

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Шопперта Андрея Андреевича

«Теоретические основы и технология комплексной переработки бокситов с использованием восстановительного выщелачивания в цикле Байера», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов

Общая характеристика работы

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Metallургия цветных металлов» и в Научной лаборатории перспективных технологий комплексной переработки минерального и техногенного сырья цветных и черных металлов Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н.Ельцина». Диссертация изложена на 284 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 3 приложений. Список литературы включает 253 наименования. Имеются ссылки как на работы отечественных, так и зарубежных ученых.

По структуре и объему работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Диссертация написана научным языком и стилем, содержит весь необходимый материал для понимания сущности исследования. Полученные результаты отвечают поставленным целям и задачам. В представленном соискателем автореферате достаточно полно раскрыто содержание диссертационной работы, при одновременном сохранении ее структурного построения, опубликованные работы также в достаточной мере отражают ее содержание.

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 Metallургия чёрных, цветных и редких металлов, в частности, направлениям исследований по пп. 1. Рудное, нерудное, техногенное и энергетическое сырьё, 7. Рециклинг материалов, переработка отходов производства и потребления, 9. Энергосбережение, утилизация отходов металлургического производства, снижение выбросов, в том числе парниковых газов, 10. Проектирование предприятий по переработке техногенного сырья, 11. Metallургические системы и коллективное поведение в них различных элементов, 19. Гидрометаллургические процессы и агрегаты.

Актуальность темы исследования

В связи с постоянно ухудшающимся качеством бокситового сырья в России в переработку все больше начинает вовлекаться низкокачественные бокситы Среднего Тимана с высоким содержанием железа и кремния, также планируется строительство нового глиноземного завода, который будет работать на зарубежном сырье с высоким содержанием железа при производительности более 4 млн тонн. Вовлечение в переработку высокожелезистого бокситового сырья приводит к образованию большого количества твердого остатка от выщелачивания – красного шлама, который является высокотоксичным

из-за высокого содержания щелочи и тяжелых цветных металлов. Красные шламы не являлись источником экологических катастроф, поскольку складывается ежегодно в количестве более 150 млн тонн на шламохранилищах и не вовлекаются в переработку. Низкая степень переработки красного шлама связана с тем, что при существующем методе переработки бокситов по способу Байера в процессе выщелачивания образуются различные соединения щелочноземельных металлов с кремнием и алюминием: гидроалюмосиликаты натрия, гидрогранаты, двухкальциевый силикат и т.д. В связи с этим для повышения комплексности переработки бокситового сырья необходимо разрабатывать новые методы вскрытия, которые позволяли бы исключить образование красного шлама или получать полупродукт с низким содержанием примесей, пригодного для получения железа.

Кроме того, одной из проблем, обсуждаемой в научном сообществе, является снижение углеродного следа от промышленных производств путем использования возобновляемых источников энергии и восстановителей, не содержащих углерод. В данной работе предложен новый способ переработки бокситов с использованием восстановительного выщелачивания для получения высокожелезистого красного шлама или сразу железа. Таким образом, **актуальность работы** заключается в создании научных основ технологий переработки бокситов с низким углеродным следом и без образования отхода. Кроме того, предложенный метод позволяет вовлекать в переработку низкокачественное сырье, которое становится основным источником получения глинозема.

Научная новизна.

Основной идеей диссертационной работы Шопперта А.А. является научное обоснование и разработка технических решений, обеспечивающих совершенствование способа переработки бокситового сырья по существующей технологии, применяемой на уральских глиноземных заводах, путем добавления восстановительных процессов. Перед автоклавным выщелачиванием бокситов предлагается ввести стадию восстановления соединений железа путем добавления $Fe(2+)$, электролиза при одновременном обескремнивании сырья.

В работе детально изучены формы нахождения железа в различных видах бокситах. Показано, что большинство бокситов содержат алюмогетит и алюмогематит, которые являются упорными для стандартного выщелачивания по способу Байера и приводят к высокому содержанию алюминия в шламе, а также к последующим проблемам со сгущением и фильтрацией.

Выявлены условия восстановительного выщелачивания бокситов при атмосферном давлении при добавлении $Fe(2+)$, позволяющие перевести практически все соединения железа, включая алюмогетит и алюмогематит в магнетит.

Исследован новый метод восстановительного выщелачивания бокситов при одновременном электролитическом восстановлении соединений железа. Изучены особенности процесса, что позволило выявить возможность получения при электролизе как элементного железа, так и магнетита.

Экспериментально выявлены условия, позволяющие при использовании активной, байерит содержащей затравки, повысить степень разложения алюминатного раствора, что необходимо для повышения производительности алюминатного раствора и получения необходимого для электролиза раствора с низким содержанием алюминия.

Теоретическая и практическая значимость работы.

На основании проведенного комплекса исследований были определены оптимальные условия процесса, позволяющие максимизировать извлечение глинозема в раствор с получением бесщелочного высокожелезистого красного шлама, пригодного для последующего получения железа.

Предложена технология комплексной переработки бокситов с применением электролитического восстановления соединений железа. Технология позволяет переводить упорные алюмогетит, алюмогематит и шамозит в магнетит или при определенных условиях в элементное железо.

Получаемый по предлагаемой технологии красный шлам рассматривается как железосодержащий продукт ($> 60\% \text{ Fe}$), который может быть также использован для пигментов и для извлечения редкоземельных элементов.

Получаемый в процессе электролиза водород может быть использован для дальнейшего снижения углеродного следа при электролизе алюминия.

Научные результаты были использованы для повышения производительности алюминатного раствора на глиноземном заводе в г. Краснотурьинске Свердловской обл.

Степень обоснованности и достоверности научных положений.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы сомнений не вызывает, так как они базируются на фундаментальных представлениях теории металлургических процессов и не противоречат известным научным фактам и литературным данным. Достоверность экспериментальных данных представляется убедительной, поскольку обусловлена комплексным характером исследований с использованием независимых экспериментальных методов, стандартных методик исследования, современного оборудования и специализированного программного обеспечения, подтверждается сходимостью результатов экспериментов. В целом теоретические и практические результаты диссертации не вызывают возражений, безусловно обладают научной новизной и являются существенными, ранее не известными из литературных источников, научными фактами. Новизна предлагаемых автором технических решений подтверждается полученными патентами.

Подтверждение публикации основных результатов диссертации в научных изданиях

Материалы диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, а также достаточно полно опубликованы в научных журналах и сборниках. Основные результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 42 работах, включая 24 научные статьи в рецензируемых научных журналах, определенных ВАК РФ и Аттестационным советом УрФУ, из них 22 статьи, опубликованы в журналах, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science (WoS); 5 патентов Российской Федерации на изобретения и полезную модель.

Предложения по расширенному использованию.

Материалы диссертации представляют интерес для специалистов отечественной глиноземной промышленности - Богословский алюминиевый завод и Уральский алюминиевый завод, и в целом для научно-инженерных подразделений компании РУСАЛ.

Полученные автором результаты также представляют интерес для сотрудников научно-образовательных организаций, таких как ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, НИТУ МИСиС (г.Москва), СПбГТИ(ТУ) (г. Санкт-Петербург), ИМет УрО РАН, ИХТТ УрО РАН (г. Екатеринбург) и др.

Научные результаты могут быть использованы при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия».

Вопросы и замечания по диссертационной работе Шопперта А.А.:

1. Выводы по литературному обзору (Глава 1) носят несколько тривиальный характер. Следовало бы более четко обосновать необходимость проведения исследований, их цель и задачи.
2. Текст диссертации, особенно Глава 3, чрезмерно перегружен объемом числовых и статистических данных в ущерб собственно их анализу.
3. Каков состав раствора, образующегося в процессе предварительного обескремнивания боксита (п. 3.2.3. диссертации)? Куда он направляется в предлагаемой технологии? Каковы потери глинозема при обескремнивании?
4. Каким образом присутствие Fe^{2+} способствует извлечению Al из Al-гематита и Al-гетита? Как обусловлен этот эффект с химической точки зрения?
5. При проведении электролиза бокситовой пульпы (Глава 4) как учитывалось влияние межэлектродного расстояния? Как учитывали неоднородность суспензии вследствие седиментации?
6. При использовании компактного образца боксита (п.4.5.) как обеспечивалось проникновение электрического поля внутрь образца и как оценивалась глубина такого проникновения?
7. Чем подтверждается твердофазный характер восстановления гематита до магнетита при электролизе компактного образца?
8. Глава 5, посвященная разложению алюминатных растворов, представляется несколько выпадающей из общей логики диссертационной работы. Каким образом она связана с заявленной автором целью исследования?
9. К сожалению, в работе не представлен хотя бы черновой проект опытно-промышленного электролизера для восстановления железосодержащих минералов. На основе лабораторной ячейки сложно оценить обоснованность технико-экономической эффективности предлагаемой технологии.
10. Принципиальную технологическую схему переработки боксита (Глава 6, рис. 6.1.) было бы желательно сопроводить материальным балансом с хотя бы ориентировочными расходными коэффициентами.
11. Каковы основные характеристики кондиционного КЩ, получаемого по предлагаемой технологии?

В целом высказанные в отзыве замечания имеют рабочий и дискуссионный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение по диссертации

Диссертация «Теоретические основы и технология комплексной переработки бокситов с использованием восстановительного выщелачивания в цикле Байера», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов» отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» в ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный университет имени первого

Президента России Б.Н. Ельцина», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Шопперт Андрей Андреевич – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,
заведующий лабораторией химии
гетерогенных процессов ФГБУН «Институт
химии твердого тела» Уральского отделения
Российской академии наук, доктор
технических наук, главный научный
сотрудник

«30» ноября 2023



Сабирзянов Наиль Аделевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии твердого тела» Уральского отделения Российской академии наук

620990, г.Екатеринбург, ул. Первомайская, 91;
e-mail: sabirzyanov@ihim.uran.ru
Телефон: тел. 8(343) 374-53-14.

Подпись Сабирзянова Н.А. заверяю,
Уч. секретарь ИХТТ УрО РАН к.х.н.



Е.А. Богданова