

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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 18.09.2020 № 37

О присуждении **Горланову Евгению Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Легирование катодов алюминиевых электролизеров методом низкотемпературного синтеза диборида титана» по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов принята к защите 17.03.2020 года, протокол № 17 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 **Горланов Евгений Сергеевич**, 1958 года рождения, в 1986 г. окончил Ленинградский ордена Ленина политехнический институт им. М.И. Калинина по специальности «Metallургия цветных металлов». Решением Совета в Санкт-Петербургском государственном техническом университете присуждена ученая степень кандидата технических наук 11 января 1993 г. Выдан диплом кандидата технических наук КД № 074793. С 2004 года и по настоящее время работает в ООО «Эксперт-Ал» в должности зам. генерального директора.

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

Официальные оппоненты:

Поляков Петр Васильевич, доктор химических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», институт цветных металлов и материаловедения, кафедра металлургии цветных металлов, профессор;

Галевский Геннадий Владиславович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет», директор института металлургии и материаловедения, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов и химической технологии;

Немчинова Нина Владимировна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический

университет», институт высоких технологий, заведующая кафедрой металлургии цветных металлов;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»** г. Екатеринбург в своем положительном отзыве, подписанным Мамяченковым Сергеем Владимировичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой металлургии цветных металлов, Маковской Ольга Юрьевна – секретарем заседания и утвержденным Кружаевым Владимиром Венедиктовичем, первым заместителем проректора по науке указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны эффективные технические решения для проектирования алюминиевых электролизеров нового поколения с дренированными катодами и вертикальными электродами, в том числе синтез диборида титана, борирование углеродтитановых катодов, а также внедрена технология борирования избыточных примесей ванадия в жидком алюминии на промышленных алюминиевых электролизерах.

Соискатель имеет 32 печатных работы, в том числе 1 монография, 31 статья, из них в 13 – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), (из них 7 публикаций входят в базы цитирования Scopus, WoS), в 1 статье – в издании, входящем в международные базы данных и системы цитирования Scopus, в 1 статье – в издании, входящем в международные базы данных и системы цитирования WoS; получено 9 патентов. Общий объем – 15,7 печатных листов, в том числе 11,3 печатных листов – соискателя.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

В изданиях из Перечня ВАК:

1. Gorlanov, E.S. Development of Technology for Producing a Wettable Coating on a Carbon Cathode by Electrodeposition / E.S. Gorlanov, G.V. Arkhipov // Light Metals. 2012. P. 1367–1372. (Springer).

Соискателем представлены результаты теоретической разработки и экспериментального получения титаносодержащих покрытий на углеграфитовых материалах.

2. Горланов, Е.С. Низкотемпературное фазообразование в системе Ti-B-C-O / Е. С. Горланов, В.Ю. Бажин, С. Н. Федоров // Цветные металлы. – 2017. – №8. – С.76–81. (ВАК, Scopus).

Соискателем проведен анализ литературных источников, представлены результаты получения тугоплавких соединений в системе Ti-B-C-O в лабораторных условиях.

3. Горланов, Е. С. Карботермический синтез диборида титана: апгрейд / Е. С. Горланов, В.Ю. Бажин, С. Н. Федоров // Журнал СФУ. Техника и технология. – 2018. – №11. – С.156-166. (ВАК).

Представлены результаты исследований механизма карботермического синтеза диборида титана.

4. Горланов, Е.С. К вопросу о низкотемпературном синтезе диборида титана /Е.С. Горланов, В.Л. Уголков // Вестник ИРГТУ. Metallurgy and materials science. – 2018. – №2. – С. 153-165. (ВАК).

Представлены результаты исследований синтеза диборида титана методом термического анализа.

5. Горланов, Е.С. Особенности применения твердых электродов для электролиза криолитоглиноземных расплавов / Е.С. Горланов // Вестник ИРГТУ. Metallurgy and materials science. – 2019. – Т. 23. – №2. – С. 356-366. (ВАК).

Соискателем проведен анализ зарубежных и отечественных литературных источников, описывающих проблемы использования инертных электродов в электролизерах нового поколения. Представлены результаты лабораторных исследований механизма электрохимического восстановления бора, титана и алюминия на поверхности твердых электродов.

В издании, индексированном в международной базе Scopus:

1. Горланов, Е.С. Испытания обожженных анодов с повышенным содержанием ванадия / Е. С. Горланов, А. А. Батраченко, Б. Ш. Смайлов, А. П. Скворцов // Metallurg. – 2018. – № 1. – С.67–73. (ВАК, Scopus, WoS).

Представлены результаты испытаний анодов с повышенным содержанием ванадия.

2. Горланов, Е.С. Роль ванадия в расплавах алюминиевых электролизеров / Е.С. Горланов, А.А. Батраченко, Б. Ш.-А. Смайлов, А. Ю. Морозов // Metallurg. – 2018. – № 10. – С.58–61. (ВАК, Scopus).

Соискателем проведен анализ зарубежных и отечественных литературных источников, описывающих влияние примесей на производительность алюминиевых электролизеров. Представлены результаты промышленных исследований воздействия ванадия на технологические параметры электролиза криолитоглиноземных расплавов.

3. Gorlanov, E.S. The mechanism of titanium diboride low-temperature synthesis / E.S. Gorlanov // Non-ferrous Metals. – 2019. – Vol.47. - №2. – P. 38–42. (ВАК, Scopus).

Соискателем представлены результаты исследований механизма карботермического синтеза диборида титана.

В прочих изданиях:

1. Gorlanov, E.S. Nano- and the Microdimensional Coats Polycrystal Titanium-Containing the Bases a Method of Electrochemical Boronizing / E.S. Gorlanov, V.Yu. Bazhin // Smart Nanocomposites. USA, Nova Science Publishers, Inc. – 2016. – Vol.7. - № 1. – P.75-88.

2. Горланов, Е.С. Разработка технологии создания Al-смачиваемого покрытия на углеродном катоде. Часть 1-4. / Е.С. Горланов, Г.В. Архипов, А.М.

Иванова // Сб. научн. статей XXXI Междун. конф. «ИКСОБА» и XIX Междун. конф. «Алюминий Сибири» / Под ред. П.В. Полякова и А.В. Панова – Красноярск: Версо, 4-6 сентября 2013 г. – С.634-692.

3. Горланов Е.С. Электролиз криолито-глиноземных расплавов на твердых катодах / Е.С. Горланов // Сборник докладов XI Международного конгресса «Цветные металлы и минералы» и XXXVII Междун. конф. «ИКСОБА» - Красноярск, 16-20 сентября 2019. – С.275-288.

Патенты на изобретения:

1. Патент 2337184 Российская Федерация, МПК7 С25С 3/08. Способ получения и поддержания защитного смачиваемого покрытия на углеродистых блоках катодного устройства электролизёра для производства алюминия / Е.С. Горланов: Общество с ограниченной ответственностью «Эксперт-Ал». – № 2006142406/02; заявл. 30.11.2006; опубл. 27.10.2008 Бюлл. №30 – 11 с.

2. Личный вклад соискателя заключается в проведении промышленных экспериментов, подготовке текста патента.

3. Патент 2486292. Российская Федерация, МПК С 25 С3/06. Способ создания смачиваемого покрытия углеродной подины алюминиевого электролизера / Архипов Г.В., Горланов Е.С., Шайдулин Е.Р., Манн В.Х., Штефанюк Ю.М.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Объединенная Компания РУСАЛ Инженерно-технологический центр". - № 2012105729/02; заявл. 17.02.12; опубл. 27.06.13, Бюл. №18 – 13 с.

4. Личный вклад соискателя заключается в проведении лабораторных экспериментов, подготовке текста патента.

5. Патент 2603407 РФ. МПК В22F 9/18, С01В 35/04, С01G 23/00. Способ получения порошка диборида титана /Е.С. Горланов, В.Ю. Бажин, А.В. Смань./ ООО "Эксперт-Ал"-2015107637/02, опубл. 30.04.2015.–опубл. 27.11.2016, Бюлл. № 33.–12 с.

6. Личный вклад соискателя заключается в проведении лабораторных экспериментов, подготовке текста патента.

7. Патент 2699604. Российская Федерация, С 25 С3/06. Способ производства алюминия электролизом расплавленных солей / Е.С. Горланов, А.А. Батраченко, Б.Ш. Смайлов / ООО "Эксперт-Ал", АО «КЭЗ». - 2018126446/02, опубл. 17.07.2018. – опубл. 06.09.2019, Бюлл. № 25. – 16 с.

Личный вклад соискателя заключается в проведении промышленных экспериментов, подготовке текста патента.

В диссертации Горланова Е.С. 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: Междунар. конференции «Производство глинозёма, алюминия и легких сплавов» (18-21 сентября 1990 г., Ленинград); на 7th International congress of ICSOBA (22-26 June 1992., Hungary); на XII Международной конференции "Алюминий Сибири" (16-19 сентября 2006 г.,

Красноярск); на XXXI Междунар. конференции «ИКСОБА» и XIX Междунар. конференции «Алюминий Сибири» (4-6 сентября 2013 г., Красноярск); на International seminar-Symposium "Nanophysics and Nanomaterials" (24-25 september 2015, Saint-Petersburg); на XV Международной конференции огнеупорщиков и металлургов (6-7 апреля 2017 г., Москва); на VII Всероссийской научно.-практ. конференции с междунар. участием. Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов (19-20 апреля, 2017 г., Иркутск); на IX Международном конгрессе «Цветные металлы и минералы» (11-15 сентября 2017 г., Красноярск.); на International symposium "Nanophysics and nano-engineering 2017" (in «Applied Aspects of Nanophysics and Nano-Engineering», New York, 2019); на Scientific Reports on Resource Issues. «Metallurgy, material science». TU Bergakademie (9-22 June 2017, Freiberg, Germany); на Sixth International Conference on Industrial & Hazardous Waste Management Chania (4-7 September 2018, Crete, Greece); на XI Международном конгрессе «Цветные металлы и минералы» и XXXVII Междун. конф. «ИКСОБА» (16-20 сентября 2019, Красноярск).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: зав. лаб. химии гетерогенных процессов, ФГУБН «Институт химии твердого тела» УрО РАН, г.н.с., д.т.н. **Н.А. Сабирзянова**; советника АО «РУССКИЙ АЛЮМИНИЙ Менеджмент», д.т.н. **В.А. Крюковского**; пенсионера, д.т.н. **Э.А. Янко**; руководителя группы моделирования Департамента Разработки и Продажи Технологий, Дубай Алюминий PJSC, EGA, к.т.н. **А.Г. Архипова**; вице-президента по производству АО «Казахстанский электролизный завод» **Б.Ш. Смайлова**; председателя Совета Директоров ООО «АЛКОРУС ИНЖИНИРИНГ», к.т.н. **С.Н. Ахмедова**; зав. лаб. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов им. В.С. Биронта» Института цветных металлов и материаловедения, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский Федеральный Университет», к.т.н, ст. преподавателя **О.В. Юшковой**; профессора кафедры композиционных материалов и физико-химии металлургических процессов, институт цветных металлов и материаловедения, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», д. ф.-м. н., профессора **И.С. Якимова**.

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. Как влияет на токовый режим электролизера образование на катоде слоя боридов примесных тугоплавких металлов? (д.т.н. Сабирзянов Н.А.).
2. Как влияет борирование электродов на содержание бора в металлическом алюминии? (д.т.н. Сабирзянов Н.А.).
3. П. 4 раздела «Научная новизна» (стр. 5 автореферата): «испытана и внедрена технология...» вряд ли можно отнести именно к научной новизне.

Кроме того, он текстуально совпадает с п.6 раздела «Теоретическая и практическая значимость» (стр.6) (д.т.н. Сабирзянов Н.А.).

4. Отсутствуют вольтамперные исследования, которые позволяют определить условия электролиза, стадийность и кинетические параметры изучаемых электрохимических процессов синтеза диборида титана (д.т.н. Крюковский В. А.).

5. Недостаточно глубоко проанализированы причины промышленного неиспользования технологии дренированных катодов, испытания которых в Comalco, Kaiser и др. заканчивались с положительными результатами (д.т.н. Крюковский В. А.)

6. В расчете экономической эффективности необходимо обоснование величины ожидаемого снижения МПР для различных технологий (д.т.н. Крюковский В. А.).

7. Существует ли на данный момент альтернатива методу микроборирования металлсодержащей катодной поверхности с целью разработки технологии электролизеров с вертикальными электродами, в том числе с инертным анодом (д.т.н. Янко Э. А.).

8. Композиция диборид титана – углеграфитовый материал (TiB_2-CG) может быть приготовлена в любых соотношениях с использованием предварительно синтезированного TiB_2 . В каком соотношении между основными компонентами в композиции будет получаться ее изготовление с применением исходной реакционной смеси $TiO_2-B_2O_3-CG$ (стр.149-151, раздел 2.3.4 диссертации) (д.т.н. Янко Э. А.).

9. При испытаниях обожженных анодов с высоким (до 650 ppm) содержанием ванадия применялось борирование этого элемента непосредственно в алюминии в процессе работы электролизёров. С каким максимальным содержанием примесей ванадия могут использоваться нефтяные коксы для изготовления ОА и возможно ли удаление высоких концентраций примесей других металлов – титана, железа, марганца и др. (д.т.н. Янко Э. А.).

10. Не ясно за счет чего возможно снижение МПР на действующих электролизерах с ОА или Содерберг, т. к. смачивание подины алюминием не должно оказывать влияние на МГД стабильность электролизера (к.т.н. Архипов А. Г.).

Также не представляется возможным снижение МПР для современных электролизеров с хорошо скомпенсированным магнитным полем токоподводящей ошиновкой даже на 0.5 см, ввиду того что такие электролизеры уже работают с МПР ниже 3 см и дальнейшее снижение МПР приведет к значительному падению выхода по току из-за близости восстановленного алюминия к пузырьковому слою под анодом. Поэтому главный и существенный экономический эффект ожидается за счет увеличения срока службы, т.к. стоимость перефутеровки одного современного высокоамперного электролизера составляет несколько сот тысяч долларов.

11. Смачиваемый слой диборида титана получен путем борирования углеродтитановых катодов при катодной плотности тока 0,7-0,8 А/см². Как

известно плотность тока на поверхности катодного блока очень неоднородна в отличие от анодной и увеличивается по направлению от центра катодных блоков к бортовым стенкам и может достигать на границе с настылью значений более 2 А/см² где и происходит максимальная эрозия. Применительны ли результаты полученные в ходе экспериментов при 0,7-0,8 А/см² к более высоким плотностям тока наблюдаемых в промышленных электролизерах? (к.т.н. Архипов А. Г.).

12. Не вполне понятным и достаточно доработанным является способ синтеза диборида титана под слоем расплавленных солей (Смайлов Б.Ш.).

13. При положительном эффекте борирования алюминия и очистке от примесей тугоплавких металлов непосредственно в электролизере не в полной мере решены вопросы ликвационного накопления боридов этих металлов на подине миксеров литейного отделения (Смайлов Б.Ш.).

14. Не в достаточной степени показана и доказана возможность создания композиций Углерод – Диборид титана методом низкотемпературного синтеза (к.т.н. Ахмедов С. Н.).

15. Для доказательства механизмов формирования прослойки электролита между алюминием и поверхностью катода необходимо проведение специальных инструментальных исследований (к.т.н. Ахмедов С. Н.).

16. Не вполне убедительно показано наличие смачиваемого алюминием вязкотекучего слоя боридов и карбидов тугоплавких металлов на подине электролизера, расплавы которого подвергались микроборированию (к.т.н. Ахмедов С. Н.).

17. В автореферате отмечено, что технология непрерывного легирования борированием композитного катода применима для разных типов электролизеров, включая новые. Однако, исследования по легированию выполнены для стандартных рабочих температур электролиза (~ 950°C) и неясно, возможно ли использование технологии непрерывного легирования борированием при существенном снижении рабочих температур в энергосберегающих технологиях электролиза с использованием низкотемпературных, напр., калий - содержащих электролитов, активно разрабатываемых для новых типов электролизеров (д. ф.-м. н. Якимов И. С.).

18. Неясно, вызваны ли скачки содержания фаз В₂О₃ и Са₃(ВО₃)₂ на графиках рисунка 2.1 изменениями состава электролита или это погрешность их количественного анализа методом РФА (д. ф.-м. н. Якимов И. С.).

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 технология поверхностного легирования композитных катодов методом борирования открывает перспективы ее применения для действующего производства и электролизеров нового поколения с дренированными катодами и вертикальными электродами.

рассчитаны термодинамический ряд напряжения разложения простых и сложных оксидов, а также уровни деполяризации от взаимодействия осаждаемых на углеродном катоде компонентов; энергия Гиббса индивидуальных соединений TiC_xO_{1-x} и $TiBO_3$ при 1300К; толщина прослойки электролита между слоем алюминия и поверхностью катодов углеродного, диборидтитанового, карбидтитанового и их композиций в зависимости от уровня расплава, температуры, диаметра пор; экономическая эффективность разработанных технологий низкотемпературного синтеза диборида титана, борирования углеродтитановых катодов, борирования примесей жидкого алюминия.

разработан и обоснован способ низкотемпературного синтеза диборида титана при 1030-1050°C; способ борирования углеродтитанового катода; способ борирования примесей тугоплавких металлов в составе жидкого алюминия;

выявлены механизм карботермического синтеза диборида титана; механизм формирования смачиваемого алюминием TiB_2 слоя методом борирования углеродтитановых катодов; механизм пассивации твердых поликристаллических катодов и на этом основании

предложены технические и практические решения по созданию смачиваемых покрытий на углеродном катоде, предложения по ведению электролиза с применением твердых катодов;

реализован (внедрен) способ борирования примесей тугоплавких металлов в составе жидкого алюминия в масштабе алюминиевого завода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием апробированных известных методик измерения на поверенном оборудовании на базе лаборатории кафедры композиционных материалов и физико-химии металлургических процессов СФУ (г. Красноярск) и лаборатории кафедры металлургии и ЦКП Горного университета;

идея базируется на разработке способа борирования композиционных катодов непосредственно в течение электролиза криолитоглиноземных расплавов;

проведено техническое и экономическое обоснование применения технологий синтеза диборида титана, способов борирования катодной поверхности и примесей жидкого алюминия;

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; проведении анализа научно-технической литературы и патентного поиска; разработке технических решений, выполнении лабораторных исследований; внедрении разработанных технологий; научном обобщении полученных результатов и подготовке публикаций.

На заседании 18.09.2020 года диссертационный совет принял решение присудить Горланову Е.С. ученую степень доктора технических наук за решение важной научно-технической задачи – разработке технологий для проектирования алюминиевых электролизеров нового поколения с дренированными катодами и вертикальными электродами.

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
18.09.2020



Сизяков Виктор Михайлович

Бодуэн Анна Ярославовна