ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА **24.1.045.01** НА БАЗЕ **ФГБУН ИНСТИТУТА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ УрО РАН** ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **17 сентября 2025 г. № 9**

о присуждении ***Мурадымову Роману Викторовичу***, гражданину России,

ученой степени кандидата **химических** наук.

Диссертация «Синтез, структура и свойства алюминий-графенового композиционного материала» по специальности 1.4.4. Физическая химия принята к защите **8 июля 2025 г., протокол № 4**, диссертационным советом 24.1.045.01, созданным на базе Института высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Российской академии наук (ИВТЭ УрО РАН), 620066, г. Екатеринбург, ул. Академическая, д.20; приказ № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Мурадымов Роман Викторович, 26 августа 1990 года рождения, в 2012 г. окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»; в 2015 г. окончил аспирантуру ИВТЭ УрО РАН; работает **научным сотрудником** лаборатории химических источников тока ИВТЭ УрО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории химических источников тока ИВТЭ УрО РАН.

Научный руководитель – доктор химических наук ***Елшина Людмила Августовна***, ведущий научный сотрудник лаборатории химических источников тока ИВТЭ УрО РАН.

Официальные оппоненты:

Кушхов Хасби Билялович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой неорганической и физической химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова",

Шубин Алексей Борисович, доктор химических наук, заведующий лабораторией металлургических расплавов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института металлургии имени академика Н.А. Ватолина Уральского отделения РАН, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», в своём положительном отзыве, подписанном Финкельштейном Аркадием Борисовичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры литейного производства и упрочняющих технологий Института новых материалов и технологий, указала, что диссертационная работа Мурадымова Р.В. направлена на создание физико-химических основ синтеза нового материала алюмо-графенового композита с минимально возможной толщиной включений упрочняющей фазы и представляет значительный практический интерес.

Соискатель имеет 34 опубликованные работы, 31 из них - по теме диссертации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 11 статьях в журналах, рекомендуемых ВАК (вклад соискателя в каждой составляет от 10 до 40%), 2 статьи в других журналах. Кроме того, имеются тезисы 17 докладов на международных и российских конференциях и 1 патент РФ.

Наиболее значимые научные работы:

1. Yolshina L.A. Novel aluminum–graphene and aluminum–graphite metallic composite materials: synthesis and properties / L.A. Yolshina, R.V. Muradymov, I.V. Korsun [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2016. – V. 663. – P. 449 – 459. – DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.12.084.

2. Vichuzhanin D.I. A fracture locus for a 1 wt% aluminum-graphene metal matrix composite at 300°C / D.I. Vichuzhanin, L.A. Yolshina, R.V. Muradymov, A.V. Nesterenko // Letters on Materials. – 2018. – V. 8. – № 2. – P. 184 – 189. – DOI: 10.22226/2410-3535-2018-2-184-189.

3. Yolshina L.A. Corrosion behavior of aluminum–graphene and aluminum–graphite composite materials in a 3% NaCl aqueous solution / L.A. Yolshina, R.V. Muradymov,

N.G. Molchanova // Russian Metallurgy (Metally). – 2022. – V. 2. – P. 153 – 160. – DOI: 10.1134/S0036029522020057.

На автореферат прислали положительные отзывы:

1. Доктор физико-математических наук ***Вуль Александр Яковлевич***, главный научный сотрудник лаборатории физики кластерных структур Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург. Сделаны замечания:

1) Неудачны некоторые формулировки положений, выносимых на защиту.

2) Малослойность пленок графена не отражена в названии диссертации.

3) Имеется ряд погрешностей в оформлении автореферата.

2. Кандидат химических наук ***Матвеев Егор Станиславови***ч, доцент департамента фундаментальной и прикладной химии Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург:

1) Каковы значения электросопротивления алюминий-графеновых проволок?

2) Каким образом измеряли электросопротивление?

3) Влияет ли на величину сопротивления концентрация графена в композите?

3. Доктор химических наук ***Бурашникова Марина Михайловна***, профессор кафедры физической химии Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского:

1) Какой состав обеспечивает наиболее высокие свойства?

2) Оправданы ли 3 знака после запятой в значениях твердости и микротвердости?

4. Доктор физико-математических наук ***Квашнин Дмитрий Геннадьевич***, заведующий центром “Компьютерное моделирование неорганических и композитных наноразмерных материалов” Института биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, г. Москва:

1) Что подразумевается под термином - графеновые пластины?

2) Исследовали ли твердость образцов кроме тех, что содержали 1 и 2 масс.% графена? Какая максимальная концентрация графена в АГК рассматривалась?

3) Есть ли предельный случай, когда графен ухудшает характеристики АГК?

4) На каком основании сделан вывод на с. 16: «Разрыв происходит по металлу, в то время как листы графена остаются недеформированными».

5) Как данные ваших исследований соотносятся с результатами других групп?

6) Как и где в алюминии расположен графен? За счет чего достигнуто смачивание графена алюминием? Как его можно еще улучшить?

7) В задачах исследования пункт 2 неудачно сформулирован.

8) Список литературы в автореферате содержит только одно наименование.

9) Научная новизна: «Разработан новый уникальный метод» - если он новый, то он по умолчанию уникальный.

10) Практическая значимость работы очевидна, но описана общими словами.

11) С. 8: "пленки графена значительной площади". Какой именно?

12) «Аттестация состава и структуры АГК» - неудачное словосочетание.

5. Доктор химических наук ***Булушева Любовь Геннадьевна***, главный научный сотрудник лаборатории физикохимии наноматериалов Института неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения РАН и доктор физико-математических наук ***Окотруб Александр Владимирович***, заведующий той же лабораторией, г. Новосибирск:

1) Как методом ИКС определено содержание углерода в композитах?

2) Сокращение «СКР» вместо ожидаемого «КРС» - это опечатка?

3) Как получали используемые для сравнения Al-графитовые композиты?

6. Доктор физико-математических наук Нещименко Виталий Владимирович, профессор кафедры физики, ИО директора Института компьютерных и инженерных наук Амурского государственного университета, г. Благовещенск:

1) Нет анализа кристаллической структуры алюминиевой матрицы.

2) На рисунке 6 плохо читаемые надписи.

7. Доктор химических наук ***Плетнев Михаил Андреевич***, заведующий кафедрой «Химия и химическая технология» Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова: Без замечаний.

8. Доктор технических наук ***Гладковский Сергей Викторович***, заведующий лабораторией деформирования и разрушения Института машиноведения им. Э.С. Горкунова УрО РАН:

1. Приведенные на рис.13 автореферата диаграммы неверно названы.

2. Что такое супермикрокристаллическое состояние алюминиевых зерен?

3. Методы динамического сжатия и динамического канально-угольного прессования обозначены неточно.

Кандидат химических наук ***Чемезов Олег Владимирович***, доцент кафедры металлургии цветных металлов УРФУ им. Б.Н. Ельцина прислал отзыв на диссертацию. В нем имеются следующие вопросы и замечание:

1. Почему влияние кислорода и влаги не отражены в диссертации?

2. Почему вы считаете реакцию 2.1 гетерогенной?

3. Если проводить синтез при 670°С, графен, возможно, будет однослойным.

4. Почему образцы алюминий-графенового композита не обладают анизотропией?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются признанными специалистами в области синтеза перспективных материалов в высокотемпературных расплавах: оксидно-солевых (Кушхов Х.Б.), оксидных и металлических (Шубин А.Б.). Основным направлением деятельности кафедры литейного производства и упрочняющих технологий ведущей организации (УрФУ) является совершенствование процессов литья, в том числе формирования литых композитов на основе алюминия и его сплавов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны физико-химические основы нового метода армирования алюминия дисперсным графеном, отличие которого от всех известных к настоящему времени способов заключается в том, что графен не готовится заранее, а образуется in situ, непосредственно в реакторе в результате взаимодействия углеродсодержащего прекурсора (карбида бора) с жидким алюминием под слоем солевого расплава в атмосфере воздуха;

предложен механизм синтеза алюминий-графенового композита, согласно которому карбид бора окисляется кислородом воздуха на поверхности жидкого алюминия до углерода, атомы углерода диффундируют в объем металла и образуют графеновые пленки при медленном охлаждении;

доказано, что улучшенные по сравнению с алюминием физико-химические и механические свойства синтезированного композиционного материала обусловлены равномерным распределением в алюминиевой матрице графеновых пленок толщиной 1-3 нм и протяженностью до 100 мкм.

Теоретическая значимость исследования

доказано, что при введении графена в количестве от 0.05 до 0.12 масс. % в алюминий наблюдается уменьшение толщины оксидной пленки на поверхности металла в 3 раза (до 3 нм), увеличение теплопроводности до 20%, электропроводности до 6% и твердости до 15%;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов аттестации и исследования материалов: рентгенофазовый анализ; сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия; рентгеноспектральный микроанализ; рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света; измерение электропроводности на постоянном токе; измерение теплопроводности методом двойной лазерной вспышки, синхронный термический анализ, атомно-силовая микроскопия, а также изучены их механические и упругопластические свойства, а именно, твердость, прочность и пластичность методами индентирования и микроиндентирования по Оливеру-Фарру, Виккерсу, Бринеллю, Берковичу, одноосного растяжения по Гуку при комнатной температуре и 300°С, ударно-волнового профиля по Рэнкину- Гюгонио;

изложены тенденции изменения упругопластических свойств алюминий-графеновых композитов при варьировании концентрации графена в алюминии и количества графеновых слоев в его пленках;

изучена коррозия синтезированного композита в водном растворе хлорида натрия при комнатной температуре, которая носит равномерный характер без питтингового разрушения;

раскрыты причины пятикратного увеличения в условиях сверхпластичной нагрузки прочностных характеристик алюминий-графенового композита по сравнению с алюминием, что обусловлено уменьшением размера кристаллитов алюминия и гомогенизацией структуры материала.

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

разработан и поддержан патентом РФ легко масштабируемый метод синтеза алюминий-графеновых композиционных материалов, позволяющий получать не содержащие вредных примесных фаз (Al_4C_3, Al_2O_3) беспористые, электропроводные и пластичные слитки;

определены перспективы изготовления проволоки диаметром 0,2-0,6 мм и фольги толщиной от 23 мкм методом прокатки синтезированных композитов, обладающих термостабильностью и пластичностью.

Оценка достоверности результатов исследования

результаты получены на сертифицированном оборудовании: рентгеновские дифрактометры Rigaku D/MAX-2200VL/PC и BRUKER (США), сканирующие электронные микроскопы Jeol JSM-5900LV, Zeiss Sigma VP и TESCAN MIRA 3 LMU, просвечивающие электронные микроскопы «Tecnai $G^2$30 Twin» и JEOL JEM 2100 (Япония), энергодисперсионный спектрометр Oxford Instruments X-Max 80, рентгеновский фотоэлектронный спектрометр KAlpha XPSSysПЭМ, ThermoFisherScientific; атомно-силовой микроскоп Solver 47p (NT – MDT, Россия), Рамановский микроспектрометр «Renishaw U1000» (Великобритания), термоанализаторы «STA 449C Jupiter® thermal analyzer», «NETZSCH» (Германия) и «NETZSCH LFA 467 HyperFlash», Solartron 7081 (Великобритания), твердомер «WINHCU Fischerscope HM 2000 XYm», серво-гидравлический испытательный стенд INSTRON 8801;

установлена согласованность экспериментальных результатов, полученных с использованием различных физико-химических методов исследования, а также механических, электрофизических, теплофизических и коррозионных испытаний, и их соответствие имеющимся в мировой научной литературе данным;

использованы современные методики обработки полученных спектров дифракции обратно-рассеянных электронов, рентгеновских фотоэлектронных и КРС с помощью пакетов программного обеспечения «Channel 5», «Wire 3.0», «Fityk 0.9.8.».

Личный вклад соискателя: анализ литературы; синтез и физико-химическая аттестация материалов, исследование их функциональных свойств; обработка, оформление, анализ и обсуждение полученных экспериментальных данных; подготовка публикаций выполнены лично автором или при его участии.

В соответствии с **паспортом специальности 1.4.4. Физическая химия** диссертация направлена на создание физико-химических основ синтеза новых алюминий-графеновых композитов, изучение физико-химические свойств графена в контакте с алюминием при воздействии высоких температур и в условиях сверхпластической деформации.

Можно рекомендовать результаты диссертационной работы Мурадымова Р.В. для использования в организациях и вузах, занимающихся синтезом и изучением свойств металломатричных композитов, исследованием свойств графена, в частности, в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург), а также для внедрения предприятиям, специализирующимся на выпуске слитков для производства алюминиевого проката электротехнического назначения – подразделениям ОАО «РУСАЛ», производителю проката для авиастроения – АО «Каменск-Уральский металлургический завод», предприятиям по производству алюминиевого литья для авиа- и судостроения – АО «Каменск-Уральский литейный завод», ООО «Уралцветлит», ЗАО «Уралэлектромаш».

В ходе защиты диссертации было высказано критическое замечание о необходимости дальнейшего изучения механизма синтеза алюминий-графеновых композитов с привлечением теоретических методов.

Соискатель Мурадымов Р.В. ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и согласился с замечанием.

Диссертация Мурадымова Р.В. представляет научно-квалификационную работу, в которой решена важная для развития физической химии металломатричных композиционных материалов задача: созданы научные основы нового способа синтеза алюминий-графенового композита и изучены его физико-химические и механические свойства, определяющие перспективность полученного материала для использования в автомобиле-, самолетостроении, а

также в других отраслях современной техники.

На заседании 17 сентября 2025 г. диссертационный совет принял решение: присудить Мурадымову Роману Викторовичу ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

При проведении тайного **голосования** диссертационный совет в количестве **18 человек**, из них **4** доктора наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **25** человек, входящих в состав совета, проголосовали: **17** «**за**», **1** «**против**», **0 недействительных бюллетеней**.

Председатель диссертационного совета
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук, профессор Зайков Юрий Павлович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат химических наук Кулик Нина Павловна

19 сентября 2025 года