

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ 212.224.03,**

созданного на базе федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России,  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.11.2019 № 12

О присуждении **Гутема Ендалкачеу Мосиса**, гражданину Федеративной Демократической Республики Эфиопия, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка технологии получения алюминиевых сплавов, армированных карбидокремниевыми частицами» по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов принята к защите 29.08.2019 года, протокол №4 диссертационным советом ГУ 212.224.03 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, дом 2; приказ ректора Горного университета от 25.06.2019 №836 адм.

Соискатель, Гутема Ендалкачеу Мосиса, 1985 года рождения, в 2011 году окончил Университет Адама, получена степень магистра наук в области Проектирования производства; аспирант очной формы обучения кафедры металлургии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре металлургии 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, проректор по научно-инновационной деятельности, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств.

Официальные оппоненты:

**Александр Борисович Ворожцов**, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», проректор по научной и инновационной деятельности.

**Владимир Михайлович Скачков**, кандидат химических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» в своем положительном отзыве, подписанном Немчиновой Ниной Владимировной, д.т.н., профессором, заведующей кафедрой металлургии цветных металлов, Кузьминой Мариной Юрьевной, к.х.н., доцентом кафедры, утвержденным М.В. Корняковым, д.т.н., ректором указала, что диссертационная работа является законченной научн-квалификационной по актуальной тематике, обладает теоретической и практической значимостью при решении задач в области технологии получения алюминиевых сплавов, армированных карбидокремниевыми частицами.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, из них 4 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, в том числе 3 работы в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus. Материалы

диссертации отражены в следующих печатных работах, опубликованных соискателем:

1. **Gutema, E.M.** Review on nano particle reinforced aluminum metal matrix composites / E.M. Gutema, V.Yu. Bazhin, S.A. Savchenkov // Research Journal of Applied Sciences. – 2016. - Vol. 11, - №.5. - P. 188-196. (Scopus).

**Гутема, Е.М.** Обзор наночастиц армированных алюмо-металлических матричных композитов / В.Ю. Бажин, Е.М. Гутема, С.А. Савченков Научно-исследовательский журнал прикладных наук. - 2016, том. - 11, - №.5. С. 188-196.

Соискателем выполнен обзор литературных источников по получению композиционных материалов на основе алюминия.

2. **Гутема, Е.М.** Особенности технологии производства алюмо-матричных сплавов с карбидокремниевым каркасом / В.Ю. Бажин, Е.М. Гутема, С.А. Савченков // Metallurg. - 2016. - № 12. - С.45-52. (Scopus и WoS).

Соискателем проведены экспериментальные исследования технологии синтеза алюминиевых композиционных материалов.

3. **Gutema, E.M.** Hardness of aluminum metal matrix composite reinforced with magnesium coated particles of silicon carbide-squeeze casting / E.M. Gutema, V.Yu. Bazhin // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects. By edition V.S. Litvinenko. CRC Press, Taylor & Francis Group. - 2018. - P. 383-391. (Scopus).

**Гутема, Е.М.** Твердость алюминиевого металлического матричного композита, армированного частицами карбида кремния с магниевым покрытием литье под давлением / Е.М. Гутема, В.Ю. Бажин // Инновационное развитие минерально-сырьевого комплекса: проблемы и перспективы. Под редакцией В. С. Литвиненко. CRC Press, Тейлор и французская группа. - 2018. - С. 383-391.

Соискателем проведены экспериментальные исследования технологии синтеза алюминиевых композиционных материалов.

4. **Гутема Е.М.** Влияние уровня смачиваемости карбидокремниевых частиц магнием в алюминиевых композиционных лигатурах на их механические свойства / Е.М. Гутема, В.Ю. Бажин // Вестник ИРГТУ, Иркутск: - №1.2019. - С. 211-221. (ВАК).

Соискателем проведены экспериментальные исследования технологии синтеза алюминиевых композиционных материалов.

5. **Гутема, Е.М.** Формирование структуры и свойств алюминиевых сплавов армированных карбидокремниевый наночастицами / Е.М. Гутема, С.А. Савченков, В.Ю. Бажин // Сборник тезисов VI научно технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки – 2016». Санкт-Петербург. - 2016, - С. 249.

Соискателем выполнен обзор литературных источников по формированию структуры и свойств алюминиевых сплавов армированных карбидокремниевыми наночастицами.

6. **Gutema, E.M.** Properties of aluminum metal matrix composites reinforced by particles of silicon carbide using powder metallurgy / E.M. Gutema, V.Yu. Bazhin // Metallurgical and mining industry. Scientific and Technical Agency. - 2017. - Vol. 2. - P.46-51.

**Гутема, Е.М.** Свойства алюминицево-металлических матричных композитов, армированных частицами карбида кремния с помощью порошковой металлургии / Е.М. Гутема, В.Ю. Бажин // Металлургическая и горнодобывающая промышленность. Научно-техническое агентство. - 2017. - Том. 2. - С.46-51.

Соискателем проведен комплекс лабораторных экспериментов по получению алюминиевых композиционных материалов армированных наночастицами карбида кремния.

7. **Гутема, Е.М.** Армирование алюминия наночастицами карбида кремния / Е.М. Гутема, В.Ю. Бажин // VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 55-летию кафедры автоматизации производственных процессов, Иркутск, 19-20 апреля 2017 г С. 56-57.

Соискателем проведен комплекс лабораторных экспериментов по получению алюминиевых композиционных материалов армированных наночастицами карбида кремния.

8. **Fedorov S.N.** Complex treatment to solve the problems of utilization and prolongation of the aluminum pot lining life cycle / S.N. Fedorov, **E.M. Gutema,**

V.Yu. Bazhin and E.S. Gorlanov // VI International Conference on Industrial & Hazardous Waste Management, 2018. P. 1-8.

Соискателем проведен комплекс лабораторных экспериментов по утилизации футеровки электролизеров для алюминиевых композиционных материалов.

9. **Gutema, E.M.** Wettability enhancement of aluminum metal matrix composite reinforced with magnesium coated silicon carbide particles / E. M Gutema, V. Yu. Bazhin, S. N. Fedorov // Conference MEACS 2018, С. 67-75. (Scopus).

**Гутема Е.М.** Улучшение смачиваемости алюминиевого металломатричного композита, армированного частицами карбида кремния покрытие магнием / Е.М. Гутема, В. Ю. Бажин, С. Н. Федоров // Конференция MEACS 2018, стр. 67-75.

Соискателем проведен комплекс лабораторных экспериментов по смачиванию карбида кремния магнием и получению алюминиевых композиционных материалов армированных наночастицами карбида кремния.

В диссертации Гутема Ендалкачеху Мосиса отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы от:** профессора Научно-производственной корпорации «Механобр-мехника», д.т.н, **Л.Ф. Беленко**; старшего научного сотрудника отдела технологических исследований НПК «Механобр-техника» (АО), к.т.н. **М.В. Черкасовой**; профессора кафедры металлургии цветных металлов, федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» УрФУ, д.т.н **И.В. Логиновой**; заместителя генерального директора НИЦ «Курчатовский Институт» - ЦНИИ КМ «Прометей» д.т.н., доцента **А.В. Ильина**; заведующего кафедрой обработки металлов давлением ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», д.т.н., профессора **Ф.В. Гречникова** и доцента кафедры

Технологии металлов и авиационного материаловедения, к.т.н. **Dr .Ing. Е.В. Арышенского.**

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и отмечается профессиональный подход к решению поставленных задач. В отзывах на автореферат диссертации содержатся следующие замечания:

1. В работе не объясняется, как меняется форма частиц после армирования и как это влияет на прочность сплава (**д.т.н. Беленко Л.Ф.**).
2. Для определения характеристик сплавов в целом необходимо объяснить, каков характер поведения и свойства карбидокремнивых частиц в отдельности (**д.т.н. Беленко Л.Ф.**).
3. Не раскрыт механизм взаимодействия частиц карбида кремния с матрицей в момент кристаллизации (**д.т.н. Беленко Л.Ф.**).
4. Как распределение магния по поверхности карбида кремния улучшает смачиваемость, и как это укрепляет матрично-магниевые связи? (**к.т.н. Черкасова М.В.**)
5. Из рисунка 1 следует, что частицы обработанные в расплаве SiC- Mg, занимают наибольший объем в сплаве по сравнению с “дроблеными”. Чем можно объяснить такое распределение? Почему при дальнейшем росте это распределение снижается? (**к.т.н. Черкасова М.В.**)
6. Как распределение магния по поверхности карбида кремния улучшает смачиваемость, и как это укрепляет матрично-магниевые связи? (**д.т.н. Логинова И.В.**)
7. Из рисунка 1 следует, что частицы обработанные в расплаве SiC- Mg, занимают наибольший объем в сплаве по сравнению с “дроблеными”. Чем можно объяснить такое распределение? почему при дальнейшем росте это распределение снижается? (**д.т.н. Логинова И.В.**)
8. Из электронно-микроскопического анализа не ясно, в каком соотношении частицы магния и карбида кремния присутствуют внутри

алюмо-матричного сплава после введения в него лигатуры (д.т.н. **Логинова И.В.**)

9. Непонятно как изменятся механические свойства полученного композиционного материала при образовании карбида алюминия ( $Al_4C_3$ )? (д.т.н. **А.В Ильин**)
10. С.3 ошибка в написании формулы карбида бора  $B_4C$ : исправить на  $B_4C$ . (д.т.н. **А.В Ильин**)
11. С.9 непонятен состав лигатуры “8%SiC + 1.5Mg и 12мас %SiC+2Mg”  
Где массовые проценты, где атомые проценты, а где проценты вообще (д.т.н. **А.В Ильин**).
12. Каким образом керамическая частица SiC (рис 4) в результате реакции с магнием продеформировалось на поверхности алюминия? (А.В Ильин)
13. На рис. 5а не проставлена метка размера микроструктуры, что не позволяет оценить локальность анализа и размер зерна сплава (д.т.н. **А.В Ильин**).
14. Во первых, из рисунка 8 достаточно трудно определить механические свойства (д.т.н., **Гречников Ф.В.**, д.т.н. **Арышенский Е.В.**).
15. Непонятно также, определялось ли относительное сужение,  $\psi$  % которое так же является очень важным показателем пластичности. В работе упомянуто, что исследовалась анизотропия но не о методке не о результатах информации не найдено (д.т.н., **Гречников Ф.В.**, д.т.н. **Арышенский Е.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 способности определить научную и практическую значимость диссертационной работы.

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

- Получены закономерности распределения по крупности зерна для частиц фторидов и частиц SiC после их механической обработки и активации, произведенных из дробленой карбидокремниевой футеровки алюминиевых электролизеров до и после сплавления с магнием.

- Определен уровень смачиваемости, площадь покрытия и состояние поверхности до и после обработки частиц SiC магниевым расплавом и обоснованы условия для их последующего ввода в алюминиевую матрицу.

- Выявлено влияние содержания магния и карбида кремния на структуру и механические свойства заготовок, а также выявлен уровень анизотропии лигатур, армированных фторированными частицами SiC, предварительно покрытых магнием.

- Определены рациональные технологические параметры (температура литья, скорость кристаллизации, скорость подачи порошковой смеси в расплав) в соответствии с технологией производства сплава Al-Mg-SiC.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- Выявлены закономерности для обеспечения рациональных условий ввода предварительно обработанных в магниевом расплаве карбидокремниевых частиц при сохранении максимального уровня смачиваемости для их равномерного распределения в алюминиевой матрице лигатуры и в сплаве Al-Mg-SiC.

- Изучено влияние композиции фтористых солей, находящихся в смеси с порошковыми отходами карбидокремниевой футеровки электролизеров, на режимы плавления и кристаллизации алюмо-матричного сплава.

- Определены параметры и условия формирования однородной мелкозернистой структуры при получении алюмо-матричного сплава в зависимости от химического состава и механических свойств материала.

- Исследован комплекс механических свойств (предел прочности, пластичность, твердость, ударная вязкость, изгиб) литых заготовок Al-Mg-SiC, полученных из сплавов, модифицированных лигатурами, содержащими



карбидокремниевые частицы в зависимости от условий литья и содержания карбидокремниевых частиц в алюминиевом расплаве.

- Обоснована технология и алгоритм получения высококачественных алюмо-матричных алюминиевых лигатур армированных частицами SiC, предварительно покрытых магнием.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны** технологические режимы получения высококачественных алюмо-матричных алюминиевых лигатур армированных частицами SiC, предварительно покрытых магнием;

**установлены** зависимости от состава армирующего материала, объема и расположения, которые могут кардинально менять свойства изделия;

**выявлены** особенности Флюсом композиция ( $\text{AlF}_3$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ ), входящей в состав отходов боковой футеровки алюминиевых электролизеров в количестве 8-12%, что обеспечивает эффективный отвод через шлакообразование оксидов.

**доказано**, что смачиваемость между расплавом Al и Mg с частицами SiC снижается за счет изменения поверхностного натяжения в алюминиевой матрице.

**уточнены** технологические параметры в соответствии с алгоритмом производства сплава Al-Mg-SiC.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

**проведен** металлографический анализ определения качества полученных алюминиевых композитов;

**определен** химический состав частиц, лигатур и сплавов. Использовался рентгенофлуоресцентный, атомно-эмиссионный анализ, спектральный анализ (PANalytical® Epsilon3);

**изучен** механизм и определено влияние композиции фтористых солей,

находящихся в смеси с порошковыми отходами карбидокремниевой футеровки электролизеров, на режимы плавления и кристаллизации алюмо-матричного сплава;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс методов исследований, включающий: аналитические и экспериментальные работы в лабораторных условиях, проведение металлографических исследований;

**изложены** технологические параметры в соответствии с алгоритмом производства сплава Al-Mg-SiC;

**раскрыты** закономерности протекания процесса синтеза композитов на основе алюминия, армированных частицами карбида кремния, покрытые магнием;

**изучены** механические свойства алюминиевых композиционных материалов армированных частицами карбида кремния.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработан** способ получения алюминиевых лигатур и предварительное смешение SiC частиц в потоке магниевого расплава в виде промежуточной лигатуры, которое создает устойчивое покрытие поверхности частиц (75-85%), и определяет условия для равномерного распределения в алюминиевом сплаве без образования оксидов.

**определены** перспективы и область практического использования разработанных способов;

**создана** система для практического внедрения предлагаемых способов в производство алюминиевых лигатур;

**представлены** рекомендации к использованию полученных теоретических и экспериментальных данных в учебных дисциплинах при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия».

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**для экспериментальных работ** результаты получены с использованием апробированных известных методик измерения на поверенном оборудовании на базе лаборатории кафедры металлургии, а также на базе центра коллективного пользования Санкт-Петербургского горного университета;

**теория** построена на проверенных данных и фактах, согласующихся с опубликованными в открытом доступе экспериментальными данными других исследователей и ученых по теме диссертации;

**идея** базируется на результатах анализа способов получения высококачественных алюмо-матричных алюминиевых лигатур армированных частицами SiC, предварительно покрытых магнием;

**установлено** соответствие данных с лабораторными испытаниями с результатами теоретических исследований;

**использованы** современные методы сбора и обработки исходной информации.

**Личный вклад соискателя состоит в:** обосновании направления исследований; постановке целей и задач исследования; проведении патентного поиска и анализа научно-технической литературы; в выполнении лабораторных исследований; в обработке и анализе результатов исследований, разработке технических решений для разработки технологии получения алюминиевых сплавов, армированных карбидокремниевыми частицами; в формулировании защищаемых положений и выводов работы.

На заседании 28.11.2019 года диссертационный совет принял решение присудить Гутема Ендалкачеву Мосиса ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи по разработке технических решений для разработки технологии получения алюминиевых сплавов, армированных карбидокремниевыми частицами.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 20 человек,

входящих в состав совета, проголосовали: за - 18, против - нет,  
недействительных бюллетеней - нет.

Председатель  
диссертационного совета



A handwritten signature in black ink, appearing to be "Siziakov V.M.", written in a cursive style.

Сизяков Виктор Михайлович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Boduzhen A.Y.", written in a cursive style.

Бодуэн Анна Ярославовна

28.11.2019 г.