

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

НИТУ «МИСиС»,

доктор технических наук, профессор

М. Р. Филонов

« 14 » марта 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

на диссертационную работу Суздальцева Андрея Викторовича «Электродные процессы при получении алюминия и его лигатур в расплавах на основе системы $KF-AlF_3-Al_2O_3$ », представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Актуальность темы работы и ее связь с планами отраслей отечественного производства. В условиях постоянного роста спроса на энергоносители и материальные ресурсы все более актуальными становятся исследования, направленные на разработку энергоэффективных и ресурсосберегающих способов получения металлов, сплавов и композитов. В диссертационной работе Суздальцева А.В. предложен кардинально новый способ производства алюминия и его лигатур электролизом расплавов на основе $KF-AlF_3-Al_2O_3$, позволяющий снизить температуру процесса и использовать оксидное сырье вместо дорогостоящих солей. Технологии, основы которых разрабатывает автор, актуализируют поиск новых конструкционных и электродных материалов для электролизеров, а также способов переработки техногенных отходов с получением, в частности, оксидов циркония и скандия.

Важность поставленных задач для развития науки. Изучению возможности получения алюминия в среде низкоплавких электролитов в последнее время уделяется много внимания. Посвященные этому работы направлены прежде всего на определение физико-химических свойств расплавов и (или) осуществление электролиза. Диссертация Суздальцева А.В. является комплексным исследованием, направленным на расширение фундаментальных представлений об электрохимических и химических процессах, протекающих при получении алюминия и его лигатур

Суздальцева А.В. является комплексным исследованием, направленным на расширение фундаментальных представлений об электрохимических и химических процессах, протекающих при получении алюминия и его лигатур в оксидно-фторидных расплавах. Целью данной работы является установление закономерностей физико-химических процессов в легкоплавких расплавах на основе системы $\text{KF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ с температурой $700\text{-}800^\circ$ в процессе электролиза с присутствием в расплаве оксидов бора, кремния, циркония и скандия.

Новизна исследования и полученных результатов, а также выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации. Идея электролитического получения алюминия из легкоплавких расплавленных электролитов (в частности, $\text{KF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$) является не новой и представляется вполне осуществимой. Причем способы производства лигатур алюминия с бором, цирконием, скандием и другими элементами из оксидного сырья электролизом криолит-глиноземного расплава уже активно апробировались непосредственно на промышленных электролизерах для получения алюминия в России, Норвегии и других странах. Тем не менее, на сегодняшний день не имеется каких-либо данных о внедрении подобных технологий, что объясняется отсутствием полноценного фундаментального объяснения и анализа сути новых процессов,

В диссертационной работе Суздальцева А.В. получены данные, лежащие в основе новых технологий производства алюминия и его лигатур, которые позволяют определить потенциалы электродов. Также разработаны новые улучшенные конструкции электродов сравнения, установлены закономерности электродных процессов и определены параметры электролиза легкоплавких расплавов на основе системы $\text{KF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ при получении алюминия, его сплавов и лигатур с бором, кремнием, цирконием и скандием. Впервые обоснована необходимость контроля потенциала катода и катодной плотности тока при электролизе расплавов $\text{KF-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ для нивелирования или полного исключения вероятности образования на катоде твердых оксидно-солевых осадков, существенно понижающих катодный выход алюминия по току. Разработаны математические модели для прогнозирования параметров анодных процессов на традиционных углеродных и нерасходуемых кислородвыделяющих анодах.

Значимость результатов и рекомендаций для науки и производства. Наряду с научной новизной полученные результаты обладают также и практической ценностью, поскольку они будут востребованными при конструировании новых аппаратов, а также для технико-экономической оценки предлагаемых технологий. Главнейшим производственно

ориентированным достижением диссертационной работы представляются разработанные основы новой технологии получения лигатур алюминия. Приведенные в работе результаты ее экспериментальной апробации, а также четко изложенные рекомендации по ее осуществлению и масштабированию на примере получения лигатуры Al-Sc дают все основания считать предлагаемую технологию перспективной для опытно-промышленного внедрения.

Результаты, представленные в диссертационной работе Суздальцева А.В., в большей степени были получены при выполнении работ в рамках бюджетной темы ИВТЭ УрО РАН, проекта РФФИ на тему «Исследование анодного процесса при электролизе алюминий-содержащего фторидно-оксидного расплава», а также ряда соглашений с Минобрнауки РФ (№2012-1.5-14-000-2025-007, №14.515.11.0017, №14.607.21.0042, №14.607.21.0146, №05.604.21.0239), выполненных, в том числе, совместно с индустриальными партнерами (предприятия ОК «РУСАЛ»). Это указывает на заинтересованность производства в результатах диссертационной работы. Они могут оказаться полезным для предприятий, институтов и корпораций металлургической, аэрокосмической, горнодобывающей и перерабатывающей отраслей (заводы по производству глинозема, алюминия и легких сплавов в составе ОК «РУСАЛ», ФГУП «ВИАМ», ГК «Роскосмос» и др.).

Структура и внутреннее единство работы. Диссертационная работа состоит из пяти глав, в которых представлены результаты последовательных и взаимосвязанных исследований. Первичной задачей являлось определение параметров электролиза легкоплавких расплавов на основе системы $KF-AlF_3-Al_2O_3$. Для этого в первой главе на основании потенциометрических измерений приводятся оптимальные конструкции электродов сравнения. Они были использованы для получения точных и достоверных данных по кинетике анодного и катодного процессов в исследуемых расплавах что изложено во второй и третьей главе, соответственно. Установленные закономерности и параметры электродных процессов позволили провести электролиз и при относительно высоком катодном выходе по току получить алюминий. На базе этих результатов в четвертой главе определены физико-химические закономерности алюминотермического и электролитического синтеза лигатур алюминия в расплавах $KF-AlF_3-Al_2O_3$ с добавками оксидов лигирующего элемента. В пятой главе продемонстрирована возможность организации непрерывного получения лигатуры Al-Sc при электролизе расплава $KF-AlF_3-Al_2O_3$ в лабораторном и крупном лабораторном электролизере.

Полученные результаты соответствуют цели и задачам диссертационной работы, содержание автореферата и опубликованных работ полностью соотносится с ее основными положениями и выводами. Материалы диссертации достаточно полно представлены на международных и российских конференциях и в научных журналах, рекомендованных ВАК. Опубликовано тезисы более 75 докладов на конференциях и 32 статьи, из которых 20 проиндексированы в Web of Science и Scopus. Получены 7 патентов РФ и 1 Международная заявка на изобретение.

Тема диссертационной работы **соответствует паспорту заявленной специальности** «2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» и отрасли науки. Согласно формуле специальности, в работе изучены электродные процессы на границах электрод/оксидно-фторидный расплав под действием электрического тока и способы управления этими процессами, что соответствует пунктам паспорта специальности: п.1 «теоретические основы электрохимических и химических процессов электролиза»; п.7 «оборудование и реализация электрохимических технологий» получения алюминия и его лигатур.

Диссертационная работа и автореферат написаны грамотным научным и доступным для широкого круга специалистов языком. Диссертант максимально придерживался единообразия в терминологии, оформлении рисунков, таблиц и формул, что также упрощает восприятие содержания работы.

Вопросы и замечания по диссертационной работе:

1) Диссертант предлагает использовать альтернативный электролит для производства алюминия и его лигатур. В связи с этим возникают следующие вопросы, имеются ли в России запасы данного электролита и что предлагается делать с используемым в настоящее время криолит-глиноземным расплавом?

2) Предлагаемый способ должен обеспечить снижение материалоемкости и повышение экологичности процесса для электролитического получения алюминия за счет увеличения ресурса анодных и конструкционных материалов, т.е. инертных анодов из металлов или керметов. Можно ли сказать более конкретно, из каких материалов предполагается в будущем делать аноды? Насколько перспективным диссертант считает использование кислородвыделяющего анода при электролитическом получении алюминия и его лигатур.

3) Установленные закономерности электровосстановления алюминия и легирующих элементов на твердых катодах (вольфрам, стеклоуглерод) несомненно представляют научную ценность. Однако на практике для

получения алюминия и лигатур предполагается использование жидкометаллического алюминиевого катода, использование которого, по словам диссертанта, снизит вероятность образования твердых оксидно-солевых осадков. В связи с этим, почему не изучен катодный процесс на алюминии в расплавах $KF-AlF_3-Al_2O_3$?

4) В работе изложены закономерности получения лигатур алюминия с бором, кремнием, цирконием и скандием, однако подробно изложены основы получения только одной лигатуры Al-Sc. Почему для экспериментальной апробации выбрано получение данной лигатуры и как изменятся параметры непрерывного электролиза, например, при получении лигатуры Al-B?

5) В работе приведена аппаратная и технологическая схема осуществления технологии производства лигатур Al-Sc, но внимание конструкции и материалам электролизера практически не уделено.

6) Предполагается ли для внедрения технологии разработка абсолютно нового опытно-промышленного электролизера или получение лигатур можно осуществлять непосредственно в типовых электролизерах для производства алюминия?

7) Проводилась ли диссертантом оценка технико-экономического эффекта от предлагаемой технологии получения лигатуры Al-Sc с учетом годового спроса на лигатуру?

8) В работе встречаются несущественные описки и несбалансированные уравнения химических реакций (например, на стр. 120-реакция (3.2), на стр. 151 - $KF-(10 \text{ мас.}\%)-AlF_3-Al_2O_3$ и др.)

Имеющиеся замечания носят дискуссионный характер и не влияют на положительную оценку работы в целом.

Заключение. Диссертационная работа Суздальцева А.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой расширены фундаментальные представления в области высокотемпературной электрохимии расплавленных солей и решена важная практическая задача – разработаны основы абсолютно новой ресурсосберегающей, энергоэффективной и импортозамещающей технологии производства алюминиевых лигатур.

По объему, качеству и достоверности полученных результатов, их грамотному и логичному изложению, по научной и практической актуальности задач и целей, обоснованности выводов, положений и научно-практических рекомендаций диссертационная работа соответствует критериям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление правительства РФ от 24.09.2013 № 842 с изменениями на 11.09.2021), а ее автор, Суздальцев Андрей Викторович, заслуживает

присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности «2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии».

Работа заслушана на заседании кафедры цветных металлов и золота ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» 01 марта 2022 г (протокол заседания кафедры цветных металлов и золота № 11).

Доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой цветных металлов и золота



В. П. Тарасов

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Юридический и фактический адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.

Телефон: +7 495 955-00-32

Факс: +7 499 236-21-05

E-mail: kancela@misis.ru