

Председателю диссертационного  
совета Д 212.224.03 при ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский горный  
университет», доктору технических  
наук, профессору В. М. Сизякову

---

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21  
линия, д.2, Горный университет

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора Галевского Геннадия Владиславовича 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 повышенной производительности с минимальным воздействием на окружающую среду. Разрабатываются энергосберегающие способы синтеза диборида титана методами порошковой металлургии и электрохимии на поверхности и в объеме катодов, определяются условия для эксплуатации смачиваемых твердых катодов в алюминиевых электролизерах.

### Актуальность

На основе предварительного анализа развития и современного состояния алюминиевой промышленности, степени изученности, материальной и конструктивной разработки смачиваемых катодов для электролизеров с дренированными и вертикальными электродами автором определено, 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 дренированными катодами и вертикальными инертными электродами и, в конечном итоге, определяют актуальность систематических исследований синтеза диборида титана для объемного и поверхностного легирования катодов алюминиевых электролизеров.

### 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 I (литературный обзор) посвящена рассмотрению проблем и направлений развития алюминиевой промышленности, общих и конкретных способов получения и применения керамических материалов, в том числе диборида титана для использования в конструкциях алюминиевых электролизеров.

*№108-9  
от 05.06.2010*

Глава 2 посвящена разработке технологии низкотемпературного синтеза диборида титана. Изучен и установлен механизм синтеза 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 рентгенофазовым анализом и электронной микроскопией идентифицированы как индивидуальный диборид титана  $TiB_2$  и соединения сложного состава в системе Ti-B-C.

В главе 4 представлены материалы 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, 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 критериям срока окупаемости и прибыли за срок службы электролизеров установлены оптимальные и наилучшие варианты использования разработанных технологий.

**К основным результатам** исследования Е.С. Горланова, свидетельствующим о его научной новизне можно отнести:

- Разработана и реализована технология низкотемпературного карботермического синтеза диборида титана в системе  $TiO_2-B_2O_3-C$  при температурах  $1030\div 1050^\circ C$ .
- 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  $965\div 970^\circ C$  и плотности тока  $0,7\div 0,8$  А/см<sup>2</sup> методом электрохимического борирования углеродтитановых катодов впервые синтезировано смачиваемое алюминием  $100\div 500$  мкм покрытие диборида титана.
- Испытана и внедрена технология борирования избыточных примесей ванадия в жидком алюминии на промышленных алюминиевых электролизерах ОА 320 кА Казахстанского электролизного завода с формированием на поверхности катода смачиваемого алюминием защитного слоя боридов тугоплавких металлов.

**Теоретическая и практическая значимость исследования:**

- Установлен механизм карботермического синтеза диборида титана, включающий восстановление модифицированного фтором оксида титана до его оксикарбида 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.

#### **Достоверность результатов исследования**

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, подтверждена необходимым объемом экспериментальных лабораторных и промышленных испытаний, комплексом современных физико-химических методов исследований, воспроизводимостью экспериментов, обсуждением основных положений работы на российских и международных научных конференциях 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.

Оценивая в целом положительно диссертационное исследование, проведенное Е.С. Горлановым, считаю необходимым высказать **следующие вопросы и замечания:**

- 1) В названии диссертации ощущаются определенные стилистическая и технологическая напряженность (легирование ... методом ... синтеза диборида титана) и некоторое его несоответствие структуре и содержанию работы;
- 2) Отсутствуют вольтамперные исследования, которые позволяют определить условия электролиза, стадийность и кинетические параметры изучаемых электрохимических процессов;
- 3) В главе 2 отсутствуют сведения о химическом составе и свойствах получаемого низкотемпературным синтезом нанокристаллического диборида титана: удельной поверхности, размерах и морфологии частиц изученных методом растровой электронной микроскопии, окисленности при хранении, термоокислительной устойчивости;
- 4) В главе 5 при расчете себестоимости нанокристаллического диборида титана в ее структуре не учтены расходы на содержание и эксплуатацию оборудования;

5) В главе 5 в качестве одного из вариантов технологии легирования катодов диссертант рассматривает композитную подицу  $30 \text{ TiB}_2 - 70 \text{ CG}$ . Однако для реализации такого варианта, например, в условиях электролизного производства 300 тыс. т. первичного алюминия в год требуется как минимум 60 тыс. т. диборида титана. Описанный в диссертации технологический вариант низкотемпературного синтеза диборида титана обеспечивает производство его в объеме 2,8 т/год. Технические решения по увеличению объема производства диборида титана почти в 2000 раз и требуемый объем инвестиций в диссертации не рассматриваются и не обосновываются.

Высказанные замечания оставляют в целом позитивным отношение к новизне, теоретической и практической значимости проведенного исследования.

#### **Заключение**

Работа Е.С. Горланова представляет собой завершённое научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на достаточно высоком уровне. Диссертация «Легирование катодов алюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия 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 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

#### **Официальный оппонент.**

Директор Института металлургии и материаловедения ФГБОУ ВО «СибГИУ»,  
доктор технических наук, профессор  
Тел.: (3843) 74-89-12  
E-mail: pimm@sibsiu.ru  
Дата: 25.05.2020

Галевский Геннадий  
Владиславович

Подпись Галевского Геннадия Владиславовича

#### **Заверяю:**

Ректор ФГБОУ ВО «СибГИУ»,  
доктор технических наук,  
профессор  
Дата: 25.05.2020

Протопопов Евгений  
Валентинович

Кирова ул., зд. 42, г. Новокузнецк,  
Центральный район,  
Кемеровская область – Кузбасс, 654007  
Тел.: (3843) 77-79-79, Факс (3843) 46-57-92  
E-mail: rector@sibsiu.ru  
<http://www.sibsiu.ru>  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный  
индустриальный университет»