

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.03,  
созданного Федеральным государственным бюджетным образовательным  
учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»  
Минобрнауки России  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 11.09.2020 № 34

О присуждении **Федорову Сергею Николаевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка катодной футеровки алюминиевого электролизера, модифицированной низкотемпературным диборидом титана» по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов принята к защите 12.02.2020 года, протокол № 16 диссертационным советом ГУ 212.224.03 Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, приказ ректора Горного университета от 25.06.2019 №836 адм.

Соискатель **Федоров Сергей Николаевич**, 1992 года рождения, в 2015 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский национальный исследовательский технический университет" г. Иркутск по направлению 150102 «Metallургия цветных металлов»; аспирант очной формы обучения кафедры metallургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, диплом об окончании аспирантуры выдан 17.06.2019.

Диссертация выполнена на кафедре metallургии в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Бажин Владимир Юрьевич**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, кафедра автоматизации технологических процессов и производств, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

**Сабирзянов Наиль Аделевич**, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория химии гетерогенных процессов, заведующий лабораторией;

**Юшкова Ольга Васильевна**, кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт цветных металлов и материаловедения, лаборатория кафедры «Metallоведение и термическая обработка металлов им. В.С. Биронта», заведующая лабораторией;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»** г. Иркутск в своем положительном отзыве, подписанном Немчиновой Ниной Владимировной, доктором технических наук, профессором, заведующей кафедрой металлургии цветных металлов; Кузьминой Мариной Юрьевной, кандидатом химических наук, доцентом кафедры металлургии цветных металлов; указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны эффективные технические решения по синтезу диборида титана низкотемпературным методом, а также его внедрению в катодные блоки алюминиевого электролизера для снижения удельного электрического сопротивления.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 14 печатных трудах, в том числе в 5 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК), в 6 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus; получен 1 патент РФ. Общий объем – 5,06 печатных листов, в том числе 2,6 печатных листов – соискателя. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

В изданиях из Перечня ВАК:

1. **Федоров, С.Н.** Низкотемпературное фазообразование в системе Ti-V-C-O / **С.Н. Федоров**, Е.С. Горланов, В.Ю. Бажин // Новые огнеупоры. – 2017. – № 3. – С. 40.

Личный вклад соискателя заключается в статистической обработке экспериментальных значений и анализе полученных результатов.

2. **Федоров, С.Н.** Низкотемпературное фазообразование в системе Ti-V-C-O / **С.Н. Федоров**, Е.С. Горланов, В.Ю. Бажин // Цветные металлы. – 2017. – № 8. – С. 76-82.

Личный вклад соискателя заключается в проведении экспериментов и подготовке текста статьи.

3. **Федоров, С.Н.** Фор-опыт по стабилизации анатаза  $TiO_2$  Cl-ионом, полученным из  $TiCl_4$  / **С. Н. Федоров**, В. Ю. Бажин, В. В. Васильев, Р. В. Куртенок // Новые огнеупоры. – 2018. – № 4. – С. 57.

Личный вклад соискателя заключается в проведении литературного обзора и подготовки эксперимента альтернативного допирования анатаза.

В издании, индексированном в международной базе Scopus:

1. **Fedorov, S.N.** Carbide formation at a carbon-graphite lining cathode surface wettable with aluminum / **S.N. Fedorov**, E.S. Gorlanov, V.Yu. Bazhin // Refractories and Industrial Ceramics. – 2016. – Vol., 57. No. 3. – P. 292-296.

Личный вклад соискателя заключается в статистической обработке экспериментальных значений и анализе полученных результатов.

2. **Fedorov, S.N.** Carbothermic synthesis of titanium diboride: upgrade / **S.N. Fedorov, E.S. Gorlanov, V.Yu. Bazhin** // Journal of Siberian Federal University «Chemistry». – 2018. – 11 (2). – P. 156-166.

Личный вклад соискателя заключается в разработке методик, лабораторной установки и проведении лабораторных исследований по синтезу диборида титана.

3. **Fedorov, S.N.** Doping Titanium Dioxide by Fluoride Ion / **S.N. Fedorov, V.Yu. Bazhin, V.G. Povarov** // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 946. – P. 181-185.

Личный вклад соискателя заключается в разработке методик и проведении лабораторных исследований по допированию фтор-ионом.

4. **Fedorov, S.N.** Energy efficiency in primary aluminium industry / **S.N. Fedorov, P.S. Palyanitsin** // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – P. 1-6.

Личный вклад соискателя заключается в проведении литературного обзора, калькуляции расхода электроэнергии на получение 1 т алюминия.

В прочих изданиях:

1. **Федоров, С.Н.** Низкотемпературный синтез диборида титана / **С.Н. Федоров, Е.С. Горланов, В.Ю. Бажин** // IX Международный конгресс «Цветные металлы и минералы-2017»: сборник докладов. – 2017. – С. 208-209.

Личный вклад соискателя заключается в разработке методики проведения эксперимента для низкотемпературного синтеза диборида титана.

Патенты на изобретения:

1. Патент 2684381 Российская Федерация, МПК C01B 35/04, C01G 23/00, B22F 9/18. Способ получения порошка диборида титана / Сизяков В.М., Бажин В.Ю., Виленская А.В., **Федоров С.Н.**; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет". – № 2018100505; заявл. 09.01.2018; опубл. 08.04.2019, Бюл. № 10. – 8 с.

Личный вклад соискателя заключается в проведении экспериментов, стратификации полученных данных, подготовке текста патента.

В диссертации Федорова С.Н. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Апробация диссертационной работы проведена на научно-практических мероприятиях, в том числе на: «Ежегодной международной конференции огнеупорщиков и металлургов» (Москва, 2017, 2018), на научно-практической конференции с международным участием «Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов» (Иркутск, 2017, 2018), во Фрайбергской Горной Академии на форуме молодых ученых «Металлургия, наука о материалах» (Германия, Фрайберг, 2017), на IX Международном конгрессе «Цветные металлы и минералы-2017» (Красноярск, 2017), на конференции «Saint-Petersburg OPEN 2018» V международная школа и конференция по оптоэлектронике, фотонике, инженерии и наноструктурам

(Санкт-Петербург, 2018), на VI международной конференции по управлению промышленными и опасными отходами (Греция, Ханья, 2018).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: научного руководителя ФГБУН Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН, д.т.н., профессора **Ю.П. Зайкова** и старшего научного сотрудника лаборатории электродных процессов ФГБУН Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН, к.т.н. **А.В. Суздальцева**, Президента Ассоциации литейщиков Санкт-Петербурга и Ленинградской области (ЛенАЛ), д.т.н. **С.С. Ткаченко**, генерального директора ООО «Эксперт-Ал», к.т.н. **С.А. Никифорова**, научного сотрудника ООО «РУСАЛ ИТЦ», к.х.н. **В.А. Баянова**, зам. директора по науке и инновациям ООО «Технолит», к.т.н. **Ю.В. Андреева**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и научный подход к решению поставленных задач, однако по работе имеются замечания и вопросы:

1. Отсутствие обозначений кинетических зависимостей в подписи на рисунке 1 затрудняет восприятие материала (к.х.н. Баянов В.А.).

2. На рисунке 2 присутствует 2 экзотермических эффекта (при 566,74°C и 756,58°C), которые автор относит к одному и тому же фазовому переходу анатаз→рутил, что некорректно (к.х.н. Баянов В.А.).

3. На рисунке 4 каким фазовым превращениям соответствует ряд наблюдаемых эндо-эффектов? (к.х.н. Баянов В.А.).

4. Рассматривалось ли модифицирование диборидом титана только поверхности, а не всего объема футеровочного материала подины, например, с целью сокращения требуемого количества вводимого модификатора? (к.х.н. Баянов В.А.).

5. Планируется ли проведение опытов по износостойкости и сопоставлению сроков службы модифицированных катодных блоков и промышленно применяемых? (к.х.н. Баянов В.А.).

6. Стр. 9 – Известны способы нанесения боридных покрытий непосредственно из криолит-глиноземных расплавов при 960-990 С (RU2486292, публ. 27.03.2013, RU2299278, публ. 20.05.2007). В чем преимущество разрабатываемых автором катодных футеровок? (д.т.н. Зайков Ю.П.)

7. Рис. 2 – Какой процесс протекает в области температур от 500 до 566 °С с выделением тепла? (д.т.н. Зайков Ю.П.)

8. Стр. 9 – Какими методами показано участие соединений  $\alpha$ -TiO<sub>2</sub>F, TiOF<sub>2</sub>, TiVO<sub>3</sub> в схеме синтеза TiB<sub>2</sub>? (д.т.н. Зайков Ю.П.)

9. Стр. 14, 18 – Заявленное электрическое сопротивление образцов C-TiB<sub>2</sub> достигается в том числе за счет прессования смеси. Использовалось ли связующее при этом и предполагается ли использовать данную операцию в рамках промышленно реализации? (д.т.н. Зайков Ю.П.)

10. Стр. 18 – Из автореферата прослеживается два варианта создания/защиты катодной футеровки: твердофазный химический синтез и

электрохимическое осаждение диборида титана на углерод. Какой из вариантов автор считает предпочтительным? (д.т.н. Зайков Ю.П.)

11. При синтезе диборида титана низкотемпературным методом автор получал в некоторых случаях соединения оксикарида титана. Где можно было бы использовать оксикарида титана? (д.т.н. Ткаченко С.С.)

12. На рисунке 6 указан некорректно размер образца катодного блока 2 мм, хотя далее по тексту обозначено 20 мм. В чертежах размеры приводятся в миллиметрах согласно ГОСТу (д.т.н. Ткаченко С.С.)

13. На рисунках 2 и 4 показаны термограммы фазовых превращений диоксида титана. При какой температуре возможно образование брукита, помимо анатаза и рутила, обозначенных на этих рисунках? (к.т.н. Никифоров С.А.).

14. Страница 14 – по тексту указан размер катодного блока 50-60 мм высотой и 20 мм в диаметре, а на чертеже указан диаметр 2, выбрана неправильная размерность на чертеже (к.т.н. Никифоров С.А.).

15. На странице 15 автор утверждает, что содержание диборида титана в катодных блоках более 15 % неэффективно, поскольку большее значение несущественно влияет на уменьшение УЭС и смачиваемость алюминием. Просьба ответить на вопрос: до каких значений содержания модифицирующей добавки проводились исследования, и какие результаты были достигнуты? (к.т.н. Андреев Ю.В.).

16. Почему при экспериментах по электролизу алюминия использовалась ячейка с перевернутым положением анода и катода? В промышленности анод располагается в расплаве КГР, а катод в нижней части электролизного агрегата (к.т.н. Андреев Ю.В.).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** компетентностью оппонентов в соответствующей отрасли науки и наличием у них публикаций в сфере исследования, а также широкой известностью ведущей организации своими достижениями по соответствующей теме исследования отрасли наук и способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**определено**, что применение золь-гель метода обеспечивает направленное фазообразование в системе Ti-B-C-O в интервале температур 1030-1070 °С в атмосфере воздуха, аргона и в условиях среднего вакуума;

**рассчитаны** термодинамические условия образования гидратированного оксида титана и экспериментально уточнены условия фазового перехода диоксида титана из модификации анатаза в рутил;

**разработан и обоснован** способ низкотемпературного синтеза диборида титана в системе Ti-B-C-O в интервале температур 1030-1070 °С в условиях среднего вакуума (Пат. 2684381 Российская Федерация);

**выявлена** природа повышения смачиваемости алюминием поверхности углеродистых катодных блоков, модифицированных низкотемпературным

диборидом титана, связанная с образованием карбоксидной пленки сложного состава на основе системы Al-Ti-B-O-C.

**предложены** технические и практические решения по синтезу диборида титана, обеспечивающие упрощение и, как следствие, снижение себестоимости конечного продукта, расширяя возможное использования модифицирующей добавки в углеграфитовых катодных блоках алюминиевых электролизеров.

**реализован** способ модернизации углеграфитовой массы катодной футеровки алюминиевых электролизеров, обеспечивающий повышение электропроводимости катодных блоков и срока службы металлургических агрегатов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** результаты получены с использованием апробированных известных методик измерения на поверенном оборудовании на базе лаборатории кафедры металлургии и ЦКП Горного университета;

**идея** базируется на разработке способа получения порошка диборида методом низкотемпературного синтеза и подготовке смеси модифицированного катодного блока для проведения электролиза алюминия;

**проведено** техническое обоснование применения диборида титана через сравнение традиционного блока с модифицированным образцом;

**установлена** сходимость лабораторных исследований с теоретическими исследованиями;

**использованы** современные методы сбора и обработки исходной информации, представительные совокупности данных с обоснованием подбора объекта наблюдений и измерений.

**Личный вклад автора состоит в:** формулировке целей, постановке задач и разработке методики исследований; в проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; выполнении лабораторных исследований; разработке технических решений, научном обобщении полученных результатов и подготовке публикаций.

На заседании 11.09.2020 года диссертационный совет принял решение присудить Федорову С.Н. ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-технической задачи – повышение электропроводимости катодной футеровки алюминиевых электролизеров.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 – докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из – 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.



Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

11.09.2020

Сизяков Виктор Михайлович

Бодуэн Анна Ярославовна