетов при выплавке стали, обработке и анализе полученных результатов, формулировании научных выводов и практических рекомендаций. Также соискателем подготовлены научные

публикации по теме диссертации, разработана технологическая карта процесса переработки высокодисперсной пыли в брикеты и оформлены документы, подтверждающие практическую значимость и возможность внедрения результатов исследования.

Апробация работы. По результатам исследований, были опубликованы 14 статей, в том числе:

- 2 статьи в журнале «Metallurgija» (Хорватия), входящий в базу Scopus (Scopus процентиль – 32);

-1 статья в международном журнале «Acta metallurgica slovaca» (Словакия), входящий в базу Scopus (Scopus процентиль – 52);

- 3 статьи в журналах, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК («Труды Университета» №3, 2023; «Труды Университета» №4, 2024); («Наука и техника Казахстана» №3, 2025) – второй список;

- получены 2 патента на полезную модель № 9155 от 12.02.2024 «Способ брикетирования пылевидных отходов, образующихся при производстве ферросилиция»; № 10925 от 25.07.2025 «Способ брикетирования высокодисперсной пыли производства ферросплавов с использованием железорудного концентрата».

- 1 монография «Исследование процесса получения кондиционного продукта из отходов производства ферросилиция» ISBN 978-601-12-3322-4.

- 5 докладов на отечественных и международных научно-практических конференциях:

1. XV Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №15), посвящённая 70-летию университета, 17–19 июня 2023 г.

2. XVI Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №16), 13–14 июня 2024 г.

3. XXIII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар металловедов — молодых учёных, Екатеринбург, 03–07 февраля 2025 г.

4. XVII Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №17), 26–27 июня 2025 г.

5. Международная научная конференция, опубликованная в журнале Mechanical Engineering: An International Journal (MEIJ), 2025, № 1/2 (Vol. 12), pp. 9–17. DOI: 10.5121/meij.2024.12201.

Были получены акты:

- внедрения технологии в ТОО «КМЗ имени Пархоменко».

- о проведении промышленных испытаний в ТОО «КМЗ имени Пархоменко»;

- о проведении испытаний в филиале НЦ КПМС «ХМИ имени Ж. Абишева»;

- о проведении испытаний в ТОО «НПО «Марганец».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, основной части, состоящей из 5 разделов, заключения и приложений. Объем диссертации составляет 106 страницы машинописного текста, работа содержит 35 рисунка, 31 таблиц, список использованных источников, включающий 109 наименования.