

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Уфимский университет
науки и технологий»

Д.ф.-м.н., доцент



И.Ф. Шарафуллин

» сентября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Наноструктурированные сплавы на основе Al и Ti для создания армированных композитных структур» выполнена в управлении проектной работы и предпринимательства и лаборатории центра коллективного пользования «Нанотех» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации и в настоящее время Рамазанов Ильнар Альфридович работает в должности младшего научного сотрудника управления проектной работы и предпринимательства и инженером лаборатории центра коллективного пользования «Нанотех» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

В 2012 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению «Материаловедение и технология новых материалов» с присвоением степени бакалавра техники и технологии.

В 2014 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» по направлению подготовки 150100 «Материаловедение и технологии материалов» с присвоением квалификации магистра и специального звания магистранга-инженера.

Справка о сдаче кандидатских экзаменах по истории и философии науки, иностранному языку и научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы по техническим наукам № 110-26 от 20.07.2026 выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Бобрук Елена Владимировна, доктор физико-математических наук, доцент ведущий научный сотрудник управления проектной работы и предпринимательства, профессор кафедры общей физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация Рамазанова И.А. «Наноструктурированные сплавы на основе Al и Ti для создания армированных композитных структур» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред от 16.10.2024). В рамках диссертационной работы предлагается решение научной задачи по расширению диапазона температурно-скоростных условий технологии изготовления композитных структур, что имеет важное хозяйственное значение и способствует научно-техническим решениям на предприятиях авиационной промышленности России для получения изделий из композитных материалов.

Все основные результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично, либо при его непосредственном участии:

- метод формирования наноструктурированного состояния, а именно, структура с размером зерен 230 нм, содержащая частицы размером до 30 нм, в фольговом полуфабрикате из алюминиевого сплава 1565ч для армированных композитных структур с помощью термомеханической обработки, включающей

равноканальное угловое прессование по схеме Конформ и последующую изотермическую прокатку.

- реализация низкотемпературной сверхпластичности ($\leq 0,6 T_{пл}$) осуществляется за счет формирования ультрамелкозернистой структуры в фольге из сплава 1565ч с размером зерен 100-230 нм и частицами размером до 30 нм в теле и по границам зерен.

- численные модели технологических режимов (температура, скорость, размер межволоконного пространства) получения бездефектных образцов композитных структур из фольг наноструктурированного сплава 1565ч или ультрамелкозернистого сплава ВТ6 и непрерывного волокна бора в условиях сверхпластической деформации ($\leq 0,6 T_{пл}$).

- технологический подход для получения образцов с армированной композитной структурой прессованием по схеме «фольга – волокно – фольга» в вакуумном контейнере из наноструктурированных Al сплавов 1565ч, 7475, 2024 или ультрамелкозернистого Ti сплава ВТ6 и непрерывного волокна бора диаметром 140 мкм в режиме низкотемпературной сверхпластичности матричного сплава.

В основных опубликованных работах получены следующие результаты:

В работах [1,2,8] представлены результаты исследования влияния наноструктурированного состояния сплава 1565ч на температурно-скоростные условия низкотемпературной сверхпластичности, приведен анализ механизма низкотемпературной сверхпластичности.

В работах [3,4,5] представлены результаты исследования формирования композитной структуры из наноструктурированного сплава 1565ч системы Al-Mg-Mn и борного волокна, а также свойства полученной композитной структуры с помощью компьютерного моделирования и физического эксперимента.

В работах [6,7,8] представлены результаты влияния наноструктурированного состояния сплавов 2024 и 7475 на температурно-скоростные условия низкотемпературной сверхпластичности. Описано механическое поведение при пониженных температурах, а также определены особенности механизма сверхпластичности.

В работах [9,10] представлены анализ условий (размер зерен, температура и скорость деформации) и критериев (пластичность, напряжения и коэффициент скоростной чувствительности) реализации низкотемпературной сверхпластичности сплава ВТ6 с ультрамелкозернистой структурой; результаты

исследования формирования композитной структуры из сплава ВТ6 с ультрамелкозернистой структурой и борного волокна с помощью компьютерного моделирования и физического эксперимента.

Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертационной работы. Статьи подготовлены совместно с научным руководителем и другими членами научного коллектива, в том числе зарубежного. Личный вклад соискателя составляет 40 % из общего объема публикаций.

Публикации в отечественных журналах из перечня изданий ВАК:

1. Проявление сверхпластичности при пониженных температурах сплава 1565ч системы Al–Mg в ультрамелкозернистом и наноструктурном состояниях / Е.В. Бобрук, **И.А. Рамазанов**, В.В. Астанин, Н.Г. Зарипов, В.У. Казыханов, А.М. Дриц, М.Ю. Мурашкин, Н.А. Еникеев // Физика металлов и металловедение. – 2023. – Т. 124, № 8. – С. 771-782. **K1**

2. High strain-rate superplasticity of ultrafine-grained Al-Mg-Mn-Zn-Zr alloy / V.V. Astanin, E.V. Bobruk, I.A. Ramazanov, M.M. Abramova, N.G. Zaripov, N.A. Enikeev // Letters on Materials. – 2023. – Т. 13. № 4 (52). – С. 408-413. **K1, 2.6.6.**

3. Эволюция микроструктуры и механические свойства металломатричного композита Al-B с ультрамелкозернистой алюминиевой матрицей / Е.В. Бобрук, **И.А. Рамазанов**, В.В. Астанин // Физическая мезомеханика. – 2024. – Т.27.№ 4. – С.22-33. **K1**

4. Свойства композита из ультрамелкозернистой титановой матрицы и непрерывного борного волокна / **И. А. Рамазанов** //Materials. Technologies. Design. – 2026. – Т. 8, No 3(26). – 14–21. **K2, 2.6.6.**

Публикации в изданиях, входящих в базы Scopus и Web of science:

5. Al-Mg-Mn-Zn-Zr alloy with refined grain structure to develop Al-B fiber-reinforced metal matrix composites compacted in superplastic conditions / E.V. Bobruk, V.V. Astanin, **I.A. Ramazanov**, N.G. Zaripov, V.U. Kazykhanov, N.A. Enikeev // Materials Today Communications. – 2023. – V. 37. – # 107527. **SJR (2023) Q2**

6. Low-temperature superplasticity and high strength in the Al 2024 alloy with ultrafine grains / E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, **I.A. Ramazanov**, V.U. Kazykhanov, R.Z. Valiev // Materials. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 727. **WoS (2023) Q1**

7. Low-temperature superplasticity of ultrafine-grained aluminum alloys: recent discoveries and innovative potential / E.V. Bobruk, N.G. Zaripov, **I.A. Ramazanov**, N.Q. Chinh, R.Z. Valiev // Materials. – 2024. – Т. 17, № 13. – С. 3311. **WoS (2024) Q1**

8. Low-temperature superplastic behavior of nanostructured Al-Zn-Mg-Cu alloy / E.V. Bobruk, **I.A. Ramazanov**, A.V. Ganeev, A. P. Orlov A.V. Mikhaylovskaya, M. Yu. Murashkin // Materials Letters. – 2024. – V. 377. – # 137497. *SJR (2024) Q2*

9. Low temperature superplasticity of ultrafine-grained VT6 alloy / V.V. Astanin, **I.A. Ramazanov**, N. Enikeev, E.V. Bobruk // Transactions of the Indian institute of metals. – 2025. V. 78, 2. – P. 37-47. *SJR (2024) Q2*

10. Modeling and obtaining of metal-matrix composite with ultrafine-grained Ti matrix / **I.A. Ramazanov**, M.E. Klimov, A.I. Gomzin, V.V. Astanin, E.V. Bobruk // Materials letters. – 2025. – V.385(6). – # 138145. *SJR (2024) Q2*

Патенты на изобретение:

1. Патент RU 2819775 С1. РФ. Способ получения композитов с металлической матрицей, использующий эффект низкотемпературной сверхпластичности: № 2023131317 от 30.11.2023: опубл. 24.05.2024 / В.В. Астанин, Е.В. Бобрук, **И.А. Рамазанов**. – 10 с.

Достоверность полученных результатов работы и обоснованность, выносимых на защиту положений и выводов, обеспечивалась применением современных методик исследования на поверенном оборудовании, в том числе на уникальных научных установках, моделированием методом конечного элемента. Достоверность результатов исследования подтверждена сходимостью полученных данных с результатами мировых исследований, представленных в литературе. Результаты проведённых исследований проходили рецензирование в высокорейтинговых мировых и отечественных научных журналах и апробированы на ведущих международных и отечественных конференциях

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

- установлено, что в результате термомеханической обработки, включающей равноканальное угловое прессование по схеме Конформ и последующую прокатку в условиях низкотемпературной сверхпластичности, в фольговом полуфабрикате толщиной 0,2 мм из сплава 1565ч формируется ультрамелкозернистая структура с размером зерен 230 нм и наночастицами размером до 30 нм, которые повышают устойчивость зерен к укрупнению в процессе низкотемпературной деформации. При этом существующие аналоги с мелкозернистой структурой (размер зерен 6-15 мкм) производят в виде листового полуфабриката толщиной от 3 до 10 мм.

- впервые на основе анализа структуры, температурно-скоростных условий реализации низкотемпературной сверхпластичности, а также компьютерного

моделирования установлены реологические параметры (напряжение, скорость, температура) процесса прессования (температура не более 0,6Тпл и скорости деформации 10^{-2} и 10^{-3} с $^{-1}$) композитных структур на основе наноструктурированного сплава 1565ч или ультрамелкозернистого ВТ6, армированных непрерывными волокнами бора диаметром 140 мкм.

- продемонстрирован научно-обоснованный подход получения армированных композитных структур прессованием в режиме низкотемпературной сверхпластичности матричного материала на основе наноструктурированного Al или ультрамелкозернистого Ti сплавов в виде фольги толщиной 0,2 мм, что: обеспечило заполнении зазоров между непрерывными волокнами и снижение температуры прессования с 550 °С до 300 °С Al матрицы и с 930 °С до 650 °С Ti матрицы, по сравнению с существующими режимами прессования мелкозернистых аналогов (6-15 мкм); привело к формированию на поверхности раздела матрица-волокно наноразмерных боридов размером до 100 нм, в отличие от грубых выделений и сплошных реакционных зон.

- показано увеличение механических свойств образцов армированных композитных структур в условиях статических, циклических и ударных нагрузок, которые превышают не менее, чем на 20 % значения существующих аналогов. Образцы с композитной структурой Al-B демонстрируют прочность при изгибе 1345 МПа, значение ударной вязкости 160 кДж/м ^{2} , предел ограниченной выносливости 500 МПа; образцы с композитной структурой Ti-B демонстрируют прочность при изгибе 2420 МПа, значение ударной вязкости 510 кДж/м ^{2} , предел ограниченной выносливости 1300 МПа.

Практическая значимость проведенных исследований состоит в том, что:

- предложен метод получения наноструктурированного фольгового полуфабриката толщиной 0,2 мм из сплава 1565ч системы Al-Mg-Mn для создания армированных композитных структур с применением низкотемпературной сверхпластичности. А именно, равноканальное угловое прессование по схеме Конформ при температуре 200 °С, 6 проходов и последующая изотермическая прокатка со скоростью деформации 0,4 с $^{-1}$, с суммарной степенью обжатия 98 %: 30 проходов со степенью деформации при каждом проходе не более 10 %.

- предложен технологически пригодный подход получения композитных структур с металлической матрицей из сплавов на основе Al и Ti, армированных волокнами бора, включающий в себя прессование в изотермических условиях в

режиме низкотемпературной сверхпластичности с приложением давления для его уплотнения; для достижения полной металлической связи слоев фольги и связи по границе матрица-волокно, на финальной стадии прессования необходимо повышение температуры на 50 °С и выдержка под давлением при этой температуре.

- показан пример экспериментальной оптимизации температурно-скоростных режимов прессования в изотермических условиях образцов с армированной композитной структурой, состоящих из фольги наноструктурированного сплава 1565ч или ультрамелкозернистого сплава ВТ6 и непрерывного волокна бора диаметром 140 мкм. Использование наноструктурированных матриц из сплавов 7475 и 2024 подтвердило работоспособность подхода для получения образцов композитных структур прессованием в установленных условиях низкотемпературной сверхпластичности.

Теоретическая значимость и ценность проведенных исследований заключается в:

1. Получении новых результатов в области исследования формирования в фольговом материале специальных микроструктур сплава 1565ч, содержащих наноразмерные частицы вторых фаз размером до 30 нм, имеющие важное значение для реализации низкотемпературной сверхпластичности, носит универсальный характер и применим к сплавам других систем легирования, в частности 2024 и 7475, для использования в качестве матрицы при создании композитных структур.

2. Определении с помощью компьютерного моделирования и физического эксперимента рациональных условий для заполнения матричным материалом из наноструктурированного сплава межволоконного пространства шириной ≥ 16 мкм в образцах с армированной композитной структурой, что позволяет увеличить плотность укладки волокон и повысить их механические свойства.

3. Исследовании наноразмерных боридов (до 100 нм), которые образуются в процессе формирования композитной структуры, исключают деградацию волокон бора и обеспечивают прочную связь по границе раздела волокна с матрицей.

Обоснование выбранной специальности и отрасли науки диссертации

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы, при этом работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

1.1. Технологические и экспериментальные исследования процессов получения наноматериалов и их обработки, в том числе посредством формирования наноструктур на подложках, объёмного модифицирования расплавов, пластической деформации, консолидации нанопорошков, модифицирования поверхности материалов, облучения ускоренными частицами, термической и термомеханической обработки; разработка технологий и оборудования.

1.2. Исследование влияния параметров элементов структуры на свойства наноматериалов.

1.5. Исследование взаимосвязи химического и фазового составов, структурного состояния с физическими, механическими, химическими, технологическими, эксплуатационными и другими свойствами наноматериалов.

1.9. Разработка и компьютерная реализация математических моделей при производстве, обработке, и переработке наноматериалов. Компьютерный анализ и оптимизация процессов.

Отрасль науки - технические науки, поскольку приведенные результаты исследований дают существенный вклад в изучение природы композитных структур, полученных прессованием в условиях низкотемпературной сверхпластичности с наноструктурированной матрицей из Al или Ti сплавов.

Полнота изложения материалов диссертации

Научные результаты, полученные автором, достаточно полно представлены в его публикациях в рецензируемых журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в Web of Science и Scopus. Основные результаты диссертации изложены в 10 научных публикациях и подтверждены патентом на изобретение. Полученные результаты апробированы на ведущих всероссийских и международных конференциях.

Диссертация Рамазанова И.А., соответствует требованиям, установленным п.14 «Положения о присуждении ученых степеней»:

- отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации;

- соискатель ссылается на источники заимствования.

Диссертация «Наноструктурированные сплавы на основе Al и Ti для создания армированных композитных структур» Рамазанова Ильнара

Альффридовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Заключение принято на расширенном заседании научно-исследовательского института физики перспективных материалов и управления проектной работы и предпринимательства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

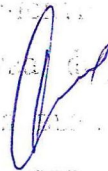
Присутствовало на заседании 14 человек, в том числе 13 докторов наук

Результаты голосования: «за» – 14 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек.

Протокол № 1 от «10» сентября 2026 г.

Председательствующий заседания

директор НИИ ФГПМ, д.ф.-м.н., профессор



Валиев Руслан Зуфарович



Подпись Валиев Р.З.
Договорю «10» 09 2026.
Главный специалист общего отдела УНИТ Валиев Р.З.