

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Сулеймен Бакыта
«Селективное восстановление железа в высокофосфористых оолитовых
рудах с получением мягкого железа и фосфористого шлака», представленной
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.6.2 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

Актуальность работы

В последние годы в чёрной металлургии растет спрос на железосодержащее сырьё, однако доступные и легко перерабатываемые руды истощаются. Это требует поиска новых методов переработки сложных руд, таких как высокофосфористые железные руды. Такие руды широко распространены в мире. В Казахстане есть Лисаковское месторождение с запасами более 1,6 миллиарда тонн руды, Аятское месторождение с запасами более 10 миллиардов тонн. Крупнейшее в мире Бакчарское месторождение в России не разрабатывается из-за высокого содержания фосфора. Удаление фосфора затруднено, так как оксиды и фосфаты железа связаны с пустой породой. При подаче руды в доменную печь фосфор переходит в чугун, увеличивая давление дефосфорации, объём шлака и потери энергии. Методы гидрометаллургии и пирометаллургии с использованием реагентов увеличивают стоимость подготовки руды. В связи с этим, задача изучения возможности пирометаллургической переработки высокофосфористых железных руд является актуальной.

Диссертация Сулеймен Бакыта, посвященная получению мягкого железа и фосфористого шлака из высокофосфористых оолитовых руд селективным восстановлением железа в твердом виде является актуальной.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Автором установлено, что железные руды Аятского месторождения имеют оолитовую структуру, железо в них содержится в виде гётита и магнетита, фосфор находится в виде гидрофосфата железа, кальция, а также фосфата алюминия.

2. Методами термодинамического моделирования установлены температурные интервалы восстановления железа твердым углеродом и монооксидом углерода, а также определены граничные температуры перехода фосфора в металл при избытке или недостатке восстановителя.

3. В ходе экспериментов была доказана возможность селективного восстановления железа в высокофосфористой оолитовой руде при температуре 1000°C в слабовосстановительной атмосфере с помощью монооксида углерода или при температуре 900°C с помощью водорода. При этом фосфор остаётся в оксидной форме.

4. Получены новые данные о способах и условиях жидкофазного разделения высокофосфористых оолитовых руд после твердофазного восстановления монооксидом углерода или водородом.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. В ходе эксперимента была продемонстрирована принципиальная возможность селективного твердофазного восстановления железа в высокофосфористой оолитовой руде с использованием газообразных восстановителей, таких как монооксид углерода или водород, при относительно низких температурах ($900-1000^{\circ}\text{C}$). При этом фосфор сохраняется в оксидной фазе.

2. Установлена возможность жидкофазного разделения продуктов металлизации с получением металлического железа и фосфорсодержащего шлака путем предварительного окислительного обжига руды с добавлением оксида кальция.

3. На основе полученных данных предложена технологическая схема пирометаллургической переработки офлюсованной и окомкованной фосфористой железной руды путём предварительного селективного восстановления железа монооксидом углерода или водородом.

Полученные результаты соответствуют поставленным задачам исследования.

Достоверность и обоснованность результатов обусловлена использованием современных апробированных методов исследования и оборудования; воспроизводимостью результатов исследования; согласованностью теоретических расчетов с результатами экспериментальных исследований.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов. Диссертация изложена на 110 страницах, содержит 40 рисунков, 25 таблиц и список литературы из 136 наименований.

Содержание диссертации

Во введении обоснована актуальность и необходимость проведения работы, сформулированы цель и задачи исследования, описана научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по теме диссертации. Диссертантом подробно рассмотрены зарубежные и отечественные месторождения высокофосфористых оолитовых руд с описанием их минералогического состава и запаса. В ходе обзора автор определяет основные проблемы переработки данных руд пирометаллургическими и гидрометаллургическими методами и пути их преодоления. На основании материалов, содержащихся в первой главе диссертации, сделан вывод об обоснованности и целесообразности задач исследования.

Во второй главе представлены результаты комплексного исследования состава и структурных особенностей железной руды Аятского месторождения, так как данные руды недостаточно изучены и похожи по типу и составу на другие известные отечественные руды. Результаты рентгенофазового анализа исходной руды свидетельствуют о том, основным рудным минералом является гётит, который при обжиге диссоциирует с образованием гематита. Ведущим нерудным минералом является кварц. Фосфор в руде присутствует в виде гидрофосфатов железа и кальция, а также фосфата алюминия. Результаты исследования химического состава исходной руды методами мокрой химии показали, что по содержанию железа аятские руды близки к керченским, лисаковским и бакчарским оолитовым рудам.

В третьей главе с целью изучения процессов, протекающих при твердофазной металлизации в комплексных железомарганцевых рудах, выполнен термодинамический анализ с использованием программного комплекса «TERRA». Получены новые данные о влиянии температуры и количества присутствующего в системе твердого углерода на степень восстановления железа и фосфора. Для подтверждения результатов термодинамического моделирования проведены эксперименты по восстановлению железа и фосфора твердым углеродом или газообразным монооксидом углерода. Получены новые экспериментальные данные о селективном восстановлении железа с сохранением фосфора в оксидной части. Изучен фазовый и химический состав продуктов восстановления.

В четвертой главе приведены результаты металлизации брикетов экструзии и окатышей из оолитовой железной руды твердым углеродом и монооксидом углерода. Получены новые экспериментальные данные о селективном восстановлении железа водородом в высокофосфористой оолитовой руде. Результаты восстановления водородом показали, что при температуре 900 °С удастся селективно восстановить железо, а фосфор остается в оксидной фазе.

В пятой главе приведены результаты жидкофазного разделения продуктов твердофазного восстановления оолитовых руд монооксидом углерода и водородом, в ходе которого фосфор переходит в металл за счёт рефосфорации при температуре эксперимента. Для исключения перехода фосфора в металл при расплавлении, предложен окислительный обжиг исходной руды с добавлением CaO , в результате которого происходит разрушение фосфата железа и образование новых прочных фосфатов кальция, из которых после металлизации монооксидом углерода и водородом и плавления при температуре 1550°C фосфор не переходит в металл и остается в шлаке. Таким образом, показана возможность жидкофазного разделения продукта металлизации офлюсованной оолитовой руды с получением малофосфористого металла и шлака с содержанием фосфора.

На основании полученных данных сформулирована схема переработки высокофосфористой руды, в которой на первом этапе происходит предварительное газовое восстановление железа, а на втором этапе в дуговой печи постоянного тока при температуре протекает разделение мягкого железа и фосфористого шлака.

По содержанию работы имеется ряд вопросов и замечаний:

1. Поскольку в научную новизну вынесены химический состав и физико-химические характеристики железной руды Аятского месторождения, требуется пояснить, какие именно из характеристик, перечисленных в п. 1 новизны, открыты впервые;
2. Поскольку явление рефосфорации известно и поддается термодинамическому моделированию, вызывает вопросы целесообразность проведения экспериментальных разделительных плавов предварительно восстановленных руд Аятского месторождения при температуре 1650°C в отсутствие дефосфорирующего флюса;
3. Согласно табл. 5.9 диссертации, шлак разделительной плавки содержит 10,9% Si и 26,4% Ca, что дает модуль основности, равный 1,6. В то же время в начале раздела 5.2.2 указано, что при шихтовке основность принимали равной 2,0. Необходимо согласовать представленные данные.
4. Использование извести для предотвращения рефосфорации металла в ходе разделительной плавки при заданной основности шлака 2,0 приводит к расходу 391 т извести на 1 т исходной руды с содержанием $\text{SiO}_2 = 21,7\%$ и $\text{CaO} = 4,3\%$ (табл. 2.1 диссертации). Насколько экономически целесообразен такой высокий расход извести?

Вышеуказанные замечания не снижают научной и практической ценности результатов представленного диссертационного исследования и не

оказывают существенного влияния на общую положительную оценку выполненной работы.

Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в 16 работах, в том числе 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 – в изданиях, входящих в наукометрические базы Scopus, 8 в других журналах и сборниках научных трудов. Получен патент РФ на изобретение.

Автореферат достаточно полно раскрывает содержание диссертации, отражает её структуру и полностью соответствует основным положениям диссертации.

Таким образом, диссертация Сулеймен Бакыта на тему «Селективное восстановление железа в высокофосфористых оолитовых рудах с получением мягкого железа и фосфористого шлака» является законченной научно-квалификационной работой и содержит все необходимые квалификационные признаки, соответствующие п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемые к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Сулеймен Бакыт, достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,

кандидат технических наук
по специальности 2.6.2 «Metallургия
черных, цветных и редких металлов»,
заведующий лабораторией кафедры
металлургии и химических технологий
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова» г. Магнитогорск.

Адрес: 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Телефон: +7(3519)298430

Адрес электронной почты: as.mgtu@mail.ru

Я, Сысоев Виктор Иванович, согласен на автоматизированную обработку
персональных данных, приведенных в этом документе