

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию **Горланова Евгения Сергеевича** на тему: «Легирование катодов алюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Диссертационная работа Е.С. Горланова «Легирование катодов алюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана» посвящена научному обоснованию и созданию технологических основ проектирования алюминиевых электролизеров нового поколения с дренированными катодами и вертикальными электродами. Автором применен комплексный подход по разработке пирометаллургических и электрометаллургических способов низкотемпературного синтеза диборида титана в объеме и на поверхности катодов.

1. Актуальность темы исследований

Производство алюминия является крупнейшей отраслью промышленности нашей страны, занимающая первое место среди всех цветных металлов. Предварительный анализ развития и современного состояния изученности направления – разработки пирометаллургических и электрометаллургических способов низкотемпературного синтеза диборида титана – и степени его разработки показывает, что исследования экономически целесообразных технологий получения диборида титана различными методами, готовность их к внедрению в производство недостаточны и требуют доработки. Это состояние проблемы затрудняет промышленную реализацию технических решений в данной области, ограничивает развитие экологически безопасных, инновационных технологий с применением электролизеров с инертными электродами. Факторами ограничения являются высокая стоимость порошков и компактных изделий TiB_2 , а также особенности ведения электролиза с применением твердых катодов, что определяет актуальность исследований и разработок в данной области.

2. Научная новизна проведенных Е.С. Горлановым исследований выражается в следующем:

- Разработана и реализована технология низкотемпературного карботермического синтеза диборида титана в системе $TiO_2-B_2O_3-C$ при температурах $1030\div 1050^\circ C$.

№ 105-9
от 29.05.2012

- В условиях электрохимического осаждения компонентов солевого расплава на углеродном катоде установлена причинно-следственная связь между физической неоднородностью поверхности электродов, нестабильностью процесса электролиза, качеством катодных покрытий и формированием электролитной прослойки на межфазной границе Al – катод.
- В криолитоглиноземных расплавах при $965\div 970$ °С и плотности тока $0,7\div 0,8$ А/см² методом электрохимического борирования углеродтитановых катодов впервые синтезировано смачиваемое алюминием покрытие диборида титана толщиной $100\div 500$ мкм.
- Испытана и внедрена технология борирования избыточных примесей ванадия в жидком алюминии на промышленных алюминиевых электролизерах с обожженными анодами на силу тока 320 кА Казахстанского электролизного завода с формированием на поверхности катода смачиваемого алюминием защитного слоя боридов тугоплавких металлов.

3. Теоретическая и практическая значимость исследования диссертации

- Установлен механизм карботермического синтеза диборида титана, включающий восстановление модифицированного фтором оксида титана до его оксикарида с последующим восстановлением оксидом бора до TiB_2 .
- Установленная экспериментально и подтвержденная экономическими расчетами себестоимость 40-50 долларов за 1 кг полученного диборида титана дает основание планировать рентабельное промышленное производство индивидуальных соединений и композитов на основе диборида титана для электродов и футеровки металлургических агрегатов.
- Термодинамическими расчетами уточнены стандартные потенциалы разряда ионов бора и титана на углеродном катоде и экспериментально установлены уровни напряжения электролиза криолитоглиноземных расплавов, при которых достигаются потенциалы разложения оксидов бора, титана и сложных оксидных соединений при различных плотностях тока.
- Установлен механизм формирования смачиваемого алюминием TiB_2 слоя методом борирования углеродтитановых катодов, включающий стадии электрохимического восстановления бора на катодной поверхности и последующего его взаимодействия с легирующими компонентами в зонах переноса и контакта.
- Технология поверхностного легирования композитных катодов методом борирования открывает перспективы ее применения для действующего

производства и электролизеров нового поколения с дренированными катодами и вертикальными электродами.

- Промышленные испытания технологии борирования избыточных примесей тугоплавких металлов в алюминии позволили внедрить технологию очистки алюминия и создания смачиваемого слоя на катодах электролизеров ОА 320 кА Казахстанского электролизного завода. Технология борирования алюминия подтверждена актом внедрения.

4. Степень достоверности

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, обеспечена необходимым объемом экспериментальных лабораторных и промышленных испытаний, подтверждается применением комплекса современных физико-химических методов исследований (рентгенофазового, рентгеноспектрального, термического, электронной спектроскопии, рентгеноспектрального микроанализа), воспроизводимостью экспериментов, представлением основных положений работы на научному сообществу на Всероссийских и международных научных форумах и их публикацией в соответствующих журналах, применением в промышленности.

Основные научные результаты, полученные автором диссертации, достаточно полно отражены в 32 публикациях, в том числе в 1 монографии, 15 публикациях в рецензируемых изданиях, рекомендованных Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, прочих 4 изданиях, результаты работы доложены на 12 Международных и Российских конференциях. По теме диссертации получено 9 патентов.

5. Краткое содержание и результаты работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования.

Глава 1 посвящена рассмотрению проблем и направлений развития алюминиевой промышленности, общие и конкретные методы получения и применения керамических материалов, в том числе диборида титана для использования в конструкциях алюминиевых электролизеров.

Глава 2 посвящена разработке технологии низкотемпературного синтеза диборида титана. Изучен и установлен механизм синтеза диборида титана с получением мелкокристаллических порошков в контролируемой атмосфере. На

основе этих данных представлена технологическая модификация синтеза TiB_2 в объеме углеродистых катодов под слоем расплавленных солей.

В 3 главе представлены результаты теоретической и практической разработки технологий электрохимического синтеза покрытий диборида титана на углеродном катоде. В лабораторных условиях методом последовательного электроосаждения исходных компонентов и методом борирования композитных катодов получены смачиваемые алюминием покрытия, которые согласно данным рентгенофазового анализа и электронной микроскопии идентифицированы как индивидуальный диборид титана.

В главе 4 представлены результаты промышленных испытаний и внедрения технологии борирования примесей тяжелых металлов в составе жидкого алюминия непосредственно в электролизерах с обожженными анодами. Подтверждена техническая эффективность технологии очистки алюминия от примесей, создание на катоде смачиваемого покрытия, возможность вовлечения в производство нефтяных коксов с высоким содержанием тугоплавких металлов.

В главе 5 исследована экономическая эффективность разработанных технологий низкотемпературного синтеза диборида титана в виде порошков и электрохимических катодных покрытий применительно к действующей технологии электролиза алюминия и к электролизерам нового поколения с дренированными катодами. По показателям срока окупаемости и прибыли за увеличение срока службы электролизеров установлены оптимальные и наилучшие варианты использования разработанных авторов технологий.

Оформление диссертационной работы и автореферата оставляет самое благоприятное впечатление за счет логически выстроенного расположения материала, целостности и емкости в объеме конкретной главы, связи каждой главы друг с другом, наличия цветных иллюстраций, дополняющих восприятие материала и более полно раскрывающих сущность описываемого объекта или результата исследований. Стиль изложения – научный, технически грамотный, характеризующий высокий профессионализм автора в своей области. Текст автореферата отвечает основному содержанию диссертационной работы. Личный вклад автора заключается в его участии во всех видах диссертационного исследования, а также в оформлении патентов и подготовке публикаций к печати, апробации результатов исследований на конференциях различного уровня.

6. Замечания и вопросы

При ознакомлении с диссертационной работой соискателя Горланова Е.С. и положительно в целом ее оценивая, считаю необходимым высказать несколько вопросов и замечаний.

1) Работа соискателя в значительной степени посвящена электрохимическому способу синтеза диборида титана на углеродном катоде и созданию смачиваемого покрытия на поверхности подины электролизера методом борирования примесей тугоплавких металлов в алюминии. Но в литературном обзоре, на мой взгляд, сведения по этим вопросам раскрыты недостаточно полно.

2) Для катодов на основе диборида титана одной из основных характеристик является их смачивание жидким алюминием, что справедливо отмечается соискателем ранее при обзоре литературных источников. В то же время, в работе отсутствуют исследования смачиваемости алюминием синтезированных порошков и компактных образцов диборида титана существующими инструментальными методами (метод проекции капли, гониометрический, диаграммы отраженного света и др.).

3) Синтез диборида титана на конечной стадии проводился в условиях вакуума 1–3 кПа или в атмосфере аргона. Как автор может пояснить тот факт, что вакуума такой глубины и аргона без специальной дополнительной очистки может быть недостаточно для получения чистых порошков диборида титана без окисленной фазы (особенно в промышленных условиях)?

4) Иногда отсутствуют в тексте ссылки на рисунки, например на с.12, в некоторых случаях отсутствуют ссылки на авторов заимствованных рисунков (с. 12, 13 и 19), а иногда на некоторых рисунках встречается смесь английской и русской терминологий.

5) На некоторых микрофотографиях образцов не всегда приводится масштаб используемой съемки.

6) Встречаются не вполне корректные словосочетания, например: «Энергия образования вычитается из свободной энергии изменения изобарно-изотермического потенциала» (с.182), «плавление расплава» (с. 235), «углеродный массив с высокой интенсивностью» (с.299), «борирования расплавов электролита» (с. 348); некоторые орфографические неточности (с. 10 автореферата), вторичное введение аббревиатур (например, на с. 318).

Однако отмеченные недостатки ни в коей мере не снижают практической ценности работы и не влияют на обоснованность защищаемых положений.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Работа Е.С. Горланова представляет собой завершённое научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на достаточно высоком уровне. Диссертация «Легирование катодов аллюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов, соответствует требованиям пунктов 2.1-2.6 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм, а ее автор – Горланов Евгений Сергеевич – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

12 мая 2020 г.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
заведующая кафедрой металлургии
цветных металлов Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет»
Тел.: 8 (3952) 40-51-16;
E-mail: ninavn@istu.edu

Немчинова
Нина Владимировна

Полное наименование организации:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский национальный исследовательский технический университет»
Краткое наименование: ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»
Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83
Тел.: 8 (3952) 405-000
E-mail: info@istu.edu
Сайт: <http://www.istu.edu/>

