

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Р.А. Пахомова на тему:  
**«РАЗРАБОТКА ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПЕРЕРАБОТКИ ОКИСЛЕННЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД ПРИ КОНТРОЛЕ  
СОСТАВА РАВНОВЕСНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.02- Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

Промышленно значимыми источниками никеля являются оксидные и сульфидные никельсодержащие руды. На долю первых приходится 60-70% запасов никеля, на долю вторых 30-40%. Сульфидные руды менее распространены, но обеспечивают более половины мировой горной добычи никеля. Истощение сульфидных месторождений повышает актуальность разработки эффективных способов обогащения и переработки окисленных никелевых руд (ОНР).

К классическим схемам переработки ОНР относятся сульфидирующая плавка с получением товарного никеля, восстановительный обжиг и электроплавка с получением ферроникеля, а также гидрометаллургические схемы переработки - процесс Карона и НРАЛ процесс.

В настоящее время пирометаллургические технологии переработки окисленных никелевых руд испытывают определенный кризис вследствие ограниченного объема богатых руд, высокой себестоимости процессов, низкой экологической и технологической эффективности переработки бедных окисленных руд. Развитие технологий эффективной переработки ОНР, характеризующихся низким содержанием никеля, отчасти, тормозится недостатком физико-химических данных по ключевым процессам пирометаллургических схем переработки ОНР.

**Целью диссертационной работы Р.А. Пахомова** является повышение эффективности технологий переработки бедных окисленных никелевых руд на основе контроля состава газовой фазы процессов восстановительного и сульфидирующего обжига, а также плавки.

В основе работы лежит физико-химический анализ трансформации вещества - окисленной никелевой руды и ее компонентов в ходе процессов обжига и плавки. Результаты указанного анализа позволили предложить направления развития пирометаллургических технологий переработки окисленных никелевых руд. Предложенные подходы к развитию технологий обеспечивают возможность переработки бедных никелем окисленных руд с получением богатых полупродуктов при обеспечении низких потерь никеля и сокращении выбросов газов по сравнению с действующими аналогами производства.

### **Актуальность работы**

Окисленная никелевая руда характеризуется низким содержанием Ni (1-1,5, до 3-4% масс.), практически не обогащается, что осложняет

металлургическую переработку такого сырья. Для некоторых типов руд, помимо никеля целевым компонентом является кобальт. Извлечение остальных металлов (Fe, Si, Ca, Mg и др.) нерентабельно.

Условно, составы окисленных никелевых руд варьируются от высокомагнезиальных до высокожелезистых. Высокомагнезиальные руды характеризуются пониженным содержанием железа и достаточно успешно перерабатываются с использованием гидрOMETаллургических схем переработки. Пирометаллургические возможности переработки таких руд ограничены высокой тугоплавкостью высокомагнезиальных шлаков и необходимостью переработки высоких объемов флюсов.

Руды с повышенным содержанием железа более распространены, характерны для России, как правило беднее никелем (в среднем на уровне 1-1,3% масс Ni) по сравнению с магнезиальными рудами. ГидрOMETаллургическая переработка таких руд ограничена низкими показателями извлечения никеля и низкой рентабельностью производства. При переработке таких руд по пирометаллургическим схемам образуется бедный никелем ферроникель, требующий дорогостоящих операций последующего рафинирования. Пирометаллургическая переработка таких руд на штейн с применением устаревших, но традиционных для уральских заводов технологий сопровождается значительными материальными затратами, низкими показателями извлечения и значительным уровнем выбросов SO<sub>2</sub>.

Разработке физико-химических основ эффективной пирометаллургической переработки высокожелезистых ОНР с получением богатого никелем ферроникеля или никелевого штейна посвящена настоящая диссертация, в этом состоит ее актуальность.

К важнейшим положениям **научной новизны** можно отнести следующее:

1. На основе анализа физико-химических особенностей переработки твердой шихты в печах барботажного типа показаны ограничения и возможности процесса восстановительной плавки окисленного сырья с использованием твердого восстановителя.

2. По результатам термодинамического моделирования и экспериментальным исследованиям, установлена количественная связь парциального давления кислорода при обжиге окисленной никелевой руды и составом ферроникеля, получаемого при последующей ликвидационной плавке огарка. Изменение парциального давления кислорода при обжиге позволяет контролировать состав получаемого ферроникеля.

3. Показано, что сульфид кальция является перспективным, высокоэффективным сульфидизатором при реализации восстановительно-сульфидирующей плавки ОНР на штейн. Определены условия твердофазного восстановления сульфата кальция с получением сульфида кальция.

**Личный вклад** автора состоит в анализе известных технологий переработки ОНР, проведении термодинамических расчетов и экспериментальных исследований, обработке и обобщении полученных

результатов, подготовке публикаций и докладов на престижных научных конференциях.

**Достоверность результатов** обоснована их соответствием современным представлениям о механизме физико-химических процессов, протекающих при восстановлении окисленных руд, использованием при выполнении экспериментальных исследований промышленных образцов руд и углеводородов, применением современных методик, оборудования и программного обеспечения.

Диссертация Р.А. Пахомова выполнена на высоком научном уровне, имеет теоретическое и практическое значение, последовательность изложения материала соответствует логике поставленной задачи.

За время работы над диссертацией Р.А. Пахомова проявил себя как способный исследователь, творчески относящийся к решению поставленных задач. Неформально подходит к изучению литературы, уделяет этому большое внимание, хорошо владеет современными методами исследований.

Диссертационная работа Р.А. Пахомова полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, является законченной научно-квалификационной работой, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

*Старых* 2.10.2019

Научный руководитель:

Старых Роман Валерьевич, к.т.н., доцент,  
ведущий научный сотрудник ЛПМ  
ООО «Институт Гипроникель»

Адрес: 195220, Санкт-Петербург,  
Гражданский пр., д. 11,  
тел.: +7 (812) 335-31-26,  
e-mail: kafedra-cm@yandex.ru

Подпись к.т.н., доцент Р.В. Старых заверяю:

Директор Департамента  
по исследованиям и разработкам  
ООО «Институт Гипроникель»



*[Signature]*  
Л.Б. Цымбулов