

АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему:

«ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ОКСИДНОЙ СИСТЕМЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ»,

представленной на соискание учёной степени доктора философии PhD по специальности 6D070900 – «МЕТАЛЛУРГИЯ»
КОЙШИНОЙ ГУЛЗАДЫ МЫНГЫШКЫЗЫ

Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технологической проблемы.

Промышленное развитие любой страны зависит от уровня производства конструкционных материалов. В частности, разработка новых прогрессивных технологий для производства железа и стали является частью фундаментальной науки.

Традиционные способы металлургического производства стали многоступенчатые, более сложные. Технология металлургического способа производства железа и стали состоит из двух стадий: 1) редуцирующая плавка подготовленной шихты в доменных печах с выпуском чугуна; 2) окислительная плавка чугуна в кислородных конвертерах, при которой происходит полное окисление всех легирующих элементов и выпуск сырой стали с последующей внепечной обработкой сырой стали и легированием ее ферросплавами для получения легированной стали заданного химического состава. Переработка комплексного железорудного сырья имеет важное практическое значение в связи с необходимостью и возможностью извлечения из сырья не только железа, но и ценных примесных металлов.

Актуальность темы.

На территории Казахстана находятся разведанные и разрабатываемые запасы ильменитовых и титаномагнетитовых руд. На территории России (в районе Урала) разработано и перерабатывается крупное месторождение титаномагнетитов, на базе которого работает Качканарский ГОК по производству титаномагнетитового концентрата с содержанием 56,0-62,0 % Fe; 4,0-5,0 % TiO_2 , 0,50-0,6 % V_2O_5 и 0,12-0,15 % Mn и крупный металлургический комбинат Евраз «НТМК». При этом, важнейшей проблемой является разработка новых прогрессивных технологий, обеспечивающих непосредственное получение природнолегируемых сталей путем переработки комплексного гематитового, магнетитового и комплексного железорудного сырья заданного химического и минералогического состава. Для этого необходимо разработать научные основы новых технологий, позволяющих оставлять ценные легирующие элементы, содержащиеся в сырье, в составе стали в требуемом количестве.

Среди комплексного железорудного сырья особое место занимает титаномагнетитовое и ильменитовое железорудное сырье, в составе которого содержатся такие ценные металлы, как ванадий, титан, частично марганец и хром. Титан, аналогично железу, также является распространенным в земной

коре металлом и находится в виде оксида TiO_2 . Но в отличие от оксидов железа, диоксид титана имеет многократно высокую химическую прочность. В связи с этим, научные исследования по последовательному восстановлению железа, ванадия, титана, разработка технологии переработки титаномагнетитовых и ильменитовых концентратов по восстановительной плавке являются *актуальной проблемой*.

Целью работы является экспериментальное исследование последовательного восстановления металлов из многокомпонентной оксидной системы, изучение кинетических характеристик прямого восстановления металлов – железа, ванадия, марганца, хрома, титана и получение образцов природнолегированных сталей.

Задачи исследований:

- подготовка специальных лабораторных образцов шихты из многокомпонентных оксидных материалов, таких как ильменитовый и титаномагнетитовый концентраты;
- оценка прочностных характеристик оксидов металла на основе термодинамических характеристик химической связи оксидов всех металлов, определение количества газифицируемого кислорода оксидов металла в результате протекания восстановительных реакций;
- выполнение расчетных работ по определению и регулированию стехиометрического расхода твердого углерода, необходимого на восстановление извлекаемых металлов;
- подготовка образцов рудоугольной смеси для проведения процесса прямого восстановления металлов и получения металлизированных материалов;
- организация восстановительно-плавильного процесса с использованием лабораторных плавильных установок и контрольно-измерительной аппаратуры. Проведение анализа полученных результатов и опубликование их в научных изданиях.

Теоретические основы научных исследований.

Организация научных исследований по восстановлению металлов из таких комплексных рудных материалов, как ильменитовый и титаномагнетитовый концентраты, основана на использовании твердого углерода, как восстановительного реагента. Теоретические основы исследования вытекают из анализа механизмов восстановления металлов на основе фундаментальных научных положений.

Общеизвестный и распространенный адсорбционно-автокаталитической механизм (ААКМ) исходит из адсорбируемости газообразных восстановителей и рекомендует использование горячего восстановительного газа (ГВГ), который обычно состоит из газов CO , H_2 . Использование данного механизма связано с необходимостью организации противоточного движения шихты и ГВГ в основном в шахтных печах. Реализация этого процесса предъявляет технические условия (ТУ) подготовки окускованного железорудного сырья и сортировку его по крупности, что с другой стороны связано с образованием и накоплением мелких отходов шихты.

Использование твердого углерода в качестве восстановительного реагента имеет определенные ограничения, связанные с тем, что контактно-

диффузионное взаимодействие атомов углерода с оксидами металлов не дает ощутимого результата.

Практическая реализация восстановления металлов в потоке ГВГ в слое окускованного сырья осуществляется в диффузионном режиме от наружной поверхности крупного куска и распространяется к его центральной части. Поэтому на практике продолжительность процессов металлизации рудного сырья в шахтной печи и восстановительной плавки в доменных печах составляет 6-7 часов.

Исходя из анализа известных механизмов восстановления металлов, в настоящей работе предложен новый «диссоциационно-адсорбционный механизм» (ДАМ) восстановления металлов, который основан на положениях фундаментальных наук. Показано, что механизм процесса нужно объяснять не на уровне молекулярных движений взаимодействующих реагентов, а на уровне электронных потоков. Взаимодействие оксидных и восстановительных реагентов, прежде всего, начинается с переноса потоков электрона согласно принципа «донорно-акцепторного механизма», где донором выступает восстановительный реагент, а акцептором – оксид металла. Отсюда можно оценить восстановительный потенциал как ГВГ, так и твердого углерода в зависимости от концентрации свободных электронов. Такая оценка показывает, что компоненты ГВГ CO и H₂ обладают только двумя валентными электронами, а атом твердого углерода обладает 4-мя валентными электронами и еще огромным числом свободных электронов в межплоскостных расстояниях кристаллической решетки. Здесь основную роль в восстановительных реакциях играет не движение молекул, а движение потоков электрона. Поэтому ограничение действия твердого углерода контактно-диффузионным массопереносом является упрощенным представлением, не имеющим научную основу.

На основе нового механизма (ДАМ) в настоящее время развиваются процессы прямого восстановления металлов и производство качественных сталей и сплавов.

Методика экспериментальных исследований:

- на основе анализа современных теоретических положений о механизме и кинетике процессов восстановления металлов разработана методика экспериментальных исследований;

- разработана методика подготовки рудоугольной шихты, состоящей из титаномагнетитовых, ильменитовых концентратов и углеродсодержащего восстановителя;

- методика получения дисперсной рудоугольной шихты фракции менее 1,0 мм в электровибрационных истирателях;

- методика регулирования расхода углеродсодержащего восстановителя на единицу оксидной части шихты;

- методика организации твердофазного восстановления металлов регулированием температурно-теплового режима процесса и использованием двух вариантов прямого восстановления металлов: свободным и растворенным в металле углеродом.

Научная новизна исследований:

- установлена закономерность последовательного восстановления железа, ванадия, марганца, хрома, титана в зависимости от химической прочности оксидов соответствующих металлов и температуры;

- получены кинетические характеристики восстановления каждого извлекаемого металла по последовательно-фазовому превращению от их высших оксидов до металлического состояния;

- на основе анализа результатов экспериментальных исследований скорректировано понятие о прямом восстановлении металлов углеродом не только с образованием газа CO, но и CO₂;

- установлена последовательность изменения состава газа – продуктов прямого восстановления металлов CO, CO₂ в зависимости от фазовых переходов, что имеет важное значение в регулировании составов шихты и образующихся металлических фаз.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования научных основ прямого восстановления металлов твердым углеродом из многокомпонентных оксидных систем;

- результаты экспериментальных исследований прямого восстановления металлов свободным углеродом из ильменитовых и титаномагнетитовых концентратов;

- результаты экспериментальных исследований прямого восстановления металлов растворенным углеродом из ильменитовых и титаномагнетитовых концентратов;

- результаты восстановительной плавки и получение образцов стали, природно-легированных марганцем, титаном, ванадием;

- технология переработки титаномагнетитового концентрата и организация восстановительно-плавильного процесса получения природно-легированной стали.

Научная значимость результатов, полученных в диссертационной работе:

Впервые в мировой практике организована подготовка дисперсной рудоугольной шихты из титаномагнетитовых и ильменитовых концентратов и углеродсодержащего восстановительного реагента в таких стехиометрических соотношениях, при которых реализуется прямое восстановление железа, ценных примесных металлов и, частично, титана без существенного науглероживания и карбидообразования. Результаты исследования кинетики прямого восстановления показали возможность дополнительного восстановления титана и регулирования его концентраций в металле в пределах 0,3-5,0 %.

Практическая значимость результатов работы. На основе анализа результатов экспериментальных исследований разработана технология комплексной переработки титаномагнетитовых и ильменитовых концентратов по непрерывной восстановительной плавке без промежуточных переделов и получения стали, природно-легированной марганцем, хромом, ванадием и титаном.

Впервые в мировой практике получены образцы ванадийсодержащей стали в пределах концентрации ванадия $[V] = 0,06-0,13$ %. Методом

микроструктурного анализа установлена особенность восстановительной плавки природно-легированной стали, заключающаяся в том, что в отличие от плавки в кислородном конвертере, в составе стали отсутствуют оксидные включения, что имеет важную практическую ценность качества выпускаемой продукции.

Уровень научной разработки.

Научные исследования кинетики прямого восстановления металлов в многокомпонентной оксидной системе, представленной в виде ильменитовых и титаномагнетитовых концентратов базировались на анализе современного состояния науки в данной области по опубликованным в мировой печати литературным источникам и на последних достижениях полученных результатов с учетом их положительных сторон и недостатков. Организованные теоретические и экспериментальные исследования по установлению закономерностей кинетики восстановления металлов в сложной оксидной системе, подтверждение их конкретными результатами экспериментальных исследований и получение образцов легированных сталей характеризуют высокий уровень научно-технических разработок и достижение поставленной цели.

Публикации по теме диссертации.

По результатам диссертационной работы опубликовано 13 печатных работ, в том числе 3 научных статьи в журналах, входящих в базу Web of Science Core Collection (Scientific and Production Technical Journal Metallurgist (Russia) IF-0.243) и Scopus (Steel in Translation (United Kingdom) (IF-0.232) - International Journal of Chemical Sciences (IF-0.229)), 4 в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК (статья «Основы и перспектива развития восстановительной плавки стали» принята к публикации в ж. "Металлы", № 2, 2018 г. Имеется справка-подтверждение от издательства – Приложение Г). Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на Международных научно-практических конференциях:

- XIV International scientific Congress Machines. Technologies. Materials: Year I, Issue 4(4), Vol. IV, Technologies. Varna, Bulgaria. 13-16.09.2017;

- Наука и инновация в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: V Международная научно-практическая конференция. В 2 ч. Ч. 1 – МЦНС «Наука и просвещение» - 5 августа 2017; г. Пенза, Россия;

- Международная научно-практическая конференция «Научное и кадровое сопровождение инновационного развития горно-металлургического комплекса». 27-28 апреля, 2017, Алматы, Казахстан;

- VII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации», 15 ноября 2017 г, г. Пенза, Россия.

Получен патент на новую трубчатую печь для металлизации (№ 31705; заявлено 13.03.2015; опубл. 22.12.2016 г. Бюл. № 18. Способ металлизации железорудного сырья в трубчатой печи и устройство для его осуществления).

Связь работы с государственными программами и научно-исследовательскими работами:

Диссертационная работа выполнена в рамках государственных грантов фонда науки МОН РК по проекту на тему: «Разработка технологии глубокой переработки железорудного сырья» (НИР № 2213/ГФ4, договор №74 от 12.02.2015г. на 2015-2017 годы), финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан в рамках подпрограммы «Грантовое финансирование научных исследований» по приоритету «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и приложений. Работа изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 21 таблицу, 34 рисунка. Список использованных источников включает 110 наименований.