

АННОТАЦИЯ
диссертационной работы
**«РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕСИ
КОНВЕРТОРНОГО ШЛАКА И ШЛАМА С ПОЛУЧЕНИЕМ
МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА»,**
представленной на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D070900 – «Металлургия»
АЙТКЕНОВА НУРБЕКА БОЛАТОВИЧА

Целью диссертационной работы является разработка технологии переработки отходов конверторного производства – шлака и шлама с получением металлизированного продукта для выплавки стали.

Задачи исследования:

- определить химический и фазовый состав железосодержащих конвертерных шлаков и шламов АО «АрселорМиттал Темиртау»;
- исследовать особенности окускования смеси конверторного шлака и шлама и подобрать оптимальный метод окускования;
- оценить возможность прямого восстановления металлов, и вредных примесей, входящих в состав конвертерного шлака и шлама, твердым углеродом с применением модуля Equilibrium Compositions программного комплекса HSC Chemistry (Outokumpu, Финляндия), основанного на минимизации энергии Гиббса;
- исследовать восстановительные свойства различных видов углеродистых материалов (угольный шлам, уголь) в процессе металлизации железорудного сырья;
- исследовать процессы металлизации рудоугольного сырья и выплавка железосодержащих сплавов из металлизированных продуктов;
- разработать технологическую схему переработки железосодержащего конвертерного шлака и шлама АО «АрселорМиттал Темиртау» с целью получения железосодержащих сплавов;
- провести лабораторные испытания переработки железосодержащих конвертерных шлаков и шламов АО «АрселорМиттал Темиртау» с получением железосодержащих сплавов.

Методы исследования

К основным методам исследований и анализов, применяемых при выполнении диссертационной работы, относятся:

- критический анализ патентно-информационных источников;
- планирование эксперимента пирометаллургической переработки железосодержащих отходов вероятностно-детерминированным методом;
- математическое планирование процесса металлизации смеси конвертерного шлама и шлака при твердофазном восстановлении с использованием метода профессора Малышева В.П.;

- проведения термодинамических расчетов процессов восстановления с использованием пакета программного обеспечения HSC Chemistry;
- твердофазное восстановление брикетов в электропечи СУОЛ-0,44/12-М2-У4 с получением металлизированных брикетов;
- плавка железосодержащих сплавов в электропечах Таммана и индукционной печи GW-MF -25.

Для изучения и анализа фазовых составов и структуры исходных шихтовых материалов использованы:

- вакуумный многоканальный эмиссионный спектрометр ДФС-71;
- рентгеновский дифрактометр Empyrean, фирмы PANalytical, серия 2;
- сканирующий электронный микроскоп FEG SEM (TESCAN MIRA3) с катодом с полевой эмиссией;
- дифференциальный сканирующий калориметр ТГА/ДСК2 (МЕТТЛЕР ТОЛЕДО, Швейцария).

Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту:

- результаты анализа химического и фазового состава железосодержащего конвертерного шлака и шлама АО «АрселорМиттал Темиртау»;
- результаты оценки возможности прямого восстановления металлов и вредных примесей, входящих в состав конвертерного шлака и шлама, твердым углеродом с помощью пакета программного обеспечения HSC Chemistry;
- результаты исследования восстановительных свойств различных видов углеродистых материалов (угольный шлак, уголь) в процессе металлизации железорудного сырья;
- результаты исследования процессов металлизации рудоугольного сырья и выплавка железных сплавов из металлизированных продуктов;
- на основе результатов экспериментальных исследований разработан технологическая схема переработки железосодержащего конвертерного шлака и шлама АО «АрселорМиттал Темиртау» с получением железосодержащих сплавов;
- результаты лабораторных испытаний переработки железосодержащего конвертерного шлака и шлама АО «АрселорМиттал Темиртау» с получением железосодержащих сплавов.

Описание основных результатов исследования:

- по результатам физико-химического анализа конвертерный шлак содержит железо в основном в виде оксидов ($\approx 70\%$), часть железа в металлическом виде ($\approx 4,6\%$), а также в шламе содержится марганец в виде оксидов ($\approx 5\%$) и CaO до 13% . Содержание фосфора $\approx 0,3\%$, сера $0,4\%$.
- по результатам физико-химического анализа в конвертерном шлаке железо содержится в основном в виде оксидов ($\approx 15\%$) или общее содержание $Fe_{\text{общ}} \approx 21\%$. Кроме этого в шлаке содержится марганец в виде оксидов ($\approx 5\%$) и CaO до 45% . Содержание фосфора $\approx 1,497\%$, сера $0,156\%$.

– по результатам исследования установлено оптимальный состав соотношения компонентов в шихте смеси конвертерного шлака и шлака (шлам/шлак ниже 90/10), степень металлизации не превышает 80%, что связано с низким содержанием железа.

– предварительная оценка термодинамических показателей показала, что реакция прямого восстановления гематита твердым углеродом теоретически может протекать уже при температуре 400°C.

Восстановление магнетита твердым углеродом теоретически возможно при температуре выше 700°C. Реакция восстановления магнетита монооксидом углерода теоретически возможна при T выше 600°C.

Реакция восстановления оксида железа углеродом теоретически возможна при T выше 800°C.

Фосфор в виде соединения $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ начинает восстанавливаться при температуре выше 1200°C. Сера полностью жестко связана с оксидом кальция (CaO) в виде CaS , из которых при восстановительной плавке сера не поддается восстановлению. При нагреве до 1100 °C возможно полное твердофазное восстановление железа, без восстановления серы и фосфора.

– проведенная оценка возможности прямого восстановления металлов, входящих в состав конвертерного шлака и шлама, твердым углеродом и исследования восстановительных свойств различных видов углеродистых материалов (угольный шлам, уголь) в процессе металлизации железорудного сырья показало, что угольный шлам может быть использован в качестве углерод содержащего восстановителя после предварительного обогащения. При использовании угольного шлама в качестве восстановителя степень восстановления железа составило 99%, а при использовании необоженного угля месторождения Шубарколь возрастает степень восстановления до 99,6%.

– результаты лабораторных плавов с использованием металлизированных брикетов и окатышей подтверждают возможности применения их в качестве заменителя металлической части шихты при выплавке стали. Выход годного металла при плавке металлизированных брикетов в индукционной печи составляет 92,0 %. Содержание вредных примесей серы и фосфора соответствует техническим требованиям качественной стали.

На основе результатов экспериментальных исследований предложена технологическая схема переработки железосодержащего конвертерного шлака и шлама АО «АрселорМиттал Темиртау» с получением железосодержащих сплавов.

Обоснование новизны и важности полученных результатов.

Необходимость проведения научно-исследовательской работы связаны с большими объемами уже накопленных и вновь образуемых на территории Республики Казахстан техногенных отходов черной металлургии. Новые подходы в этом направлении должны снизить нагрузку на окружающую среду и иметь экономическое обоснование.

При разработке технологии выплавки стали с использованием металлизированных продуктов из техногенных отходов конвертерных шламов, шлаков, угольных шламов и необоженного угля месторождения Шубарколь установлены оптимальные параметры технологического процесса. Разработка технологии позволяет сократить дефицит металлолома, расширить сырьевую базу, получить качественную продукции за счет снижения цветных примесей.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам

Диссертационная работа направлена на реализацию Стратегии «Казахстан-2050», послания Главы государства «Третья модернизация Казахстана: глобальная конкурентоспособность» от 31 января 2017 года.

Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема теоретических и экспериментальных работ, изложенных в диссертации, включая разработку теоретических моделей, методик экспериментальных исследований, проведение опытов, анализ и оформление результатов в виде публикаций и научных докладов.

По теме диссертационной работы опубликовано 5 научных работ, в том числе: 2 (две) статьи в рецензируемых научных изданиях по научному направлению темы диссертации, индексируемых в CiteScore в базе Scopus (Elsevier), 3 (три) статья в отечественном издании в области металлургии, рекомендованном КОКСОН.

Сведения об основных публикациях, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы данных Web of Science (Clarivate Analytics), в рецензируемом научном издании, имеющем процентиль по CiteScore в базе Scopus (Elsevier) по теме диссертации:

1. Tleubagulov S.M., **Aitkenov N.B.**, Koishina G.M. and Tazhiev E.B. Technology Production of Ore Coal Pellets from Converter-Coal Slag Mix and Reduction Smelting of Steel. Steel in Translation, 2021, Vol. 51, No. 1, pp. 65–67. © Allerton Press, Inc., 2021. Russian Text © The Author(s), 2021, published in Stal', 2021, No. 1, pp. 78–80.

2. Tleugabulov S.M., Nurumgaliev A.Kh., Koishina G.M. and **Aitkenov N.B.** Steel Production from Metal-Bearing Waste Steel in Translation, 2019, Vol. 49, No. 3, pp. 217–221. © Allerton Press, Inc., 2019. Russian Text © The Author(s), 2019, published in Stal', 2019, No. 3, pp. 65–69.

Сведения о публикациях, в отечественных изданиях в области металлургии научных журналах по теме диссертации:

1. Tleugabulov S.M., Velichko A.G., **Aytkenov N.B.**, Zhabalova G.G., Ulyeva G.A. Metallurgicheskaya pererabotka konverternogo shlaka [Metallurgical processing of converter slag]. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu. - 2021. № 2 (317), pp. 40-49. (In Rus.).

2. **Айткенов Н.Б.**, Смаилов С.А., Жабалова Г.Г., Монголхан О. Металлургия өндірісінің құрамында темір бар қалдықтарынан металданған өнімді алу// Университет еңбектері №4 (87) • 2022 80- 85 бет

3. **Aitkenov N.**, Smailov S., Zhabalova G., Aitbayev N. Analysis of different types of carbonaceous reductants and methods of slag and sludge recovery at converter production// Университет еңбектері №1 (90) • 2023 73-78 бет. Труды университета №1 (90) • 20230.52209/1609-1825_2023_1_73

Сведения о докладах, доложенных и обсужденных по результатам диссертационной работы на Международных и Республиканских научно-практических конференциях:

1. **Айткенов Н.Б.** Металлургиялық өндіріс қалдықтарынан металл алу үрдістерін зерттеу / Труды Международной научно-практической онлайн конференции «Формирование интеллектуального капитала в условиях цифровой трансформации: опыт, вызовы, перспективы» Ч.2. 29-30 14 декабря 2022. РК. г. Темиртау: КарТУ. 2022, стр. 27-29;