

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО

«Иркутский национальный исследовательский  
технический университет»

доктор технических наук

М.В. Корняков

«27» марта 2020 г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу **Федорова Сергея Николаевича** по теме:  
«Разработка катодной футеровки алюминиевого электролизера, модифици-  
рованной низкотемпературным диборидом титана»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.02 – **Металлургия черных, цветных и редких  
металлов**

Диссертационная работа посвящена повышению технологичности про-  
цесса получения алюминия за счет внедрения низкотемпературного диборида  
титана в катодные блоки электролизера, тем самым увеличивая электропро-  
водимость и химическую стойкость катодной футеровки в криолит-  
глиноземном расплаве.

### 1. Актуальность темы диссертации

Современное производство алюминия требует периодическую замену  
футеровочных материалов и кожуха электролизеров в соответствии с техно-  
логическим регламентом завода по окончании срока их службы. Как правило,  
демонтаж осуществляется раз в 5-6 лет, в связи с этим стоит остро вопрос  
утилизации образующихся многотоннажных отходов. Разрабатываются раз-  
личные способы переработки и регенерации отработанной углеродсодержа-  
щей, огнеупорной частей футеровки, за счет повышения качества изготовле-  
ния конструктивных узлов электролизеров и автоматизации технологическо-

го процесса увеличивается и стабилизируется эксплуатация ванн, что позволяет свести к минимуму чрезвычайные ситуации и предупредить преждевременный выход из строя металлургического агрегата. Большое внимание научного сообщества уделено совершенствованию конструкции или модифицированию катодных углеродсодержащих блоков алюминиевых электролизеров для увеличения срока их эксплуатации. Подобные исследования начались в 50-ых годах прошлого века и продолжаются по настоящее время, поскольку до сих пор не найдены приемлемые решения данного вопроса. В частности, доказано применение диборида титана в качестве модифицирующей составляющей углеродной массы, но сложности синтеза веществ на основе титана обуславливают их ограниченное использование в промышленности.

## **2. Структура и содержание работы**

Представленная на рассмотрение диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения и списка литературы. Содержит 117 страниц машинописного текста, 44 рисунка, 16 таблиц, список источников из 147 наименований, включая патенты, научные статьи российских и зарубежных исследователей.

## **3. Основные научные результаты и их новизна заключаются в:**

- расчете термодинамических условий образования гидратированного оксида титана и экспериментального уточнения условий фазового перехода диоксида титана из модификации анатаза в рутил;
- обеспечении золь-гель методом фазообразования в системе Ti-B-C-O в интервале температур 1030-1070 °С в атмосфере воздуха, аргона и в вакууме;
- установлении зависимости при использовании композитного футеровочного материала на основе углеграфита, модифицированного низкотемпературным диборидом титана; при этом наблюдается эффект повышения смачиваемости поверхности катодного блока со снижением удельного электросопротивления на границе раздела фаз и катодного блока в целом;
- выявлении природы повышения смачиваемости алюминием поверхности углеграфитовых катодных блоков, модифицированных низкотемпературным диборидом титана, связанной с образованием карбооксидной пленки сложного химического состава.

#### **4. Практическая значимость**

Автором показано расширение возможности использования диборида титана, что обуславливается на основе упрощения технологии его синтеза. В частности, было рассмотрено применение тугоплавкого вещества в составе катодных блоков алюминиевых электролизеров, внедрение которого обеспечивает снижение расхода электроэнергии на 940-990 кВт·ч на 1 т Al, что составляет 7,1-7,5 % экономии. Рекомендации по использованию диборида титана, полученного методом низкотемпературного синтеза, заключаются в изготовлении комплексного катодного блока – углеграфитовый материал (УГМ)- $TiB_2$ , включающего подготовку исходных материалов посредством прокалки антрацита и нефтяного кокса в электрокальцинаторе при температуре от 1000 до 1500 °С в течение 4 ч, перемешивание полученного продукта с УГМ, каменноугольным пеком и модифицирующей добавкой диборида титана в количестве от 7,5 до 12,5 масс. %. Данный комплексный огнеупорный материал можно использовать в других сферах, где требуется высокая электропроводимость, стойкость к агрессивным средам и высокая механическая прочность.

#### **5. Достоверность и апробация результатов**

Работа выполнена на современном теоретическом и экспериментальном уровне с использованием современных методов анализа. Теоретические исследования основаны на изучении физико-химических закономерностей взаимодействия компонентов титанового сырья, борной кислоты и восстановительного агента, взаимодействия катодных блоков, состоящих из углеграфитовой массы и  $TiB_2$ , с криолит-глиноземным расплавом.

Материалы диссертации неоднократно докладывались на международных конференциях и научных форумах различного уровня, опубликованы в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ, а также в изданиях, входящих в наукометрическую реферативную базу данных «Scopus».

Личный вклад автора заключается в постановке цели, формулировке задач и разработке методики исследований; проведении анализа научно-технической литературы и патентного обзора; выполнении лабораторных исследований и разработке технических решений, адаптированных к условиям действующего производства алюминия; создании экспериментальной установки синтеза диборида титана, проведении экспериментов и обработке ре-

зультатов лабораторных исследований; научном обобщении результатов, их публикации и апробации.

## **6. Общая оценка диссертации, вопросы и замечания**

Оформление диссертации производит благоприятное впечатление, представленные графические зависимости и табличные материалы достаточно полно отражают полученные автором результаты. Текст изложения диссертации – научный, технически грамотный. Все главы содержат выводы, по которым можно судить о завершенности раздела и решении задач на конкретном этапе исследования. Приведенные в работе рисунки выполнены качественно, многие – в цвете, полноценно дополняют текстовую информацию. Поставленные в диссертации задачи решены в полном объеме. Автореферат отвечает основному содержанию работы. Представляет интерес разработанная автором лабораторная установка для проведения экспериментальных работ.

При ознакомлении с текстом диссертации и авторефератом возникли следующие *вопросы и замечания*.

1. Автором по тексту работы не указан объект сравнения при изучении повышения смачиваемости поверхности подины алюминием?

2. Почему, по мнению автора, в настоящее время не реализуются способы низкотемпературного синтеза диборида титана, несмотря на очевидный преимущества?

3. С чем связано ограниченное использование диборида титана в производстве алюминия?

4. На с. 14 автореферата (с. 69 диссертации) при описании реакций (8), (9) автор пишет, что содержание оксида бора и углерода выше стехиометрических коэффициентов, но насколько конкретно – не указано.

5. При использовании для подтверждения полученных результатов эксперимента по электрохимическому борированию углеродтитановой катодной поверхности метода РФА (с. 84 диссертации) помимо фото поверхности образца (в режиме СОРРО) привести также и таблицу химического состава изученных точек.

6. В диссертационной работе отсутствуют данные по увеличению или сокращению срока эксплуатации катодной углеграфитовой футеровки, мо-

дифицированной низкотемпературным диборидом титана. Может ли автор обозначить приблизительное время использования предлагаемой усовершенствованной футеровки?

7. С экономической точки зрения катоды, содержащие диборид титана, не окупают себя за период эксплуатации электролизера, о чем также упоминает автор в первой главе. Целесообразно ли в этом отношении применение низкотемпературного диборида титана, предлагаемого автором диссертации к внедрению?

8. По тексту работы и автореферата встречаются незначительные стилистические, фразеологические и пунктуационные неточности: неудачные выражения («электролиз алюминия», «внедрение...катодной футеровки ...обеспечивает...» (с. 19 автореферата), использование единиц измерений не в системе СИ («атм»), использование разных обозначений одного и того же свойства («электропроводность» и «электропроводимость»), введение дважды одной и той же аббревиатуры (с. 6 автореферата) и др.

### **7. Заключение**

Диссертация, представленная на отзыв, в полном объеме отражает результаты выполненных автором теоретических и лабораторных исследований по получения катодных блоков, модифицированных диборидом титана; работа хорошо проиллюстрирована, приведены таблицы и рисунки, полностью отражающие полученные автором результаты.

Полученные автором в диссертационной работе результаты имеют существенную значимость для алюминиевой отрасли ввиду технологических предложений по использованию модифицированных блоков катодной футеровки, способствующих снижению удельного расхода электроэнергии энергоемкого процесса получения алюминия электролизом криолит-глиноземного расплава.

Диссертационная работа Федорова Сергея Николаевича по теме: «Разработка катодной футеровки алюминиевого электролизера, модифицированной низкотемпературным диборидом титана» соответствует паспорту специальности 05.16.02, в полной мере соответствует критериям, установленным разделом 2 «Положения о присуждении ученых степеней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образова-

ния «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839адм, является законченной научно-квалификационной работой, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв на диссертационную работу Федорова Сергея Николаевича обсуждался и был одобрен на заседании кафедры металлургии цветных металлов ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Присутствовало на заседании 12 чел., результаты голосования: «за» – 12, «против» – нет, «воздержались» – нет; протокол заседания № 8 от «12» марта 2020 г.

Председатель заседания,  
д.т.н., проф.,  
заведующая кафедрой  
металлургии цветных металлов



Немчинова Нина Владимировна

Отзыв подготовила д.т.н., проф.,  
заведующая кафедрой  
металлургии цветных металлов



Немчинова Нина Владимировна

Секретарь заседания,  
к.х.н., доц.,  
доцент кафедры металлургии  
цветных металлов



Кузьмина Марина Юрьевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»  
Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,  
Телефон: +7 (3952) 405-100, 405-009, 405-116  
E-mail: info@istu.edu, kafmcm@istu.edu  
Сайт: www.istu.edu