

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Тарганова Игоря Евгеньевича «Сорбция рения и кобальта при комплексной переработке шлифотходов никелевых суперсплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

Технологический суверенитет государства определяет наличие высокотехнологичных отраслей промышленности, развитие которых немислимо без доступа к стратегическим материалам, в числе которых присутствуют рений и кобальт. Аэрокосмическая промышленность, нефтехимия, электротехника – не полный перечень отраслей, применение рения в которых позволяет достичь исключительных преимуществ перед использованием других металлов. Немаловажным является развитие электротранспорта и электроники, в том числе портативной, их использование невозможно без современных аккумуляторных батарей, в составе катодного материала которых применяется кобальт. Учитывая важность указанных отраслей промышленности нашей страны следует обеспечить бесперебойный доступ к этим металлам. Однако в настоящее время производство первичного рения в Российской Федерации практически отсутствует.

**Актуальность** представленной диссертационной работы определяется необходимостью обеспечения сырьевой базы Российской Федерации критически важным редким металлом – рением, который применяется при производстве специальных жаропрочных сплавов для авиакосмической отрасли, катализаторов риформинга и электронике, а также цветным металлом – кобальтом, основное потребление которого, в настоящее время, приходится на изготовление аккумуляторных батарей.

**Научная новизна** диссертации заключается в следующем:

1. Получены впервые сорбционно-десорбционные характеристики материала с подвижной фазой экстрагента ТВЭКСа-ДИДА на основе диизододециламина для извлечения рения из растворов его окислительного выщелачивания, и макропористого анионита марки Indion 850 с функциональными группами третичных и четвертичных аминов при извлечении кобальта из растворов комплексной переработки шлифотходов никелевых суперсплавов.

2. Определено время полусорбции, константа скорости, эффективный коэффициент диффузии сорбции рения ТВЭКСом-ДИДА из раствора выщелачивания рения при комплексной переработке шлифотходов никелевых суперсплавов

3. Определены кинетические характеристики сорбции кобальта при температуре 70 °С из модельного раствора выщелачивания цветных металлов из шлифотходов никелевых суперсплавов с помощью макропористого анионита марки Indion 850 с функциональными группами третичных и четвертичных аминов: время полусорбции, константа скорости, эффективный коэффициент диффузии.

**Практическая значимость** работы определяется тем, что:

1. Определены оптимальные условия окислительного выщелачивания рения растворами соляной кислоты из шлифотходов рений-никелевого суперсплава;

2. Показана возможность количественного выделения рения комплексообразующим сорбентом ТВЭКС-ДИДА и кобальта макропористым



анионитом Indion 850 из солянокислых растворов комплексной переработки шлифотходов рений-никелевого суперсплава;

3. Предложена блок-схема сорбционного извлечения рения и кобальта при комплексной переработке шлифотходов рений-никелевого суперсплава;

4. Проведенные укрупненные лабораторные испытания сорбционного выделения рения и кобальта из солянокислых растворов выщелачивания шлифотходов рений-никелевого суперсплава с получением перрената аммония и оксида кобальта позволяют рекомендовать выбранные иониты для комплексной переработки шлифотходов рений-никелевых суперсплавов.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 160 страницах машинописного текста, содержит 32 таблицы и 62 рисунка. Список литературы включает 141 работу отечественных и зарубежных авторов.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, а также результаты ее апробации.

**В главе 1** (литературном обзоре) диссертант анализирует имеющиеся данные по различным технологиям переработки отходов ренийсодержащих суперсплавов, включая пирометаллургические, электрохимические и гидрометаллургические. Приведен опыт по извлечению рения и кобальта с использованием гидрометаллургических методов. После изучения и анализа литературных источников автор отмечает, что большая часть доступной информации по переработке отходов ренийсодержащих суперсплавов описывает электрохимическое вскрытие кусковых деталей с переводом рения в раствор и последующим экстракционным его извлечением, а комплексность переработки заключается в дробном осаждении алюминий-хромового, а затем никель-кобальтового концентратов из рафината экстракции рения.

**В главе 2** приведены методики проведения экспериментов по выщелачиванию никеля и рения, сорбции рения и кобальта в статических и динамических условиях, характеристики используемых шлифотходов и сорбционных материалов, методики изготовления импрегнатов, методы пробоподготовки сорбентов для получения их ИК-спектров и растворов для их анализа на содержание целевых компонентов, а также способы обработки экспериментальных результатов.

**Глава 3** посвящена определению оптимальных условий выщелачивания никеля и рения из шлифотходов с помощью растворов минеральных кислот, в том числе, в присутствии окислителя – пероксида водорода. Изучена кинетика выщелачивания никеля и рения, экспериментальные результаты обработаны с использованием математических моделей, что позволило выявить лимитирующие стадии процесса. Установлено, что процесс выщелачивания никеля из шлифотходов 6М раствором соляной кислоты протекает в кинетической области реагирования, а рения из твердого остатка выщелачивания никеля из шлифотходов лимитирует диффузия пероксида водорода, повышение концентрации соляной кислоты при окислительном выщелачивании рения не приводит к увеличению степени его извлечения в раствор.

**В главе 4** представлены результаты исследования сорбционного извлечения рения из растворов его окислительного выщелачивания в различных условиях материалами с подвижной фазой экстрагента на основе вторичного и третичного



алкиламинов (ДИДА и ТАА, соответственно). Проведено сравнение емкостных и кинетических характеристик, полученных автором импрегнатов при различном содержании экстрагента и ТВЭКСа-ДИДА.

Изучена стабильность фазового состава экстрагентосодержащих материалов, а также получены выходные кривые сорбции и десорбции рения с использованием ТВЭКСа-ДИДА из растворов окислительного выщелачивания рения. Получены ИК-спектры ТВЭКС-ДИДА в различных формах, расшифровка которых указывает на протекание ионного обмена.

В главе 5 приведены результаты по извлечению кобальта из солянокислых водных растворов с использованием анионитов различной основности, проведено сравнение емкостных характеристик анионитов по кобальту (14 анионитов). С помощью анионитов, проявивших лучшие емкостные характеристики, изучена кинетика сорбции кобальта. Показана возможность количественного извлечения кобальта в статических условиях с использованием гелевого анионита Axionit VPA G.2.4 и макропористого анионита Indion 850. Получены выходные кривые сорбции и десорбции кобальта с помощью макропористого анионита Indion 850, определено значение кинетического коэффициента ( $\beta$ ), который применяется при расчете габаритов сорбционного оборудования при масштабировании передела.

В главе 6 описан опыт укрупненных лабораторных испытаний предлагаемой технологической схемы переработки шлифотходов ренийсодержащих никелевых суперсплавов, включающий в себя сорбционное извлечение рения и кобальта и их выделение в виде перрената аммония и оксида кобальта (II, III).

По содержанию основного компонента полученные продукты: перренат аммония – на 94,5 %, а оксид кобальта (II, III) – на 98,4 % соответствуют марке AP-1 и КО-2, соответственно.

Приведена технико-экономическая оценка предлагаемой технологии, в соответствии с которой прибыль при переработке 1 тонны шлифотходов составит 1,2 млн рублей без учета стоимости оборудования.

По диссертационной работе Тарганова И.Е. можно сделать следующие замечания:

1. Не совсем понятен выбор сорбционного материала для извлечения рения, почему в работе не был использован слабоосновный анионит марки Puromet MTA1701 производства компании «Purolite» для сравнения сорбционных свойств по рению?

2. В работе подробно изучено извлечение цветных металлов в раствор с использованием растворов серной кислоты, но глава 5 описывает извлечение кобальта только из растворов соляной кислоты.

3. Одним из основных элементов для сорбционного выделения является кобальт, однако кинетику выщелачивания определяли по концентрации никеля в растворе комплексной переработки, почему в работе отсутствуют данные по кинетике выщелачивания кобальта?

Сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку данной диссертационной работы, выполненной на высоком научном и экспериментальном уровне. Достоверность полученных автором результатов подтверждается использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню, в том числе современными методами анализа растворов и твердых веществ, воспроизводимостью результатов, а также их согласованностью с опубликованными данными, представленными в независимых источниках по близкой тематике.



Основные выводы диссертации обоснованы и логично вытекают из содержания работы.

Практическая значимость подтверждается результатами укрупненных лабораторных испытаний и качеством полученных продуктов. Результаты работы могут быть рекомендованы для ознакомления и использования в научных и образовательных организациях, в частности, в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И.В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук, Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова» Российской академии наук, Акционерном обществе «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технологический университет)», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты работы представлены в материалах 13 научных конференций и опубликованы в 4 статьях в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, в том числе 3 в журналах, входящих в международные базы данных научного цитирования.

По своему содержанию диссертационная работа Тарганова Игоря Евгеньевича соответствует паспорту научной специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов в части направлений исследований «Способы утилизации техногенного и вторичного сырья» и «Конверсия достижений технологии редких металлов и ядерной технологии, использование опыта эксплуатации типичных для данной отрасли промышленности процессов (сорбция, экстракция, плазменные, пламенные процессы и т.п.) для создания малоотходных, ресурсосберегающих технологических схем других отраслей промышленности».


Диссертация Тарганова Игоря Евгеньевича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения задачи сорбционного извлечения рения и кобальта из шлифотходов суперсплавов на основе никеля, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

По актуальности, новизне, практической значимости диссертация соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И.



Менделеева», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Тарганов Игорь Евгеньевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.8. Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов.

Доктор химических наук, заведующий  
Лабораторией химии технеция  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
«Институт физической химии  
и электрохимии им. А.Н. Фрумкина»  
Российской академии наук


  
Герман Константин Эдуардович

Адрес организации: 119071, г. Москва, Ленинский пр-т., 31, к.4.  
Тел: + 7-495-335-20-04  
E-mail: [german@ipc.rssi.ru](mailto:german@ipc.rssi.ru)

Подпись *Германа Константина Эдуардовича* удостоверяю:  
Секретарь Ученого совета ИФХЭ РАН,  
Канд. хим. наук

“ 07 ” мая \_\_\_\_\_ 2024 г.



  
Варшавская И.Г.