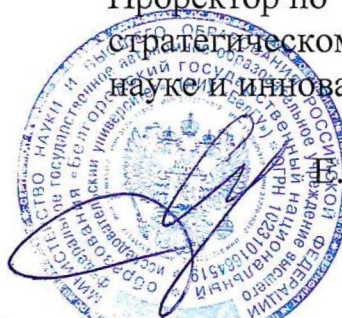


УТВЕРЖДАЮ

Проректор по
стратегическому развитию,
науке и инновациям



Е.В. Скрипникова

07.11.2025

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» на диссертационную работу Бобрук Елены Владимировны на тему **«Наномасштабные особенности границ зерен и механизмы низкотемпературной сверхпластичности наноструктурированных сплавов на основе алюминия»**, представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

Актуальность диссертационной работы

В рамках диссертационной работы Бобрук Е.В. предлагается решение такой важной научной проблемы как расширение диапазона температурно-скоростных условий для сверхпластической деформации алюминиевых сплавов с сохранением высокой прочности этих материалов после формообразующей операции. Предполагается, что решение данной проблемы откроет новые возможности в области сверхпластической формовки, а также создания новой технологии получения алюмоматричных композитов. Таким образом, актуальность данной диссертационной работы не вызывает сомнений.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 222 наименований. Общий объем диссертации составляет 242 страницы. Работа содержит 123 рисунка и 16 таблиц. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования и находятся в логическом единстве.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и поставлены задачи исследований, отражены научная новизна и практическая значимость работы, а также приведены положения, выносимые на защиту.

ВХОД. №	4531-13
« 24 »	11 2025г.

В первой главе представлены закономерности распада твердого раствора в ходе интенсивной пластической деформации сплавов системы Al-Zn с сопутствующим выделением сегрегаций и частиц вторичных фаз в теле зерен и по их границам. Показано, что зернограницные выделения могут интенсифицировать процесс зернограницного проскальзывания в ходе последующей деформации и, таким образом, способствовать существенному расширению температурно-скоростного диапазона сверхпластичности.

Во второй главе исследованы особенности процесса распада твердого раствора в ходе интенсивной пластической деформации сплавов системы Al-Zn-Mg с сопутствующим выделением сегрегаций и частиц вторичных фаз в теле зерен и по их границам. Показано, что в данном классе сплавов зернограницные выделения также интенсифицируют зернограницное проскальзывание и, таким образом, также способствуют существенному расширению температурно-скоростного диапазона сверхпластичности.

В третьей главе рассмотрены закономерности эволюции структурно-фазового состава термически неупрочняемых сплавов системы Al-Mg-Mn в ходе интенсивной пластической деформации и влияние этого процесса на поведение материала в условиях последующей сверхпластичности. Установлено, что интенсивная пластическая деформация сопровождается выделением зернограницных частиц и сегрегаций, которые способствует интенсификации процесса зернограницного проскальзывания.

В четвертой главе проанализированы особенности эволюции микроструктуры термоупрочняемых алюминиевых сплавов, принадлежащих системам Al-Mg-Si-Cu, Al-Mg-Si и Al-Cu-Mg, в ходе интенсивной пластической деформации. Также было выявлено образование сегрегаций примесных атомов и метастабильных частиц вторичных фаз на границах зерен. В ходе последующей сверхпластической деформации эти зернограницные выделения обеспечивали интенсификацию процесса зернограницного проскальзывания и препятствовали росту зерен и, тем самым, способствовали расширению температурно-скоростных условий проявления сверхпластичности.

В пятой главе рассмотрены некоторые практические аспекты выявленных эффектов. В частности, показано, что полученный мелкозернистый материал является пригодным для глубокой вытяжки при сверхпластических условиях. Также показано, что феномен низкотемпературной сверхпластичности может быть успешно использован для получения алюмоматричных композитов.

В заключении приведены общие выводы, сделанные по полученным в диссертационной работе результатам.

Научная новизна результатов, изложенных в диссертации

Научная новизна диссертации Бобрук Е.В. заключается в следующем:

(1) Выявлен распад пересыщенного твёрдого раствора в ходе интенсивной пластической деформации широкого спектра алюминиевых сплавов, сопровождающийся образованием сегрегаций и частиц вторичных фаз на границах зерен. Установлены особенности этого процесса в различных классах алюминиевых сплавов.

(2) Показано, что данные зернограницные выделения интенсифицируют процесс зернограницного проскальзывания в ходе последующей сверхпластической деформации. Как следствие, они способствуют существенному расширению температурно-скоростного диапазона проявления феномена сверхпластичности. Установлены особенности этого эффекта в различных классах алюминиевых сплавов.

(3) Установлено, что зернограницные выделения также обеспечивают повышенные механические свойства изделий, полученных в результате сверхпластической деформации.

(4) Показана пригодность феномена низкотемпературной сверхпластичности для изготовления алюмоматричных композитов, а также изделий сложной формы посредством глубокой вытяжки.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность научных результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивалась применением современных методик исследования на сертифицированном оборудовании, в том числе на уникальных научных установках, а также экспериментами «in-situ», а также использованием различных способов численного моделирования, включая метод конечных элементов и метод теории функционала электронной плотности.

Достоверность подтверждается сходимостью полученных данных с результатами, опубликованными в международной научно-технической литературе. Все результаты диссертационной работы были подвергнуты тщательному рецензированию в ходе их публикации в высокорейтинговых мировых и отечественных научных журналах, а также были апробированы на ведущих международных и всероссийских конференциях.

Теоретическая значимость диссертационной работы

(1) Теоретически обоснованы подходы к получению специальных микроструктур с выделениями наноразмерных частиц вторичных фаз и границ зерен, содержащих сегрегации в наноструктурированных алюминиевых сплавах.

2. Расширены знания об особенностях механизмов низкотемпературной сверхпластичности в наноструктурированных сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg с наномасштабными зернограницными выделениями, способствующими протеканию зернограницного проскальзывания.

3. Составлена карта температурно-скоростных условий реализации низкотемпературной сверхпластичности в наноструктурированных сплавах систем Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, предназначенных для применения в перспективных конструкциях наземного и воздушного транспорта.

Результаты исследований по теме диссертационной работы представлены соискателем в 54 научных публикациях в журналах, входящих в список журналов, рекомендованных ВАК РФ и/или международных наукометрических базах Web of Science и/или Scopus

Практическая значимость диссертационной работы

(1) Предложен способ получения наноструктурированного листового полуфабриката в виде фольги из сплава системы Al-Mg-Mn с размером зерен 200 нм, который демонстрирует низкотемпературную сверхпластичность при температурах 250-300°C.

(2) Предложен способ формирования наноструктурированного состояния в высокопрочном сплаве системы Al-Cu-Mn, который проявляет эффект низкотемпературной сверхпластичности при температуре 270°C (патент: RU 2024133203C1 от 01.07.2025).

(3) Предложен способ получения алюмо-матричного композиционного материала, состоящего из наноструктурированной матрицы из сплава Al-Mg-Mn, армированной непрерывным высокопрочным волокном, в условиях низкотемпературной сверхпластичности (патент RU 2819775 C1 от 24.05.2024).

(4) Предложен способ получения деталей сложной формы из наноструктурированного сплава Al-Zn-Mg (патент RU 2739926C1 от 29.12.2020).

Результаты исследований по теме диссертационной работы оформлены в виде 4 патентов на изобретение.

Соответствие паспорту научной специальности и отрасли наук:

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.6. «Нанотехнологии и наноматериалы» (отрасли науки физико-математические) по п. 1.2 – «Исследование влияния параметров элементов структуры на свойства наноматериалов»; п. 1.5 – «Исследование

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

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы перспективны для практического использования наноструктурированных алюминиевых сплавов, так как позволяют управлять их свойствами за счет изменения параметров микроструктуры, в частности, среднего размера зерна, плотности дефектов кристаллического строения, их распределения, а также контролируемого распада твёрдого раствора и перераспределения атомов легирующего элемента на границах зёрен в результате термомеханической обработки, включающей интенсивную пластическую деформацию. Это расширяет применение наноструктурированных материалов, в том числе, способствует развитию и внедрению нанотехнологий в реальный сектор производства. В диссертации уже продемонстрированы примеры инновационного применения эффекта низкотемпературной сверхпластичности, обеспечивающего получения высокопрочных изделий сложной формы. Рекомендации по результатам и выводам диссертации могут также касаться внедрения в научно-образовательные программы дисциплины по физическому материаловедению при изучении металлов и сплавов.

Замечания по диссертационной работе

(1) Не вполне понятен масштаб проявления (статистическая значимость) эффекта образования зернограницных выделений в ходе интенсивной пластической деформации алюминиевых сплавов.

(2) Не вполне ясен физический механизм, посредством которого зернограницные выделения обеспечивают интенсификацию процесса зернограницного проскальзывания в ходе сверхпластической деформации.

(3) Не вполне понятен физический механизм, посредством которого зернограницные выделения обеспечивают упрочняющий эффект в микроструктурных состояниях, рассмотренных в работе (т.е. с размером зерен от 100 до 700 нм).

(4) Можно ли транслировать полученные результаты для других систем алюминиевых сплавов?

(5) Не вполне понятен механизм формирования Zn прослоек на неравновесных границах при интенсивной пластической деформации.

(6) Не будет ли проявление сверхпластичности при комнатной

температуре препятствием для эксплуатации деталей?

Указанные замечания не оказывают влияния на общую положительную оценку диссертационной работы Бобрук Е.В.

Заключение

Рассмотрев диссертационную работу Бобрук Е.В., считаем, что в представленной работе получен ряд важных и новых экспериментальных результатов, выводы обоснованы и сформулированы корректно. Полученные результаты доказывают возможность существенного расширения диапазона сверхпластичности посредством управления сегрегаций примесных атомов и частиц вторичных фаз на границах зерен в алюминиевых сплавах, подвергнутых интенсивной пластической деформации.

Содержание диссертации отражено в достаточном количестве статей, опубликованных в рецензируемых периодических изданиях, входящих в список ВАК, а также в материалах и трудах научных конференций. Автореферат диссертации и публикации диссертанта достаточно полно отражают содержание диссертации. Диссертация и автореферат оформлены в полном соответствии с установленными в ГОСТ Р 7.0.11-2011 требованиями.

Диссертация Бобрук Елены Владимировны на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложено решение важной научной проблемы по расширению диапазона температурно-скоростных условий реализации сверхпластичности в алюминиевых сплавах с сохранением высокой прочности после формообразующей операции, что имеет важное хозяйственное значение и способствует научно-техническим решениям на предприятиях алюминиевой промышленности России для получения листового полуфабриката с повышенной прочностью при температурах до 300 °С.

В целом, по научному уровню полученных результатов, а также своему содержанию и оформлению, представленная диссертационная работа соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 25.01.2024 г. № 62). Её автор, Бобрук Елена Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы.

Диссертация соискателя и отзыв на нее были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры материаловедения и нанотехнологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский

университет» 22 сентября 2025 г. (протокол № 2). Результаты голосования: «За» — 15 чел., «Против» — нет, «Воздержались» — нет.

Я, Федосеева Александра Эдуардовна, даю согласие на обработку своих персональных данных.

Я, Миронов Сергей Юрьевич, даю согласие на обработку своих персональных данных.

Отзыв подготовили:

Доцент кафедры материаловедения

и нанотехнологий ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»

д. техн. н. по специальности 2.6.1 Металловедение

и термическая обработка металлов и сплавов, доцент



/ Федосеева Александра Эдуардовна

07.11.2025

Ведущий научный сотрудник лаборатории

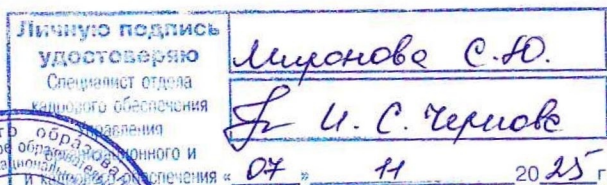
механических свойств жаропрочных

и наноструктурных материалов

ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»

д. физ-мат. н. по специальности

01.04.07 Физика конденсированного состояния



/ Миронов Сергей Юрьевич

07.11.2025

Сведения о ведущей организации

Адрес: 308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Телефон: +7 (4722) 30-12-11

Адрес электроники почты: Info@bsuedu.ru