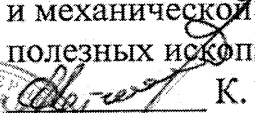


УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
акционерного общества
«Научно-исследовательский и
проектный институт обогащения
и механической обработки
полезных ископаемых», к. т. н.


К. В. Булатов
«4» декабря 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации - акционерное общество «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых» (АО «Уралмеханообр») на диссертацию Рябушкина Максима Игоревича «Развитие технологии получения никелевого порошка трубчатых печей для последующей его переработки путем хлорного выщелачивания и электроэкстракции никеля», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. - **Металлургия черных, цветных и редких металлов**

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время возрастает внутреннее потребление высокосортного никеля вследствие интенсивно развивающейся аэрокосмической отрасли, гальванотехники и машиностроения. Стратегией развития металлургической промышленности на период до 2030 г., утверждённой Правительством РФ от 28 декабря 2022 г., предполагается также увеличение экспорта никельсодержащей продукции. Поэтому наращивание мощности никелевых предприятий, повышение рентабельности производства, в частности за счёт замены анодной плавки и электролиза, процессами непосредственного хлорного выщелачивания никелевого порошка с последующей электроэкстракцией, является актуальным направлением. Вместе с тем, недостаточное качество мелкодисперсного продукта, получаемого на пирометаллургических операциях, ограничивает эффективность аппаратурно-технологической схемы. В связи с изложенным, разработка научно обоснованных технических решений и, прежде всего, поиск оптимального гранулометрического и химического состава никелевого порошка, рациональных режимов работы основного оборудования, является своевременным, а тема работы – диссертательной.

2. Научная новизна диссертации

К результатам выполненных исследований с признаками научной новизны относятся:

- в широком интервале значений кислородного потенциала $lgP_{O_2} = (-20 \dots -4)$ и температуры 300...800 °С определена область устойчивости

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-563 от 13.12.24
АУ УС

оксидной, сульфидной, металлической, сульфатной фаз системы Ni-S-O и получены данные по распределению никеля и кобальта между фазами;

- установлена зависимость тепловых эффектов реакций окисления и восстановления от содержания никеля, серы в концентрате и удельного расхода восстановителя при переменной концентрации монооксида углерода в газовой фазе;

- предложен макромеханизм образования спека и показано влияние температуры, окислительного потенциала газовой фазы, избытка восстановителя на формирование спеченных конгломератов.

3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Работа выполнена на современном теоретическом и экспериментальном уровне с использованием высокотехнологичных методов анализа. При выполнении экспериментальных исследований применялось современное технологическое и аналитическое оборудование. Достоверность результатов обеспечена обоснованным использованием теоретических и экспериментальных зависимостей, корректностью выбранных методов исследования и соответствием данных, полученных в производственных условиях.

4. Научные результаты, их ценность.

- на основе термодинамического моделирования определена температура процесса в зависимости от содержания твёрдого восстановителя и окислительного потенциала системы Me-C-O. При этом, в области содержания углерода 14-15 % и концентрации CO в газовой фазе 1,5 и 3,0 % об., обозначен интервал температуры ~ 1050-1100 °С, в котором вероятнее всего завершаются эндотермические реакции горения и восстановления. При минимальной концентрации CO в газовой смеси 0,25 % об. определена теоретическая величина доли восстановителя в огарке 13,6 %;

- установлен макромеханизм формирования конгломератов при восстановительном обжиге огарка, в котором определяющая роль принадлежит силикатным соединениям, процессу науглероживания металлической фазы и окислительному потенциалу газовой фазы. В результате анализа научно обоснованных причин и условий спекообразования рекомендована оптимальная температура процесса 1050-1080 °С, обеспечивающая наименьший выход материала класса +1 мм и спекаемых конгломератов;

- определена зависимость эффективности магнитной сепарации от содержания диоксида кремния и углерода в никелевом порошке, крупности исходного питания, величины магнитной индукции и частоты вращения барабана-сепаратора.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований содержатся в пяти печатных работах, опубликованных в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ и одном патенте. Имеются публикации в других изданиях и материалах конференций, что обеспечило апробацию

результатов на научно-технических мероприятиях различного уровня в гг. Екатеринбург, Москва, Стерлитамак, Санкт-Петербург.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов работы.

Теоретическая значимость работы заключается в разработанных термодинамических моделях окислительных и восстановительных процессах, позволяющих прогнозировать поведение компонентов в сложных системах Ni-S-O и Ni-C-O в зависимости от концентрации реагентов и температуры.

В рамках существующих пирометаллургических операций производства никелевого порошка определены основные источники поступления SiO_2 в технологический процесс и предложены организационно-технические мероприятия по выводу оборотных материалов из производственного цикла, без реализации которых содержание диоксида кремния в магнитной фракции порошка возрастает до 4,5 %.

Оптимизированы технологические режимы работы системы агрегатов «печь КС- ТВП», заключающиеся в требованиях: на стадии окислительного обжига устанавливать содержание серы в шихтовых материалах не менее 17 %, а восстановление огарка проводить при содержании углерода не более 15 %. В совокупности, данные рекомендации обеспечили снижение выхода спечённых конгломератов с 20-25 до 5-6 % и снижение расхода угля на 10 %, что при сохранении заданной степени металлизации никелевого порошка, обеспечивает экономию более 18,4 млн руб. в год.

Разработана новая технологическая схема двухстадийной магнитной сепарации, состоящая из основной и контрольной операций, а также определены оптимальные режимы её реализации: крупность питания -2,5 мм; поле магнитной индукции основной операции 0,12 Тл при частоте вращения барабана 90 об./мин., контрольной -0,18 Тл с частотой вращения 55-75 об./мин. В этих условиях эффективность удаления С и SiO_2 в немагнитную фракцию возросли на 95,3 и 32,2 % отн., соответственно, а извлечение Ni в магнитную фракцию составило 99,9 %.

Прикладную ценность диссертации дополняют результаты расчетов инвестиционного проекта, свидетельствующие о целесообразности вложения средств в модернизацию участка магнитной сепарации, что при дисконтированном сроке окупаемости 3,2 г., позволяет получить дополнительную стоимость товарной продукции в объёме 6,455 млрд. руб. в год. Последнее обстоятельство находится в прямой связи с актуальностью работы, направленной на наращивание объемов производства никеля.

6. Рекомендации по использованию результатов работы.

Методология термодинамического моделирования с построением соответствующих областей фазового состояния системы Me-S-O в зависимости от кислородного потенциала, может быть использована для оценки границ существования наиболее легкоплавких силикатных соединений, характерных для обжига в печах кипящего слоя цинкового концентрата. Рекомендации по поиску оптимальной крупности крупности огарка и содержание углерода в шихте восстановления для вращающихся трубчатых печей, моделированию тепловых эффектов представляют интерес

для вельц-процесса, который наряду с печью кипящего слоя, используется на АО «Челябинский цинковый завод». Теоретические и прикладные результаты диссертации целесообразно использовать в учебном процессе для подготовки студентов, обучающихся по направлениям 22.03.02 и 22.04.02. «Металлургия».

7. Замечания и вопросы по работе.

1. В результатах термодинамического моделирования окислительного обжига, представленных на диаграммах рис. 3.1-3.3 диссертации, отсутствуют фазовые области ферритов и силикатов никеля. Какой размерности парциального давления кислорода и величине общего давления газов в системе соответствуют данные диаграмм?

2. Отсутствуют тепловые балансы печи КС и трубчатой печи, которые были бы уместным дополнением к результатам термодинамического моделирования тепловых эффектов окислительного и восстановительного обжига.

3. Чем объясняется при одинаковых условиях моделирования различный характер кривых рис. 3.11 и 3.12?

4. Требуется пояснить, какие исследования выполнены на лабораторной установке рис. 2.7. с горизонтальным расположением реактора?

5. В пятой главе не приведено описание режима существующей сухой магнитной сепарации: напряжённость магнитного поля, частота вращения рабочего органа, положение шибера (качество магнитного продукта стремится к максимуму или извлечение никеля в магнитный продукт стремится к максимуму). Не приведено название типа магнитного сепаратора.

6. Автор сравнивает и приходит к выводу о неэффективности работы магнитного сепаратора (с. 100), сопоставляя показатели обогащения с аналогичными данными, полученными после разделения ручным магнитом без указания значений индукций магнитных полей. Кроме того, не учитывается, что в процессе разделения частиц в барабанном магнитном сепараторе существенное влияние на показатели разделения оказывает центробежная сила, которая отсутствует при использовании ручного магнита.

7. На с. 111 отмечено, что сепарационный процесс считается эффективным, если значения критерия Хэнкока-Луикена составляет более 50 %. Из каких литературных источников получено это значение и для каких обогащаемых материалов оно справедливо?

8. По результатам исследований (с. 111) сформулирован вывод, что изменение крупности материала не влияет на извлечение никеля в магнитный продукт сепарации, хотя на рисунке 5.5 с. 112 показано, что при крупности обогащения 2 мм и индукции магнитного поля 0,12 Тл, извлечение никеля в магнитный продукт снизилось и является минимальным относительно аналогичных показателей для более мелких продуктов. При обогащении материала крупностью 2 мм и индукции магнитного поля 0,08 Тл, извлечение никеля в магнитный продукт является наибольшим.

9. Отсутствуют результаты расчётов технологических балансов сухих магнитных сепараций и значений эффективностей обогащения, зависимости которых приведены на рисунке 5.6 (с. 112).

10. Встречается некорректное наименование физико-химических величин, так не минимизация энергии Гиббса (с. 39), а свободной энергии Гиббса, термин средство (с. 55) считается устаревшим и необходимо использовать величину изменение свободной энергии Гиббса, тепловые эффекты указаны не в системе единиц СИ, ккал. (табл. 1.2).


8. Заключение по диссертации.

Диссертация «Развитие технологии получения никелевого порошка трубчатых печей для последующей его переработки путем хлорного выщелачивания и электроэкстракции никеля», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 - Metallургия черных, цветных и редких металлов полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Рябушкин Максим Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.


Отзыв обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета (НТС) акционерного общества «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых» (АО «Уралмеханообр»). Присутствовало на заседании 15 чел., результаты голосования: «за» 15, «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол заседания № 2-24 от «3» декабря 2024 г.

Председатель заседания -

заместитель генерального директора по научной работе

 Закирничный Виталий Николаевич

Секретарь заседания –
зав. аналитической лабораторией

 Верхорубова Алла Владимировна

Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых» (АО «Уралмеханообр»).

Почтовый адрес: Россия, 620063, Екатеринбург, ул. Хохрякова, 87.

Официальный сайт: <https://umbr.ru/>

Тел. +7(343) 344-27-42 *2000, e-mail: umbr@umbr.ru

Подпись Закирничного В.Н., Верхорубовой А.В., заверяю:
заместитель генерального директора по персоналу и общим вопросам
АО «Уралмеханообр»

 Садовенко Д.В.

