

УТВЕРЖДАЮ:

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

Д.Ф.-М.Н., доцент

И.Ф. Шарафуллин

« 8 » сентября 2025 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Наномасштабные особенности границ зерен и механизмы низкотемпературной сверхпластичности наноструктурированных сплавов на основе алюминия» выполнена в научно-исследовательском институте физики перспективных материалов и управлении научных исследований и разработок и ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,

В период подготовки диссертации соискатель Бобрук Елена Владимировна обучалась в очной докторантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы (металлургия и материаловедение). В настоящее время работает в должности ведущего научного сотрудника управления научных исследований и разработок Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов на тему «Особенности структуры и механические свойства ультрамелкозернистых алюминиевых сплавов системы Al-Mg-Si, обработанных методами интенсивной пластической деформации» защитила в 2011 году в диссертационном совете Д 212.111.05, созданного при ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,

В 2002 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный

авиационный технический университет» по специальности «Материаловедение в машиностроении».

**Научный консультант** – доктор физико-математических наук, Еникеев Нариман Айратович, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Металлы и сплавы при экстремальных воздействиях» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

**По итогам обсуждения принято следующее заключение:**

**1. Диссертация Бобрук Е.В. является законченной научно-квалификационной работой**, соответствующей п.9 «Положения о присуждении ученых степеней, в которой отражается научно-обоснованные результаты исследования эволюции структурно-фазовых превращений на наномасштабном уровне в объемных наноструктурированных (НС) материалах, полученных методами интенсивной пластической деформации. В диссертации решена проблема по расширению диапазона температурно-скоростных условий реализации сверхпластичности (СП) в Al сплавах с сохранением высокой прочности после формообразующей операции, что имеет хозяйственное значение и способствует научно-техническим решениям на предприятиях алюминиевой промышленности для получения листового полуфабриката с повышенной прочностью в интервале температур от комнатной до 300°C.

**2. Соискателем лично получены все основные результаты, выносимые на защиту:**

1. Результаты моделирования и экспериментальных in-situ наблюдений, позволяющие выявить ранее неустановленное влияние цинковых прослоек на основной механизм сверхпластической деформации - зернограничное проскальзывание, приводящее к возникновению низкотемпературной сверхпластичности НС сплава системы Al-Zn, связанное с непрерывной миграцией атомов Zn в процессе деформации в область границ зёрен, в том числе из частиц Zn, находящихся в тройных стыках. Закономерности изменения структурно-фазового состояния в НС сплавах системы Al-Zn и феномен динамического перераспределения атомов легирующего элемента Zn, сопровождающие проявление сверхпластичности при пониженной температуре вплоть до комнатной.

2. Микромеханизмы эволюции исходной наноструктуры в процессе низкотемпературной сверхпластической (НТСП) деформации, связанные с образованием мелкодисперсных частиц и зернограничных сегрегаций атомов легирующих элементов, обеспечивающих стабильность ультрамелкого размера зёрен, и сохранит высокопрочное состояние в НС промышленных сплавах систем Al-Zn-Mg, Al-Mg-Si и Al-Cu-Mg после деформации в условиях низкотемпературной сверхпластичности.



3. Особенности структурно-фазового состояния в НС сплаве системы Al-Mg-Mn, позволяющие реализовать высокоскоростную сверхпластичность при пониженной температуре в НС сплаве системы Al-Mg-Mn за счёт блокирования внутризеренного дислокационного скольжения частицами вторичной фазы  $Al_3Mg_2$  и сегрегациями атомов Mg в теле зерен, что способствовало развитию альтернативного механизма сдвиговой деформации - кооперированного зернограницного проскальзывания.

4. Феноменологическое описание особенностей протекания НТСП в зависимости от типа и конфигурации наномасштабных сегрегаций атомов легирующих элементов и вторичных фаз внутри и на границах алюминиевых зерен. Карта температурно-скоростных условий протекания низкотемпературной сверхпластичности в зависимости от химического состава НС сплавов систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg.

5. численные модели для установления режимов получения пилотных образцов сложной формы после многоосной деформации и бездефектных образцов металломатричного композита из НС сплава системы Al-Mg-Mn и непрерывного высокопрочного волокна в условиях низкотемпературной сверхпластической деформации. Результаты исследований, демонстрирующие возможность формовки в условиях низкотемпературной сверхпластичности высокопрочных изделий сложной формы и металломатричного композита на основе высокопрочных Al сплавов, превосходящих по комбинации свойств промышленные композиты.

В основных опубликованных работах получены следующие результаты:

- в работах [19, 22, 23, 25, 26, 31, 32, 42] представлены исследования эволюции структуры с анализом распада пересыщенного твердого раствора и образованием Zn фазы в теле, в тройных стыках и по границам Al зерен НС сплавов системы Al-Zn с разным содержанием Zn (2, 5, 10 и 30 вес.%) в процессе деформационно-термической обработки, включающей ИПД и кратковременные in-situ отжиги, изменение механического поведения при пониженных температурах.

- в работах [37, 39] представлены особенности механизма СП при КТ с помощью in-situ эксперимента модельного НС Al-30Zn сплава.

- в работах [27, 33, 35, 41-44, 46, 47, 52] представлены результаты исследования распада пересыщенного твердого раствора с образованием Zn и Mg сегрегаций по границам Al зерен и вторичной фазы  $MgZn_2$ . Представлено влияние взаимодополняющих элементов Zn и Mg на проявление низкотемпературной СП высокопрочными НС Al-Zn-Mg сплавами. Приведен анализ механизма низкотемпературной СП.



- в работах [8-11, 38] представлены результаты исследования эволюции ультрамелкозернистой структуры в процессе деформационно-термической обработки и его влияние на СП поведение при пониженных температурах и повышенных скоростях деформации сплава 1565ч системы Al-Mg-Mn.

- в работах [1-5, 14-18, 20, 21, 30, 34, 48-51] представлены результаты изменения кинетики распада пересыщенного твердого раствора с образованием вторичной фазы и сегрегаций атомов легирующих элементов по границам Al зерен НС сплавов термически-упрочняемых сплавов систем Al-Mg-Si, которые не склонны к проявлению СП в мелкозернистом состоянии, в процессе деформационно-термической обработки, включающей ИПД и кратковременные отжиги. Описаны механическое поведение при пониженных температурах, а также определены особенности механизма СП.

в работах [6, 7, 24, 28, 29, 40] представлены результаты изменения кинетики распада пересыщенного твердого раствора с образованием вторичной фазы и сегрегаций атомов Cu по границам Al зерен НС сплавов термически-упрочняемого сплава 2024 системы Al-Cu-Mg, который не склонен к проявлению СП в мелкозернистом состоянии, в процессе деформационно-термической обработки, включающей ИПД и кратковременные отжиги. Описаны механическое поведение при пониженных температурах, а также определены особенности механизма СП.

- в работах [10-13, 38, 45] представлены анализ условий (размер зерен, температура и скорость деформации) и критериев (пластичность, напряжения и коэффициент скоростной чувствительности) реализации НТСР в НС Al сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg и представлено инновационное применение эффекта НТСР в сплавах этих систем.

Опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертационной работы. Статьи подготовлены совместно с научным консультантом, студентом, аспирантами и другими членами научного коллектива, в том числе зарубежного.

**3. 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, экспериментами «in-situ», моделирования на атомном уровне основанного на теории функционала электронной плотности, 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

#### **4. Научная новизна результатов работы заключается в следующем:**

Впервые проведен комплекс работ по установлению закономерностей фазовых превращений на наномасштабном уровне, способствующих проявлению эффекта НТСП, в модельных сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg-Zr и Al-Cu, высокопрочных сплавах систем Al-Zn-Mg-Cu и Al-Cu-Mg, термически-упрочняемых сплавах системы Al-Mg-Si и термически-неупрочняемом сплаве системы Al-Mg-Mn:

1. Выявлены закономерности ранее не наблюдавшегося изменения фазового состава в НС сплавах системы Al-Zn, а именно: распад пересыщенного твёрдого раствора с образованием наноразмерной второй фазы в теле и в тройных стыках Al зерен, сопровождающегося распределением атомов легирующего элемента Zn в область ГЗ в процессе деформационно-термической обработки, что приводит к понижению температуры НТСП за счет стимуляции ЗГП.

2. Установлены особенности формирования НС состояния, сопровождающегося распадом пересыщенного твердого раствора с образованием сегрегаций атомов Zn, Mg, Cu и регламентированным распределением вторичной фазы для достижения высокопрочного состояния в сплавах систем Al-Zn-Mg, Al-Mg-Si и Al-Cu-Mg конструкционного назначения в сочетании с эффектом НТСП при температурах 170-270°C. При этом серийно производимые аналоги в мелкозернистом состоянии проявляют СП при температурах 380-520°C.

3. Установлены ключевые факторы формирования НС состояний сплава системы Al-Mg-Mn, сопровождающегося распадом пересыщенного твердого раствора с образованием вторичной фазы  $Al_3Mg_2$  и сегрегацией атомов Mg для достижения высокоскоростной НТСП, которая осуществляется путем сочетания, кооперированного ЗГП и повышенного сопротивления ВДС. Формирование НС состояния в сплаве системы Al-Mg-Mn позволило снизить диапазон температур проявления СП до 250-300°C в отличие от мелкозернистых серийных аналогов (450-520°C).

4. Необходимый для проявления НТСП механизм ЗГП, сопровождающегося вращением зёрен, реализуется в разных диапазонах температур за счёт комбинированного действия совокупности разных факторов, определяемой составом и морфологией наноразмерных сегрегаций, зернограничных прослоек и частиц. Установлены три характерных фактора, обеспечивающие НТСП в НС Al сплавах разных систем. Легирование цинком Al сплавов с ультрамелкими зёрнами приводит к образованию ЗГ прослоек Zn шириной 2-3 нм, которые



облегчают ЗГП и способствуют развороту Al зерен за счёт благоприятных для скольжения плоскостей Zn фазы вдоль ГЗ. С увеличением содержания Zn (до 30 %) снижается температурный диапазон вплоть до комнатной реализации эффекта СП. Присутствие других легирующих элементов, таких как Mg приводит, к образованию неоднородных ЗГ сегрегаций и наночастиц второй фазы в теле зёрен, которые ограничивают миграцию границ зёрен и подавляют ВДС, таким образом, усиливая роль ЗГП, требующего усиления диффузионных процессов, обеспечивающих аккомодацию УМЗ структуры к протеканию ЗГП. Этот процесс сдвигает температуру проявления СП в область более высоких значений (~170-200°C). В термически-неупрочняемом сплаве Al-Mg-Mn наблюдается проявление высокоскоростной НТСП (скорость деформации до  $10^{-2} \text{ с}^{-1}$ ), которая осуществляется путем сочетания КЗГП и ВДС, при этом температурной диапазон сдвигается в область более высоких температур (до 300°C) по причине необходимости аккомодации спрямления тройных стыков, что затрудняется формированием неоднородных ЗГ сегрегаций, подавляющих миграцию ГЗ.

Составлена карта температурно-скоростных условий проявления НТСП с учетом наномасштабных особенностей тонкой структуры в сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si и Al-Mg-Mn в НС состоянии и фенологическое описание действия различных факторов, обуславливающих реализацию ЗГП/КЗГП в разных температурно-скоростных интервалах.

5. На основе моделирования методом конечных элементов и физического эксперимента в температурно-скоростных условиях протекания НТСП продемонстрирована возможность изготовления бездефектных ММК из НС Al-Mg-Mn матрицы, армированной непрерывным волокном, и изделий сложной формы из НС сплавов систем Al-Zn-Mg, Al-30Zn в условиях НТСП при многоосном нагружении с сохранением УМЗ структуры и прочностных свойств в конечном изделии.

**5. Практическая значимость** проведенных исследований состоит в том, что:

- теоретически обоснованы подходы к получению специальных микроструктур с выделениями наноразмерных частиц вторичных фаз и ГЗ, содержащих сегрегации в промышленных Al НС сплавах для эффективного управления механизмами деформации и обеспечения уровня пластичности, достаточного для осуществления формообразующей операции в условиях НТСП, после реализации которой сохраняется высокопрочное состояние.



- расширены знания об особенностях механизмов НТСП в НС сплавах систем Al-Zn, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg с наномасштабными параметрами, которые способствуют протеканию ЗГП, поддерживаемое ВДС и вращения зерен.

- составлена карта температурно-скоростных условий реализации НТСП НС сплавов систем Al-Zn-Mg, Al-Mg-Mn, Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg, предназначенных для применения в перспективных конструкциях наземного и воздушного транспорта.

Практическая значимость подтверждается грантами: Правительства РФ № 14.B25.31.0017 «Механика перспективных массивных наноматериалов для инновационных инженерных приложений»; гранта Президента РФ № СП-2212.2013.1; ФЦП №14.586.21.0061, РНФ № 22-29-00866 «Создание высокопрочных металломатричных композитов на основе наноструктурных алюминиевых сплавов, армированных непрерывными волокнами»; РНФ № 24-19-00819 «Исследование и разработка сверхпластичной ультрамелкозернистой металлической матрицы из легких сплавов для создания высокопрочных композитов, армированных непрерывными волокнами»; государственное задание № FEUE-2023-0006 «Исследование физико-химических и механических процессов при формообразовании и упрочнении деталей для авиакосмической и транспортной техники».

**6. Ценность научных работ** заключается в том, что в результате выполненных исследований:

- предложен способ получения НС листового полуфабриката в виде фольги из сплава системы Al-Mg-Mn с размером зерен 200 нм, который демонстрирует НТСП при температурах 250-300 °С.

- предложен способ формирования НС состояния в высокопрочном сплаве системы Al-Cu-Mn, который проявляет эффект НТСП при температуре 270 °С (заявка: RU 2024133203C1 от 06.11.2024).

- предложен способ получения алюмо-матричного композиционного материала, состоящего из НС Al-Mg-Mn матрицы, армированной непрерывным высокопрочным волокном, в условиях НТСП (патент RU 2819775 C1 от 24.05.2024).

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

**7. 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:



П 1. Методы получения наноматериалов, композитных структур, структур пониженной размерности, приборов и интегральных устройств на их основе.

П 2. Структурные, морфологические и механические свойства наноматериалов и композитных структур на их основе.

П 4. Атомные кластеры и наноструктуры на поверхности. Границы раздела в наноматериалах и композитных структурах.

П 9. Моделирование свойств, физических явлений и технологических процессов в наноматериалах и композитных структурах.

П 12. Методы исследования наноматериалов и композитных структур.

**Отрасль науки** - физико-математические науки, поскольку приведенные результаты исследований дают существенный вклад в изучение природы низкотемпературной сверхпластичности наноструктурированных алюминиевых сплавов; объяснены механизмы реализации сверхпластичности на наномасштабном уровне, в том числе с помощью in-situ экспериментов.

#### **8. 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 52 научных публикациях и подтверждены 4 патентами на изобретение. Полученные результаты были апробированы в кругу профильных специалистов путем представления на ведущих всероссийских и международных конференциях.

##### Публикации в отечественных журналах из перечня изданий ВАК:

1. Особенности структуры и механические свойства алюминиевого сплава 6061, подвергнутого обработке равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах / М.Ю. Мурашкин, Е.В. Бобрук, А.Р. Кильмаметов, Р.З. Валиев // Физика металлов и металловедение. – 2009. – Т. 108, № 4. – С. 439-447. **К1**

2. Интенсивная пластическая деформация цилиндрической металлической заготовки выдавливанием, совмещенным с равноканальным угловым прессованием в параллельных каналах / А.В. Боткин, Р.З. Валиев, М.Ю. Мурашкин, Г.И. Рааб, Е.В. Бобрук, А.И. Назмиев, А.А. Зеленцов // Кузнечно-штамповочное производство, обработка металлов давлением. – 2010. – Т. 10. – С. 36-42. **К2, 2.6.6**

3. Влияние ИПД и искусственного старения на структуру и свойства сплава АД31 / Е.В. Бобрук, В.У. Казыханов, М.Ю. Мурашкин // Научное обозрение. – 2012. – Т. 5. – С. 27-32. **К3**

4. Структура и свойства алюминиевого сплава системы Al-Mg-Si после обработки методом Мульти-РКУП-Конформ / Э.И. Фахретдинова, Е.В. Бобрук,

Г.Ю. Сагитова, Г.И. Рааб // Письма о Материалах. – 2015. – Т. 5, № 2. – С. 202-206. **K1, 2.6.6.**

5. Усталостная прочность алюминиевого сплава 6061 с ультрамелкозернистой структурой, сформированной интенсивной пластической деформацией кручением / М.Ю. Мурашкин, Е.В. Бобрук, Д.В. Просвирин, И.А. Овидько, В.Ф. Терентьев, С.В. Добаткин, Р.З. Валиев // Деформация и разрушение материалов. – 2015. – Т. 4. – С. 17-24.

6. Оптимизация структуры и свойств алюминиевого сплава системы Al-Cu-Mg / О.В. Паитова, Е.В. Бобрук, М.А. Скотникова // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 5. – С. 476-482. **K1**

7. Паитова, О. В. Влияние интенсивной пластической деформации на структуру и свойства алюминиевого сплава системы Al-Cu-Mg / Паитова О.В., Бобрук Е.В., Шашерина С.А., Скотникова М.А. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2020. – Т. 63, № 6. – С. 569-576. **K1**

8. Проявление сверхпластичности при пониженных температурах сплава 1565с 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**

9. 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.**

10. 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**

11. Формирование сверхпластичной наноструктурной алюминиевой матрицы для металломатричного композита, армированного непрерывными волокнами / Е.В. Бобрук, М.Е. Климов, В.В. Астанин // Materials. Technologies. Design. – 2024. – Т. 6. № 2 (17). – С. 26-37. **K3, 2.6.6.**

12. Реализация эффекта низкотемпературной сверхпластичности в ультрамелкозернистом сплаве Al-Zn-Mg-Cu в условиях многоосной деформации / Е.В. Бобрук, М.Е. Климов // Наноиндустрия. – 2025. – Т. 18. № 5. – С. 296–306. **K2, 2.6.6.**

13. Проявление низкотемпературной сверхпластичности в наноструктурированных алюминиевых сплавах / Е.В. Бобрук // Наноиндустрия. – 2025. – Т. 18. № 5. – С. 308–318. **K2, 2.6.6.**

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



14. Grain refinement and mechanical behavior of the Al alloy, subjected to the new SPD technique / R. Valiev, M. Murashkin, E. Bobruk, G. Raab // *Materials Transactions*. – 2009. – V. 50, 1. – P. 87-91. **SJR Q1 (2009)**
15. Application of equal channel angular pressing with parallel channels for grain refinement in aluminum alloys and its effect on deformation behaviour / I. Sabirov, M.T. Perez-Prado, M. Murashkin, J.M. Molina-Aldareguia, E.V. Bobruk, N.F. Yunusova, R.Z. Valiev // *International Journal of Material Forming*. – 2010. – V. 3, 1. – P. 411–414. **SJR Q2 (2010)**
16. Effect of the grain refinement via severe plastic deformation on strength properties and deformation behavior of an Al6061 alloy at room and cryogenic temperatures / E. Moreno-Valle, I. Sabirov, M.T. Perez-Prado, M.Yu. Murashkin, E.V. Bobruk, R.Z. Valiev // *Materials Letters*. – 2011. – V.65, 19-20. – P. 2917-2919. **SJR Q1 (2010)**
17. Aging behavior and properties of ultrafine-grained aluminum alloys of Al-Mg-Si system / E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, V.U. Kazykhanov, R.Z. Valiev // *Reviews on advanced materials science*. – 2012. – V.31, 2. – P. 109-115. **SJR Q2 (2012)**
18. Enhanced mechanical properties and electrical conductivity in ultra-fine grained Al alloy processed via ECAP-PC / M. Murashkin, I. Sabirov, V. Kazykhanov, E. Bobruk, A. Dubravina, R.Z. Valiev // *Journal of Materials Science*. – 2013. – V. 48, 13. – P. 4501–4509. **SJR Q1 (2013)**
19. Ultrafine grained structures resulting from SPD-induced 3 phase transformation in Al–Zn alloys / X. Sauvage, M.Yu. Murashkin, B.B. Straumal, E. Bobruk, R. Z. Valiev // *Advanced Engineering Materials*. – 2015. – V. 17,12. – P. 1821-1827. **SJR Q1 (2015)**
20. Enhanced strengthening in ultrafine-grained Al-Mg-Si alloys produced via ECAP with parallel channels / E.V. Bobruk, V.U. Kazykhanov, M.Yu. Murashkin, R.Z. Valiev // *Advanced engineering materials*. – 2015. – V.17, 12. – P. 1733–1737. **SJR Q1 (2015)**
21. Optimization of electrical conductivity and strength combination by structure design at the nanoscale in Al-Mg-Si alloys / X. Sauvage, E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, Y. Nasedkina, N.A. Enikeev, R.Z. Valiev // *Acta Materialia*. – 2015. – V. 98, 12288. – P. 355-366. **SJR Q1 (2015)**
22. Mechanical behavior of ultrafine-grained Al–5Zn, Al–10Zn, Al–30Zn alloys / E.V. Bobruk, X. Sauvage, N.A. Enikeev, B.B. Straumal, R.Z. Valiev // *Reviews on advanced materials science*. – 2015. – V. 43, (1/2). – P. 45-51. **SJR Q2 (2015)**
23. Influence of Zn content on the microstructure and mechanical performance of ultrafine-grained Al–Zn alloys processed by high-pressure torsion / N.Q. Chinh, P.



Jenei, J. Gubicza, E.V. Bobruk, R.Z. Valiev, T.G. Langdon // Materials Letters. – 2017. – V. 186. – P. 334-337. **SJR Q1 (2017)**

24. Mechanisms of precipitation induced by large strains in the Al-Cu system / Y. Nasedkina, X. Sauvage, E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, R.Z. Valiev, N.A. Enikeev // Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – V. 710. – P. 736-747. **SJR Q1 (2017)**

25. Tuning the structure and the mechanical properties of ultrafine grain Al-Zn alloys by short time annealing / E.V. Bobruk, X. Sauvage, A. Zakirov, N.A. Enikeev // Reviews on Advanced Materials Science. – 2018. – V. 55, 1/2. 61-68. **SJR Q2 (2018)**

26. The effect of ultrafine-grained structure of Al-30Zn on the shape forming ability at sheet metal forming / E.V. Bobruk, D.G. Tyulenev, O.V. Golubev, M.Yu. Murashkin // Defect and Diffusion Forum. – 2018. – V. 385. – P. 228-233. **SJR Q3 (2018)**

27. Superplastic behaviour at lower temperatures of high strength ultrafine grained Al alloy 7475 / E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, V.U. Kazykhanov, R.Z. Valiev // Advanced engineering materials. – 2019. – V. 21 (1). – #1800094. **SJR Q1 (2019)**

28. Improving the properties of aluminum alloy system Al-Cu-Mg, subjected to hardening and severe plastic deformation / O. Paitova, E. Bobruk, M. Skotnikova, W. Jiangyu // Key Engineering Materials. – 2019. – V. 822. – P. 101-108. **SJR Q4 (2019)**

29. Effect of Severe Plastic Deformation on the Structure and Properties of the Aluminum Alloy System Al-Cu-Mg / O. Paitova, E. Bobruk, S. Shasherina, Z. Bufan // Key Engineering Materials. – 2019. – V. 822. – P. 94-100. **SJR Q4 (2019)**

30. The effect of ultrafine-grained states on superplastic behavior of Al-Mg-Si alloy / E.V. Bobruk, Z.A. Safargalina, O. V. Golubev, D. Baykov, V. U. Kazykhanov // Materials Letters. – 2019. – V. 255. 126503. **SJR Q1 (2019)**

31. Characterizing microstructural and mechanical properties of Al-Zn alloys processed by high-pressure torsion to advanced engineering materials / N.Q. Chinh, P. Szommer, J. Gubicza, M. El-Tahawy, E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, R.Z. Valiev // Advanced engineering materials. – 2020. – # 1900672. **SJR Q1 (2020)**

32. Influence of fine scale features on room temperature superplastic behaviour of an ultrafine-grained Al-30Zn alloy / E.V. Bobruk, X. Sauvage, N.A. Enikeev, R.Z. Valiev // Materials Letters. – 2019. – V. 254. – P. 329-331. **SJR Q1 (2019)**

33. Evolution of microstructure and hardness during artificial aging of an ultrafine-grained Al-Zn-Mg-Zr alloy processed by high pressure torsion / J. Gubicza, M. El-Tahawy, J. L. La'ba'r, E. V. Bobruk, M. Yu Murashkin, R. Z. Valiev, N. Q. Chinh // Journal of Materials Science. – 2020. – V. 55 (35). – P. 16791–16805. **SJR Q1 (2020)**

34. Influence of deformation at elevated temperatures on stability of microstructure and mechanical properties of UFG aluminum alloy / E.V. Bobruk, V.U.



Kazykhanov, M.Yu. Murashkin // Materials Letters. – 2021. – V. 301. – #130328. **SJR Q2 (2021)**

35. Ultralow-temperature superplasticity and its novel mechanism in ultrafine-grained Al alloys / N.Q. Chinh, M.Yu. Murashkin, E.V. Bobruk, J.L. Lábár, J. Gubicza, Z. Kovács, A.Q. Ahmed, V. Maier-Kiener, R.Z. Valiev // Materials Research Letters. – 2021. – V. 9, №. 11. – P. 475–482. **SJR Q1 (2021)**

36. The microstructure and strength of UFG 6060 alloy after superplastic deformation at a lower homologous temperature / E.V. Bobruk, P.D. Dolzhenko, M.Y. Murashkin, R.Z. Valiev, N.A. Enikeev // Materials. – 2022. – V. 15. – # 6983. **WoS Q1 (2022)**

37. Room-temperature-deformation-induced chemical short-range ordering in a supersaturated ultrafine-grained Al-Zn alloy / Z.Z. Song, R.M. Niu, X.Y. Cui, E.V. Bobruk, M. Murashkin, N.A. Enikeev, R.Z. Valiev, S.P. Ringer, X.Z. Liao // Scripta Materialia. – 2022. – V. 210. – # 11442344. **SJR Q1 (2022)**

38. 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 Q2 (2023)**

39. Mechanism of room-temperature superplasticity in ultrafine-grained Al-Zn alloys / Z. Song, R. Niu, X. Cui, E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, N.A. Enikeev, Ji. Gu, M. Song, V. Bhatia, S.P. Ringer, R.Z. Valiev, X. Liao // Acta Materialia. – 2023. – T. 246. – # 118671. **SJR Q1 (2023)**

40. 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. – T. 16, № 2. – C. 727. **WoS Q1 (2023)**

41. Effect of the equal channel angular pressing on the microstructure and phase composition of a 7xxx series Al-Zn-Mg-Zr alloy / A.Q. Ahmed, D. Olasz, E.V. Bobruk, R.Z. Valiev, N.Q. Chinh // Materials. – 2023. – V. 16(19). – P. 6593. **WoS Q1 (2023)**

42. Effect of Zn content on microstructure evolution in Al-Zn alloys processed by high-pressure torsion / A.Q. Ahmed, D. Ugi, J. Lendvai, E.V. Bobruk, R.Z. Valiev, N.Q. Chinh // Journal of materials research. – 2023. – V. 38(14). – C. 3602–3612. **SJR Q1 (2023)**

43. Review on grain size- and grain boundary phenomenon in unusual mechanical behavior of ultrafine-grained Al Alloys / N.Q. Chinh, D. Olasz, A.Q. Ahmed, E.V. Bobruk, R.Z. Valiev // Materials transactions. – 2023. – V. 64(8). – C. 1844–1855. **SJR Q3 (2023)**

44. Severe plastic deformation for producing super-functional ultrafine-grained and heterostructured materials: an inter-disciplinary review / K. Edalati, A.Q. Ahmed, S.

Akrami, K. Ameyama, V. Aptukov, R.N. Asfandiyarov, M. Ashida, V. Astanin, A. Bachmaier, E.V. Bobruk et al. Journal of alloys and compounds. – 2024. – V. 1002. – C. 174667. **SJR Q1 (2024)**

45. 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. – T. 17, № 13. – C. 3311. **WoS Q1 (2024)**

46. Microstructure evolution during high-pressure torsion in a 7xxx AlZnMgZr alloy / A.Q. Ahmed, D. Olasz, E.V. Bobruk, R.Z. Valiev, N.Q. Chinh / Materials. – 2024. – V. 17(3). – # 585. **WoS Q1 (2024)**

47. 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 Q2 (2024)**

48. Astanin, V.V. 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**

49. Ramazanov, I.A. 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**

#### **Иные публикации (Scopus):**

50. Effect of grain refinement on the mechanical behavior of an Al6061 alloy at cryogenic temperatures / E. Moreno-Valle, M.T. Perez-Prado, M.Yu. Murashkin, R.Z. Valiev, E.V., Bobruk, I. Sabirov // AIP Conference Proceedings. – 2011. – V. 1353. – P. 505-510.

51. Microstructure features and mechanical properties of an UFG Al-Mg-Si alloy produced via SPD / E. Bobruk, I. Sabirov, V. Kazykhanov, R. Valiev, M. Murashkin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 63. – # 012116.

52. X-ray studies of aluminum alloy of the Al-Mg-Si system subjected to SPD processing / V.D. Sitdikov, M.Yu. Murashkin, M.R. Khasanov, I.A. Kasatkin, P.S. Chizhov, E.V. Bobruk // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 63. – # 012087.

53. Low temperature superplasticity of high-strength ultrafine-grained Al 7050 alloy / E.V. Bobruk, M.Yu. Murashkin, I.V. Lomakin, V.U. Kazykhanov, R.Z. Valiev // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – V. 461. – # 012090.

54. A new combined SPD technique to improve mechanical properties & electrical conductivity of long-sized billets / E.V. Bobruk, A.V. Botkin, M.Yu. Murashkin, G.I. Raab // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – V. 1014. – # 012004.



## Патенты на изобретение:

1. Патент RU 2 478 136 C2. РФ. Ультрамелкозернистые алюминиевые сплавы для электротехнических изделий и способы их получения (варианты): заявка № 2011129486/02 от 15.07.2011: опубл. 27.03.2013. Р.З. Валиев, М.Ю. Мурашкин, Е.В. Бобрук. – 14 с.

2. Патент RU 2739926 C1. РФ. Ультрамелкозернистые алюминиевые сплавы для высокопрочных изделий, изготовленных в условиях сверхпластичности, и способ получения изделий: Заявка № 2020122336 от 30.06.2020: опубл. 29.12.2020 / Р.З. Валиев, М.Ю. Мурашкин, Е.В. Бобрук – 14 с.

3. Патент RU 2819775 C1. 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.

4. RU 2842750 C1. РФ. Ультрамелкозернистые алюминиевые сплавы с эффектом низкотемпературной сверхпластичности: № 2024133203 от 06.11.2024: опубл. 01.07.2025 / Р.З. Валиев, М.Ю. Мурашкин, Е.В. Бобрук, И.П. Владимирова. – 12 с.

Диссертация Бобрук Е.В, 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** «Наномасштабные особенности границ зерен и механизмы низкотемпературной сверхпластичности наноструктурированных сплавов на основе алюминия» Бобрук Елены Владимировны рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы.

**Заключение принято** на расширенном заседании научно-исследовательского института физики перспективных материалов и управления научных исследований и разработок «4» сентября 2025 г.

Присутствовало на заседании 19 человек, в том числе 13 докторов наук  
Результаты голосования: «за» – 19 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек.

Протокол № 1 от «4» сентября 2025 г.

Председательствующий заседание  
Зуфарович

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

Валиев Руслан

