

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.136.01 (Д 002.100.02),
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЁРДОГО
ТЕЛА ИМЕНИ Ю.А. ОСИПЬЯНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 9 июня 2026 г. № 8

О присуждении Каледину Алексею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Керамоматричные композиционные материалы на основе карбида кремния, тугоплавких металлов и их силицидов» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 30 марта 2026 г. (протокол заседания №5) диссертационным советом 24.1.136.01 (Д 002.100.02), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твёрдого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук (ИФТТ РАН), 142432, Московская область, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 2, приказ Минобрнауки № 965/нк от 17.10.2019 г.

Соискатель Каледин Алексей Владимирович, 10 марта 1992 года рождения. В 2015 году окончил магистратуру с отличием Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» по направлению подготовки 160400 – «Ракетные комплексы и космонавтика». В 2024 году окончил обучение по направлению 22.06.01 «Технологии материалов» в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твёрдого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук.

Работает в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт физики твёрдого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук в должности младшего научного сотрудника с 2020 года.

Диссертация выполнена в лаборатории профилированных кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики твёрдого тела имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук.

Научный руководитель - доктор технических наук Курлов Владимир Николаевич, заведующий лабораторией профилированных кристаллов ИФТТ РАН.

Научный консультант - кандидат технических наук Шикунов Сергей Леонидович, старший научный сотрудник лаборатории профилированных кристаллов ИФТТ РАН.

Официальные оппоненты:

Перевислов Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», кафедра химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, профессор.

Сорокин Олег Юрьевич, кандидат технических наук, Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», лаборатория «Керамические композиционные материалы, антиокислительные покрытия и жаростойкие эмали», начальник сектора.

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук - в своём положительном отзыве, подписанном А.С. Рогачевым, д-р физ.-мат. наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории динамики микрогетерогенных процессов, и В.И. Юхвидом, д-р техн. наук, профессором, главным научным сотрудником лаборатории жидкофазных СВС-процессов и литых материалов, указала, что «диссертационная работа является завершённой научно-квалификационной работой. Поставленные перед исследованием цели достигнуты, полученные результаты вносят значимый вклад в развитие способов получения керамоматричных композиционных материалов на основе SiC. Диссертационная работа соответствует требованиям к кандидатской диссертации, перечисленным в «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК РФ от 24 сентября 2013 г.

№ 842 (в ред. от 25.01.2024 г.), а ее автор, Каледин Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния».

Соискатель имеет 8 опубликованных работ и охранных документов по теме диссертации, в том числе 4 печатные работы, включённые в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, и 4 патента Российской Федерации.

В опубликованных работах отражены основные результаты диссертации: разработка способов получения изотропных, слоистых и непрерывно армированных композитов на основе SiC, тугоплавких металлов и их силицидов методом жидкофазного силицирования; исследование микроструктуры, фазового состава и физико-механических свойств полученных материалов; анализ формирования силицидных слоёв в системе Mo-SiC. Основной вклад соискателя в публикации состоит в постановке задач, выборе методических подходов, участии в проведении экспериментов и численного моделирования, в обработке и интерпретации результатов, подготовке текстов статей и материалов патентных заявок.

Наиболее значимые публикации по теме диссертации:

1. Kaledin, A.V. Fabrication of layered SiC/C/Si/MeSi₂/Me ceramic-metal composites via liquid silicon infiltration of metal-carbon matrices / A.V. Kaledin, S.L. Shikunov, J.N. Zubareva, I.M. Shmytko, B.B. Straumal, V.N. Kurlov // *Materials*. - 2024. - Vol. 17. Iss. 3. - P. 650.
2. Kaledin, A. SiC-based composite material reinforced with molybdenum wire / A. Kaledin, S. Shikunov, K. Komarov, B. Straumal, V. Kurlov // *Metals*. - 2023. - Vol. 13. - P. 313.
3. Шикунов, С.Л. Керамический композит на основе карбида кремния, армированного молибденовой проволокой / С.Л. Шикунов, А.В. Каледин, Ю.Н. Зубарева, Д.Г. Меликянц, В.Н. Курлов // *ЖТФ*. - 2026. - Т. 96, № 2. - С. 288-295.
4. Shikunov, S. Novel method for deposition of gas-tight SiC coatings / S. Shikunov, A. Kaledin, I. Shikunova, B. Straumal, V. Kurlov // *Coatings*. - 2023. - Vol. 13. - P. 354.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Пашутов Аркадий Витальевич, канд. тех. наук, начальник отделения – зам. Главного конструктора АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения». Отзыв положительный, сделано 1 замечание:
 - 1) «В качестве замечания следует указать, что в автореферате не представлены результаты механических испытаний образцов после высокотемпературной выдержки. Между тем такие испытания позволили бы непосредственно оценить, как увеличение толщины слоя Mo_5Si_3 и соответствующее уменьшение диаметра сечения остаточного металла армирующего элемента влияют на прочность композита, и тем самым связать обнаруженные структурные изменения с прочностными свойствами материала».
2. Шило Дмитрий Валентинович, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по технологическому развитию ООО ГрафитЭл-Московский электродный завод». Отзыв положительный, сделано 3 замечания:
 - 1) «Не указан размер получаемых заготовок и /или образцов композиционных материалов, с увеличением размера заготовок может в значительной степени меняться фазовый состав получаемого материала».
 - 2) «В таблице 1 не указан метод, на основании которого определены объемные доли фаз в материале».
 - 3) «На рисунках 3 и 4 указано значение разрушающих напряжений, далее по тексту приводятся аналогичные значения механической прочности при изгибе и сжатии».
3. Бакланова Наталья Ивановна, д-р хим. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории химического материаловедения, ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения Российской академии наук. Отзыв положительный, есть 3 вопроса и замечания:
 - 1) «Чем обусловлены различия в микроструктуре и фазовом составе композиционных материалов на основе SiC, армированных фольгой из Mo, и композиционных материалов на основе SiC, армированных молибденовой проволокой? В первом случае Автор обнаружил только MoSi_2 , а во втором случае – MoSi_2 и Mo_5Si_3 ».
 - 2) «К сожалению, в работе не приводятся текстурные характеристики полученных композитов (значения открытой и закрытой пористости), которые оказывают значительное влияние на механические характеристики композитов».

- 3) «Из таблицы 3 автореферата следует, что прочность однонаправленно армированных молибденовой проволокой (диаметр 2 мм) Mo-SiC композитов падает примерно на 45% с увеличением температуры до 1500°C. Каким автор видит решение этой проблемы? Ведь назначение разрабатываемых композитов – длительное функционирование при повышенных температурах и нагрузках».
4. Александров Евгений Викторович, д-р. хим. наук, директор Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Отзыв положительный, без замечаний.
5. Лисаченко Максим Геннадьевич, канд. физ-мат. наук, начальник сектора лаборатории по разработке материалов на основе нитридов, карбидов и боридов для изделий ракетной техники и технологии изготовления изделий на их основе, АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина». Отзыв положительный, сделано 2 замечания:
- 1) «В работе не указано назначение разрабатываемых керамических композиционных материалов и армированных керамоматричных композитов, их область применения и не обозначены (не сформулированы) требования к ним».
 - 2) «Не достаточно изучены физико-механические свойства полученных керамических композиционных материалов и армированных керамоматричных композитов (прежде всего трещиностойкость), что не позволяет получить объективное представление о материалах.»

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области физики и технологии керамических, керамоматричных и высокотемпературных композиционных материалов, тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, жаростойких керамических композиций, защитных покрытий, а также процессов формирования структуры и свойств материалов на основе карбида кремния и тугоплавких соединений. Оппоненты и ведущая организация имеют значительный научный и практический опыт по тематике, близкой к тематике диссертационного

исследования, что обеспечивает квалифицированную и независимую оценку представленной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработаны способы получения керамоматричных композиционных материалов на основе SiC, тугоплавких металлов и их силицидов методом жидкофазного силицирования пористых металлоуглеродных заготовок, включая изотропные композиционные материалы SiC-MoSi₂, слоистые материалы Me-MeSi₂-SiC на основе фольг Ti, Nb, Mo и непрерывно армированные материалы Mo-SiC с армирующими элементами в виде молибденовой проволоки. Доказана возможность снижения объёмной доли свободного кремния в изотропных композитах SiC-MoSi₂ до уровня менее 3 об. % за счёт введения порошка молибдена в углеродную основу и его полного перехода при жидкофазном силицировании в дисилицид молибдена. Это также увеличивает прочностные характеристики композиционного материала по сравнению с трёхфазной SiC керамикой, изготовленной из идентичной углеродной основы. Продемонстрирована возможность увеличения предела прочности более чем на 40% при трехточечном изгибе трёхфазной SiC-керамики за счёт её армирования фольгой из тугоплавких металлов, а также молибденовой проволокой. Установлены особенности формирования промежуточных силицидных слоёв в слоистых и непрерывно армированных композитах, полученных методом жидкофазного силицирования, в том числе образование фаз MoSi₂ и Mo₅Si₃ на поверхности молибденовой проволоки и отсутствие Mo₃Si и карбидов молибдена. Установлено, что под воздействием высокотемпературной выдержки происходят изменения в структуре армирующих элементов композиционных материалов Mo-SiC. Так, продемонстрировано, что после выдержки в течение 3–9 часов при 1600 °C толщина слоя Mo₅Si₃ увеличивается более чем на порядок, в то время как изменение толщины MoSi₂ составляет около 10%. Разработана расчётно-экспериментальная методика количественной оценки изменения толщины слоя Mo₅Si₃ и диаметра остаточного молибдена в цилиндрических армирующих элементах при высокотемпературной выдержке.

Значимость полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработаны и защищены патентами Российской Федерации способы получения изотропных, слоистых и непрерывно армированных керамоматричных композиционных материалов на основе SiC, тугоплавких

металлов и их силицидов. Создана экспериментальная основа для получения материалов, обладающих повышенной механической прочностью, химической стойкостью и сохранением несущей способности при растрескивании керамической составляющей. Представлены рекомендации по применению тугоплавких металлов и их силицидов в качестве структурных и армирующих компонентов керамоматричных композитов на основе SiC. Разработанная расчётно-экспериментальная методика может быть использована для инженерной оценки изменения доли металлического армирования и остаточного диаметра цилиндрических армирующих элементов в КМК Mo-SiC после высокотемпературной выдержки.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании, в том числе с использованием поверенных средств измерения. Механические испытания и микроструктурные исследования проводились на сопоставимых сериях образцов, а количественная оценка толщины силицидных слоёв выполнялась по достаточно большой выборке измерений по окружности цилиндрического армирующего элемента. Теоретические и расчётные положения построены на известных представлениях о жидкофазном силицировании, реакционном формировании карбида кремния и силицидообразовании в системе Mo-Si, а также на экспериментально определённых геометрических параметрах и фазовом составе силицидных слоёв. Используются современные методы обработки экспериментальных данных, включая количественную оценку микроструктуры, статистическое усреднение результатов измерений, элементный и рентгенофазовый анализ, а также численное моделирование температурного поля и изменения геометрических параметров армирующих элементов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех основных этапах исследования: постановке задач, выборе методов и подходов к их решению, разработке технологических схем получения материалов, подготовке образцов, проведении экспериментов, выполнении численного моделирования, обработке и интерпретации экспериментальных данных.

Диссертационный совет заключает, что диссертация Каледина А.В. является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой. Диссертация полностью отвечает всем критериям, предъявляемым к диссертациям

на соискание ученой степени кандидата технических наук в соответствии с Положением о присуждении ученых степеней Постановления Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.

На заседании «09» июня 2026 г. диссертационный совет принял решение: за новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития материаловедения керамоматричных композиционных материалов на основе SiC, тугоплавких металлов и их силицидов, присудить Каледину А.В. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 20 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 20, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета
д-р физ.-мат. наук



Колесников Николай Николаевич

Учёный секретарь
диссертационного совета
д-р физ.-мат. наук

Гаврилов Сергей Сергеевич

9 июня 2026 г.