



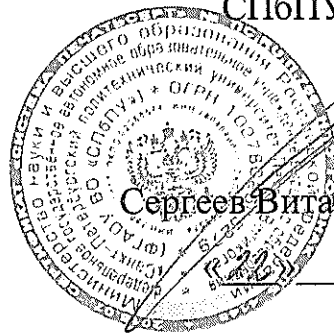
УТВЕРЖДАЮ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

Проректор по научной работе
СПбПУ, профессор, д.т.н.

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,
ОКПО 02068574

Политехническая ул., 29, Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)297 2095, факс: +7(812)552 6080
office@spbstu.ru



Сергеев Виталий Владимирович

5.06.2020 № 40
на № _____ от _____

05 2020 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертацию Пахомова Романа Александровича
«РАЗРАБОТКА ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД ПРИ КОНТРОЛЕ
СОСТАВА РАВНОВЕСНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких

Актуальность темы диссертации. Никелевые рудные месторождения представлены двумя основными категориями - сульфидными и окисленными. По данным геологической службы США мировые запасы никеля составляют не менее 130 млн. тонн, причем около 60-70% представлено латеритными месторождениями. Сульфидные руды получили широкое распространение (Россия и Канада) ввиду возможности их обогащения, что способствует ежегодному росту их переработки, несмотря на существенно более скромное количество мировых запасов. Сокращение сульфидных рудных месторождений приводит к необходимости все чаще рассматривать переработку окисленных никелевых руд как перспективную замену переработке сульфидных.

Окисленные никелевые руды представляют из себя горные породы вторичного происхождения и представляют собой смесь гидратированных силикатов железа, алюминия, магния и никеля. В традиционной терминологии руды подразделялись на три основных типа: железистый, природно-смешанный и магнезиальный. Железистый тип перерабатывается в основном гидрометаллургическими способами, так как практически не содержат окислов магния и кремния. Остальные типы руд перерабатываются пирометаллургическими или комбинированными способами. В

000004

квалификационной работе автором подвергаются исследованию магнезиальные и природно-смешанные руды.

Основным пирометаллургическим способом переработки являются процессы восстановительного обжига или прокалки и последующей плавки обожженного материала в дуговых электропечах. В мире на сегодняшний день работает более десятка ферроникелевых заводов использующих электроплавку, получаемый ферроникеля в основном используется в черной металлургии для получения легированных сталей. Несмотря на широкое распространение технологий, использующих электроплавку, данный процесс достаточно энергозатратен и сильно зависит от исходного состава руды. В связи с этим актуальность работы Пахомова Романа Александровича, направленная на рассмотрение альтернативных способов переработки или усовершенствование существующих, не вызывает сомнения.

Научная новизна. Произведенные автором работы термодинамические расчеты систем $Me-MeO_x$, подтвержденные лабораторными экспериментами, показали существование количественной связи парциального давления кислорода при проведении твердофазного восстановительного обжига окисленной никелевой руды и содержанием никеля в металлическом сплаве, получаемого впоследствии при ликвационной плаке. В работе также установлено, что сульфид кальция является достаточно перспективным и эффективным сульфидизатором при реализации сульфидирующей плавки на штейн. Также показаны ограничения и возможности процесса восстановления окисленного сырья при использовании твердого восстановителя.

Научная новизна исследований и рекомендаций по ведению процессов полностью отражена в выводах диссертации.

Практическая значимость. В работе показана технологическая и энергетическая эффективность переработки окисленных никелевых руд в печах барботажного типа. Данный способ переработки особенно актуален для областей (регионов) богатых твердым и газообразным природным топливом, но характеризующихся дефицитом электроэнергии. Также в работе доказано, что при комбинировании ликвационной плавки огарка и предварительного восстановления окисленного сырья возможно получение ферроникеля требуемого состава, вплоть до 60% масс. по содержанию никеля, при сохранении высоких показателей извлечения.

Достоверность научных положений, выносимых на защиту, выводов и рекомендаций. Достоверность научных положений и выводов обеспечивается совокупностью значительного количества экспериментальных и теоретических методов исследований, термодинамических расчетов, многообразием методов анализа, представленных в первой главе квалификационной работы, а также работой на современном оборудовании и применяемых установках. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы.

Оформление диссертации, публикации и апробация

Диссертационная работа Пахомова Р.А. по структуре и содержанию полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским

диссертациям. Диссертация содержит все разделы присущие научной работе: введение, пять глав, заключение и список литературы из 85 наименований, 88 рисунков и 56 таблиц. Общий объем работы 175 страниц.

Во введении обозначена проблематика настоящей работы по особенностям получения никеля и переработке окисленных никелевых руд. Сформированы цели и задачи, а также основные направления исследований, представлены научная новизна и практическая значимость.

В главе 1 систематизированы имеющиеся литературные данные относительно окисленных никелевых руд. Особое внимание уделено существующим и перспективным способам переработки окисленных руд, приведены схемы действующих предприятий. На основе анализа литературных источников и представлений автора произведена постановка задачи исследований.

Во 2-ой главе представлены основные объекты исследований. Для исследования использовались руды Серовского и Буруктальского месторождений, относящиеся к магнезиальному и природно-смешенному типу руд, соответственно. Исследования проводились в разный период времени, поэтому составы руд в главах несколько отличаются друг от друга. Также в главе 2 представлены используемые методики исследований, лабораторные установки, полученные продукты, приведены сведения о используемом программном обеспечении и оборудовании используемом при проведении работ.

Глава 3 посвящена первому защищаемому положению технологии переработки ОНР в агрегатах барботажного типа (на примере ПВ). В данной главе рассматриваются тепловые балансы различных вариантов переработки окисленной никелевой руды в барботажных печах: однозонная печь Ванюкова с переработкой невосстановленной и прокаленной руды, однозонная печь Ванюкова с предварительным восстановлением руды в трубчатых печах, двухзонная печь Ванюкова при переработке невосстановленной и прокаленной руды. Производится сравнение полученных результатов с показателями действующих заводов использующих электроплавку при переработке данного типа руды. Определяются параметры восстановительного обжига (температура, время, количество восстановителя), оценивается возможность протекания окислительно-восстановительных реакций с образованием донного сплава при использовании исходной, прокаленной руды или восстановленного огарка при имитации барботажных процессов.

Глава 4 посвящена исследованию газофазного восстановительного обжига с последующей электроплавкой и получением ферроникеля. Автором показана эффективность газофазного восстановительного обжига, определено равновесное парциальное давление кислорода для систем MeO-Me, представлена зависимость парциального давления кислорода от альфы дутья, определены условия восстановления, время обжига, температура, состав газовой смеси. Восстановительный обжиг проведен не только при использовании модельных газов при смешивании химически чистых агентов,

но и при реализации конверсии природного газа. Отдельный раздел 4-й главы посвящен оценке влияния водорода в газовой смеси на показатели восстановления. Установлено, что при реализации восстановительного обжига при температуре 1000°C и использовании 3-х компонентной газовой смеси (CO₂-CO-H₂) основным фактором влияющим на степень восстановления окисленной никелевой руды является парциальное давление кислорода, а не доля водорода в газовой смеси. Негативный эффект от влияния водорода обнаруживается при повышении парциального давления кислорода до значений $\lg P_{O_2} = -13,93$ при температуре 1000°C.

В 5-ой главе рассматривается совершенствование технологии переработки окисленной никелевой руды по сульфидной технологии. В настоящем разделе по результатам термодинамических оценок и лабораторных экспериментов установлены оптимальные параметры восстановления сульфата кальция до сульфида древесным углем. Проведены термодинамические расчеты и лабораторные эксперименты по сульфидированию окисленных никелевых руд различными сульфидизаторами. По результатам исследований установлено, что при использовании сульфида кальция содержание никеля в штейне достигает 25% масс., против 12% масс., при использовании пирита, в то же время потери никеля со шлаками сокращаются более чем в два раза.

По всем главам диссертации сделаны подробные заключения, полученные результаты полностью соответствуют поставленной цели. Материалы диссертации опубликованы в 9 научных работах, три из которых входят в перечень ВАК при Минобрнауки России и наукометрические базы данных Scopus и WoS. Основные результаты диссертации были доложены соискателем на 6 международных и всероссийских конференциях, конгрессах или съездах. Диссертационная работа удовлетворяет паспорту специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Рекомендации по использованию результатов работы и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы Пахомова Р.А. могут быть рекомендованы для практической реализации на предприятиях использующих сульфидирующую плавку окисленных никелевых руд на штейн в шахтных печах или в электропечных и иных агрегатах при реализации процессов обеднения железосиликатных шлаков цветными металлами, например в ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель», а также при применении комбинированных способов переработки ОНР, реализация пирометаллургической и гидрометаллургической технологий.

Кроме того, полученные результаты представляют интерес для использования в научно-исследовательских институтах и университетах, занимающихся исследованиями процессов твердофазного обжига окисленных руд, ее сульфидирования или обеднения железосиликатных шлаков.

Основные достоинства и недостатки диссертационной работы. Диссертационная работа Пахомова Р.А, в целом оформлена по требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, по содержанию диссертация

изложена ясным и научным языком. Достоверность результатов проведенных исследований не вызывает сомнений, поскольку они получены на основе большого числа экспериментов, выполненных по единым методикам и имеют научное обоснование. Вместе с тем к диссертационной работе имеются следующие замечания и вопросы:

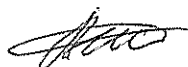
1. В работе отсутствует список сокращений
2. Как учитывались активности компонентов в расплаве при проведении термодинамических расчетов?
3. Каким образом результаты восстановительного обжига могут быть использованы в промышленности? Как результаты работы могут быть применимы к известному комбинированному способу переработки окисленных никелевых руд, который включает в себя обжиг с последующим карбонатным выщелачиванием?
4. При замене сульфидизатора на CaS в технологии "плавки на штейн" не возникнет ли дефицита тепла, а также каким образом в этом случае будет реализован процесс утилизации серосодержащих газов, ведь и концентрация SO₂ в отходящих газах должна снизиться?

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней»

Диссертационная работа Пахомова Романа Александровича по теме «Разработка пирометаллургических технологий переработки окисленных никелевых руд при контроле состава равновесной газовой фазы» соответствует паспорту специальности 05.16.02 в полной мере по критериям пунктов 2.1-2.6 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации, Пахомов Роман Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв составлен на основании знакомства с текстом диссертации, авторефератом и докладом Пахомова Р.А. на научно-техническом семинаре высшей школы "Физики и технологии материалов" 21 мая 2020 года.

Отзыв подготовил к.т.н.
доцент ВШ "Физики и
технологии материалов"



Выступов Сергей Иванович

Председатель НТС
директор ВШ "Физики и
технологии материалов"



Семенча Александр Вячеславович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого (СПбПУ)

Контакты:

ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251

office@spbstu.ru

Контактный центр: +7 (812) 775-05-30