

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.479.14,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И
ТЕХНОЛОГИЙ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.11.2025 г. № 16

О присуждении Саркеевой Елене Александровне, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Повышенные функциональные свойства холоднокатаных наноструктурных дисперсионно–твердеющих медных сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr» по научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы принята к защите 15.09.2025 г., протокол № 11, диссертационным советом 24.2.479.14, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32, созданного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1977/нк от 18.10.2023 г.

Соискатель **Саркеева Елена Александровна**, 19.05.1983 года рождения, в 2006 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерство образования и науки Российской Федерации по специальности 150702 Физика металлов с присвоением квалификации инженер-физик.

Работает в должности старшего преподавателя кафедры материаловедения и физики металлов института технологий и материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения и физики металлов института технологий и материалов Федерального государственного

бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель — доктор физико-математических наук, профессор, Александров Игорь Васильевич, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры материаловедения и физики металлов института технологий и материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Страумал Борис Борисович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией поверхностей раздела в металлах Федерального государственного бюджетного научного учреждения Институт физики твёрдого тела им. Ю.А. Осипяна Российской академии наук, г. Черноголовка;

Попов Владимир Владимирович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории диффузии Федерального государственного бюджетного научного учреждения Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский национальный исследовательский университет» г. Белгород, в своем **положительном отзыве** подписанном Федосеевой Александрой Эдуардовной д.т.н., доцентом, исполняющим обязанности заведующего кафедрой материаловедения и нанотехнологий указала, что «В целом, по научному уровню полученных результатов, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа Саркеевой Е.А. соответствует критериям п.п. 9-14 «Положение о присуждении учёных степеней», утверждённых Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 25.01.2024 г. № 62), а ее автор, Саркеева Елена Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы».

Соискатель имеет 18 научных работ, в том числе 2 статьи в научных изданиях из Перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК по научной специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки), 6 статей в ведущих зарубежных рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 10 статей опубликовано в сборниках трудов научных конференций. Общий объем публикаций составляет 5,94 п.л., личный вклад соискателя – 3,1 п.л. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации; соискатель ссылается на авторов и источники заимствования.

Наиболее значимые работы: 1. Влияние старения на микроструктуру и свойства УМЗ сплава Cu-0,5Cr, полученного равноканальным угловым прессованием и холодной прокаткой/ Е.А. Саркеева, И.В. Александров// Materials. Technologies. Design. - 2024. -Т. 6. -№ 2 (17). -С. 92-98. (ВАК, 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы (физико-математические науки)). Представлено исследование влияние старения на электропроводность твердость и микроструктуру сплава Cu-0,5Cr (вес. %). Построены и проанализированы кривые фазового превращения, получены уравнения их кинетики. На основании анализа кинетических кривых установлено, что предварительное равноканальное угловое прессование (РКУП) перед прокаткой приводит к значительному ускорению распада твердого раствора при старении. 2. Эволюция микроструктуры, прочности, пластичности и электропроводности в ультрамелкозернистом сплаве Cu-0.5Cr при холодной прокатке и старении / Е.А. Саркеева, И.В. Александров // «Известия Российской академии наук. Серия физическая». – 2022. – Т. 86. -№ 11. – С. 1553-1559. Представлено исследование микроструктуры механических и электрических свойства сплава Cu-0,5(вес.%)Cr в ходе холодной прокатки с различными степенями обжатия крупнозернистого состояния и наноструктурного состояния, полученного равноканальным угловым прессованием, а так же влияние последующего старения. 3. Microstructure evolution in a Cu-0.5Cr-0.2Zr alloy subjected to equal channel angular pressing, rolling or aging / E. A. Sarkeeva, I.V. Alexandrov, V.D. Sitdikov, M.M. Abramova, // Journal of materials engineering and performance. – 2016. – Vol. 25, Issue 10. – P. 4303-4309. (K1: Web of Science Q2). В работе изучена эволюция микроструктуры сплава Cu-0,5Cr-0,2Zr, подвергнутого

комбинированной термомеханической обработки включающей равноканальное угловое прессование, холодную прокатку и старение.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федосеева А.Э., д.т.н., заведующая кафедрой материаловедения и нанотехнологий **ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»** (ведущая организация).

Замечания: **1)** Выделите, пожалуйста, основное отличие выполненной диссертационной работы от других работ по данной тематике? **2)** Каковы перспективы дальнейшего практического использования технологического маршрута, полученного в рамках диссертационной работы? **3)** Почему для сплавов Cu-0,5Cr-0,2Zr и Cu-0,5Cr были определены температуры старения 450°C и 425°C соответственно? Были ли исследованы другие температуры? **4)** Каким образом была оценена плотность дислокаций? Только рентгеновским методом? Была ли использована просвечивающая электронная микроскопия? **5)** С какой целью был добавлен Zr, который не внес никакого вклада в механизмы упрочнения? **6)** При РКУП рост частиц определяется трубочной диффузией. Однако, согласно изображениям ПЭМ частицы выделяются не на дислокациях, а в матрице. Какой был деформационный разогрев материала? Могли ли частицы выделиться в конце деформации либо при охлаждении? **7)** Старение сильнодеформированного материала приводит к тому, что выделяются крупные частицы вдоль границ зерен, которые не вносят существенного вклада в упрочнение. Следовало бы изменить условия старения (температуру или скорость нагрева), чтобы дисперсионное упрочнение не снижалось.

2. Страумал Б.Б., д.ф.-м.н. старший научный сотрудник, заведующий лабораторией поверхностей раздела в металлах ФГБУН Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (оппонент).
Замечания: **1)** При описании результатов в главе 3 автор пишет, что после РКУП 4 и 8 проходов в микроструктуре отмечено присутствие незначительного количества наночастиц, которые обладают контрастом типа «кофейное зерно». На что данный контраст указывает? **2)** Отмечается ли «кофейный контраст» только на частицах, наблюдаемых в сплавах после 4 и 8 проходов РКУП или он характерен для частиц в результате термической обработки -старения. **3)** Может ли наблюдаться при РКУП изученных сплавов стационарное состояние при увеличении количества проходов, подобное тому, что наблюдается при кручении под высоким давлением?

3. Попов В.В., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, лаборатория диффузии ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (оппонент). Замечания: **1)** на мой взгляд, было бы полезно в литературном обзоре более подробно проанализировать результаты исследований структуры и свойств хромистых и хромциркониевых бронз после РКУП, КВД и последующего старения, выполненных в ИМЕТ РАН под руководством профессора С.В. Добаткина. В диссертации есть три ссылки на эти работы [14, 15] и [25], но подробный анализ отсутствует. **2)** Не очень понятно, почему для сплавов Cu-Cr использовался маршрут Вс, а для CuCr-Zr - маршрут А. Выбор маршрута А для сплава Cu-Cr-Zr удивляет, поскольку в литературном обзоре на основании анализа результатов работы [25] сделан вывод, что оптимальным является маршрут Вс. **3)** Во второй главе указано, что температуру старения варьировали от 300°C до 550°C с временем выдержки от 10 до 300 минут. Однако в главах 3 и 4 упоминается только один вариант старения: 425°C, 40 минут. В главе 5, судя по рисунку 5.7, исследовался интервал температур 400-500°C. Нужно уточнить исследованные в работе режимы старения. **4)** Сравнение рисунков 3.4 и 3.6 показывает, что в исходном состоянии на дифрактограмме были все пики, а после старения при 425°C остались только 2 - (111) и (311). В результате старения появилась текстура или просто представлена не та рентгенограмма? **5)** На основании рис. 3.7а трудно сделать вывод об увеличении размеров ОКР во время старения. **6)** Автор называет структуру с размером зерен/субзерен 200-300 нм наноструктурой. В отечественной и мировой литературе более принято называть наноструктурными (нанокристаллическими) материалы с размером структурных элементов менее 100 нм, и при размерах 200-900 нм применяют термин субмикрокристаллическая (СМК) структура. **7)** Известно, что при ИПД могут образовываться неравновесные границы зерен, а также зернограницные сегрегации. При этом и сами неравновесные границы, и зернограницные сегрегации могут влиять на упрочнение, но при анализе различных вкладов в упрочнение это игнорируется. **8)** Имеется некоторое количество неточностей и опечаток. Например, на рисунке 4.2а приведены две зависимости и не понятно, какая к чему относится. На стр. 102: «Упрочнение при 8 проходах РКУП ($\epsilon=9,2$) сопровождается снижением пластичности от 42 ± 2 % до 12 ± 2 %». Это противоречит табл. 4.3 и следующей фразе: «Исключение наблюдается после 8 проходов РКУП, когда относительное удлинение составляет 15 ± 1 %». Стр. 103:

«Значение временного сопротивления и предела текучести в состоянии РКУП8+ТО остаётся неизменным». Но это не совсем так. После РКУП $\sigma_B = 475$ МПа, $\sigma_{0,2} = 450$ МПа (табл. 4.3), а после РКУП+ТО $\sigma_B = 460$ МПа, 60,2-430 МПа (табл. 4.4).

4. Рааб Г.И., д.т.н., главный научный сотрудник, руководитель лаборатории «Механика градиентных, бимодальных и гетерогенных металлических наноматериалов повышенной прочности и пластичности для перспективных конструкционных применений им. А.П. Жилиева» ФГБОУ ВО «Магнитогорский Государственный технический университет им. Г.И. Носова». В отзыве отмечено, что Достоверность полученных результатов диссертационной работы обеспечивается применением современных сертифицированных аналитических приборов, стандартных методик испытаний, использованием современного технологического и исследовательского оборудования в области наноструктурного материаловедения и нанотехнологий. Полученные результаты согласуются с литературными данными, а также с теоретическими и практическими результатами представленного направления исследований. Замечания: 1) Плоский прокат обычно характеризуется анизотропией свойств и принято исследовать прочностные свойства в продольном и поперечном направлениях. В автореферате не приведено данных по прочности в поперечном направлении лент, хотя для практического применения это очень значимые данные; 2) В автореферате представлено выражение «Как известно, предварительная деформация может существенно повлиять на кинетику распада твёрдого раствора, так как атомы легирующих элементов, растворенные в решётке медной матрицы, при взаимодействии с дефектами, внесёнными в процессе ТМО, могут значительно изменить характер выделений частиц второй фазы.» (см. стр. 15.). Хотелось бы понять, что вложено в слово характер?

5. Астафурова Е.Г., д.ф.-м.н., доцент, заведующая лабораторией физики иерархических структур в металлах и сплавах ИФПМ СО РАН; Майер Г. Г., к.ф.-м.н., научный сотрудник лаборатории физики иерархических структур в металлах и сплавах ИФПМ СО РАН. В отзыве отмечено, что диссертационная работа Е.А. Саркеевой, направленная на разработку нового подхода для достижения повышенных характеристик прочности, пластичности и электропроводности медных сплавов на основе систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr при сочетании деформационных методов равноканального углового прессования (РКУП), холодной прокатки (ХП) и старения, является актуальным научным

исследованием. Замечания: 1) Чем обусловлены различия в закономерностях изменения плотности дислокаций с деформацией для разных способов обработки сплава Cu-0,5Cr (рисунок 46 автореферата)? 2) Предложенная феноменологическая модель структурных превращений в исследуемых сплавах лишь упрощённо описывает формируемые в реальной структуре дислокационные конфигурации. Сомнительно, что в исследуемых сплавах возможно реализовать конфигурацию дислокаций в стенках, приведённую на рисунках 7а и 7б.

6. Клевцов Г.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Сварка, обработка металлов давлением и сопутствующие процессы», секция «Нанотехнологии, материаловедения и механика» ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет». В отзыве указано, что актуальность работы, посвящённой повышению функциональных свойств холоднокатанных наноструктурных дисперсионно-твердеющих медных сплавов, не подлежит сомнению. Замечания по автореферату диссертационной работы: 1) П.3 Научной новизны неудачно отнесен к данному разделу. Скорее его следует отнести к Практической значимости работы.; 2) В разделе «Степень достоверности и апробация работы» представлена только апробация работы. Достоверность полученных результатов может быть обоснована, например, использованием стандартного оборудования и методик.

7. Мартыненко Н.С., к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории материаловедения цветных и лёгких металлов им. ак. А.А. Бочвара ФГБУН Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. В отзыве отмечено, что достоинствами работы являются большой объем полученных результатов, применение современных экспериментальных методов исследования микроструктуры. Полученные результаты имеют научную новизну и подтверждаются публикациями в рецензируемых научных журналах, а также докладами на российских и международных конференциях. В качестве замечаний отмечено следующее: 1) Диссертант в работе пишет о том, что было использовано два маршрута РКУП: Вс и А. Однако нигде по тексту автореферата не было рассмотрено, как влияет разные маршруты на структурообразование в исследуемых сплавах. Так же непонятно из каких соображений были выбраны два разных маршрута; 2) Сплав Cu-Cr-Zr содержит избыток Zr (0,2 масс.%). Такое количество Zr не полностью растворяется в матрице даже при высоких температурах и выпадает в виде включений фазы, богатой Zr. Наблюдал ли

диссертант формирование крупных включений в крупнокристаллическом сплаве Cu-CrZr ? Как по мнению диссертанта они влияют на структурообразование в процессе последующей деформации?

8. Ситдигов В.Д., д.ф.-м.н., старший эксперт ООО «РН-БашНИПИнефть». В отзыве отмечается, что к числу наиболее значимых достижений следует отнести выявление закономерностей формирования наноструктурного состояния в образцах, подвергнутых РКУП, холодной прокатке и старению, на основе которых разработана феноменологическая модель эволюции наноструктуры. Предложенная модель может служить инструментом прогнозирования структуры и свойств изделий из медных сплавов при регламентированных требованиях к механическим характеристикам и электропроводности. Вместе с тем, имеется ряд замечаний: **1)** В автореферате отсутствуют электронограммы и/или дифрактограммы, на основе которых проводилась идентификация преципитатов и определение параметров тонкой структуры исследуемых медных сплавов. Также не представлены результаты ДОРЭ исследований, на основании которых был определен тип и расчет доли границ зерен. **2)** В тексте автореферата (например, на стр. 13) не приведены расшифровки некоторых используемых обозначений величин. Некоторые единицы измерений величин, в частности электропроводности и удельного электрического сопротивления (стр. 15), не приведены в системе СИ; **3)** На странице 10, рисунок 4а демонстрирует, что прокатка образцов, предварительно подвергнутых 1-2 проходам РКУП, более эффективно измельчает ОКР (т.е. при малых степенях ϵ накопленной деформации). К примеру, 8 проходов РКУП ($\epsilon \sim 9,2$) приводит к уменьшению размера ОКР до 123 нм, тогда как режим «1 проход РКУП + 95% ХП» (суммарная ϵ равна $\sim 4,65$) измельчает размер ОКР до ~ 70 нм. Почему комбинированная обработка с меньшей суммарной деформацией приводит к значительно более сильному измельчению структуры по сравнению с многопроходным РКУП? **4)** Стр. 11. Почему введение 0,2 масс.% циркония в медный сплав (Cu-0,5Cr) способствовало формированию меньшего среднего размера зерна и достижению более высокой плотности дислокаций? Требуется обосновать роль легирующего элемента Zr в процессах измельчения структуры и накопления дислокаций при формировании в сплаве УМЗ структуры. **5)** Стр. 13. Утверждается «Для сплава Cu-0,5Cr-0,2Zr наряду с упрочнением, связанным с наночастицами и составляющим $\sim 29-41$ %, ощутимый вклад вносят дислокации (34-40 %). Аналогично, как и для сплава Cu-0,5Cr , зерно граничный

вклад составляет 15 ... 16 % независимо от степени деформации». В то же время в литературе (Bodyakova A., Tkachev M., Raab G.I., Kaibyshev R., Belyakov A.N. (2022). *Materials*. 15(16). 5745) утверждается, что упрочнение в сплаве Cu-Cr-Zr в основном обеспечивается за счет зернограничного и дислокационного механизмов упрочнения, а не за счет вклада наночастиц как преобладающего. Требуется объяснить, с чем связаны такие расхождения в оценке относительного вклада различных механизмов упрочнения между результатами данного автореферата и результатами, представленными в вышеуказанном литературном источнике.

9. Сундеев Р.В., д.ф.-м.н., доцент, ФГБОУ ВО "МИРЭА - Российский технологический университет. В отзыве отмечено, что достоверность и обоснованность, полученных в диссертации результатов, не вызывает сомнений т.к. подтверждается большим объемом накопленных экспериментальных данных, их корректной статистической обработкой. Корректность, сделанных в диссертации выводов, обеспечивается широким использованием высокоэффективных методов исследования. Замечания: 1) в автореферате написано, что РКУП образцов проводилось при комнатной температуре по маршрутам Вс и А. Из текста автореферата не понятно, маршруты Вс и А применялись для всех сплавов или для каждого сплава был выбран свой маршрут? Если для каждого сплава был выбран свой маршрут, то на основании каких параметров он выбирался? 2) На рисунке 2 не проведена расшифровка микродифракционного ПЭМ изображения.

10. Чуракова А.А., к.ф.-м.н., заведующий молодёжной научной лабораторией "Комбинированные поверхностные и объемные методы обработки функциональных и конструкционных материалов" ИФМК УФИЦ РАН. В отзыве отмечено, что работа носит преимущественно экспериментальный характер и содержит большой объем структурных исследований: качественный и количественный анализ полученных микроструктур и фазового состава проводили методами оптической микроскопии, растровой электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Замечания: 1) чем обусловлено отличие характера зависимости «плотность дислокаций - степень деформации» для сплава Cu-0,5Cr в состояниях ХП80 и ХП95 (рисунок 4 б). 2) В автореферате не проведено индентирование дифракционных картин наноразмерных частиц в сплаве Си-0,5Cr (рисунок 2) и тонкой структуры Cu-0,5Cr (рисунок 5).

11. **Жеребцов С. В.**, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов; Тихонова М. С., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». В отзыве отмечено, что поставленные задачи исследований и выводы в полной мере отвечают содержанию диссертационной работы, полученной новизне и положениям, выносимым на защиту. Замечания: 1) из автореферата не ясен диапазон температур старения сплавов системы Cu-0.5Cr-0.2Zr и Cu-0.5Cr'? На каком основании эти температуры выбирали? 2) Рисунок 4б автореферата показывает влияние степени деформации на плотность дислокаций. С чем связан различный ход кривых для рассматриваемых состояний?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в данной области наук, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея использования комбинированной термомеханической обработки, позволяющей сформировать объемное наноструктурное состояние с одновременно высокими показателями прочности и электропроводности в листах и лентах сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr, обогащающая научную концепцию наноструктурных металлов следующим образом: на основе комплексных исследований микроструктуры и свойств, положенных в основу феноменологической модели, углублено понимание физических процессов, обеспечивающих одновременно высокую прочность и электропроводность медных сплавов для электротехники.

предложены оригинальные суждения по заявленной тематике, обобщенные в феноменологическую модель, отражающую взаимосвязь полученной в результате ТМО структуры и морфологии выделившихся наноразмерных частиц вторых фаз;

Установлены закономерности и доказано влияние степени предварительной интенсивной пластической деформации в ходе комбинированной термомеханической обработки, включающей равноканальное угловое прессование, холодное прокатку и старение на формирование различных типов структурных состояний и кинетику распада пересыщенного твердого раствора.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
доказаны положения, вносящие вклад в расширение представлений об эволюции микроструктуры в ходе комбинированной ТМО, включающей равноканальное угловое прессование, холодную прокатку и старение, а именно формирование различных типов структурных состояний, отличающиеся размером зерна, плотностью и распределением дислокаций в теле зерна, различной долей ВУГ и МУГ, размером и распределением наноразмерных частиц вторых фаз размером порядка 3-10 нм.;

Применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован комплекс существующих базовых и современных методов исследования** структуры (ПЭМ, РЭМ, РСА, ДОРЭ) и свойств (микротвердость, испытания на растяжение, электропроводность) наноструктурных материалов, в т.ч. численных методов для анализа кинетики фазовых превращений и старения медных сплавов, вкладов микроструктурных параметров в прочностные характеристики и удельное электрическое сопротивление.

Изложены идеи и гипотезы, расширяющие возможности ранее разработанных теоретических положений о закономерностях формирования наноструктурных состояний в медных сплавах и положенные в основу феноменологической модели, отличающейся тем, что учитывает характер сформированной дислокационной субструктуры и состояние границ зерен, что позволяет объяснить физические процессы, происходящие в медных сплавах в результате комбинированной ТМО обработок, и предсказывать свойства медных сплавов на основе сформированной структуры;

раскрыты и изучены причинно-следственные связи между параметрами микроструктуры, прочностью и электропроводностью, обеспечивающими возможность получения лент из дисперсионно-твердеющих медных сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr с повышенными физико-механическими свойствами;

изучены причинно-следственные связи вида исходного состояния и режимов интенсивной пластической деформации с процессами деформационно-индуцированного растворения частиц вторых фаз с острыми гранями и деформационно-стимулированного распада твёрдого раствора с выделением наночастиц вторых фаз.

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

определена предельная степень деформации дисперсионно-твердеющих сплавов системы Cu-Cr и Cu-Cr-Zr для получения листов и лент с регламентированным сочетанием прочности и электропроводности;

созданы модель эффективного применения знаний для прогнозирования получаемой структуры материала изделий электротехнического назначения на примере дисперсионно-твердеющих медных сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr с регламентированными уровнем механических свойств и электропроводности;

представлены практические рекомендации по назначению режимов ТМО, включающей РКУП, холодную прокатку и старение, обеспечивающие возможность достижения наноструктурного состояния, характеризующегося однородной наноструктурой с высокой долей ВУГ и дисперсными выделениями наночастиц размером в диапазоне 3-10 нм.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании центра коллективного пользования «Нанотех» и уникальном научном оборудовании для интенсивной пластической деформации Института физики перспективных материалов Уфимского университета науки и технологий, в Российско-Китайской совместной лаборатории функциональных наноструктурных материалов университета Чанчжоу (КНР), которые оснащены передовым оборудованием для исследования наноструктурных материалов;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертационной работы;

идея базируется на обобщении передового опыта путём анализа публикаций отечественных и зарубежных ученых о влиянии особенностей структуры на механические и функциональные свойства наноструктурных дисперсионно-твердеющих медных сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации с необходимым набором статистики.

Личный вклад соискателя состоит в: участии на всех этапах постановки задачи исследования, формулировании положений, выносимых на защиту,

непосредственном участии в подготовке материалов исследования и проведении термомеханических обработок сплавов систем Cu-Cr и Cu-Cr-Zr, получении и интерпретации экспериментальных данных, полученных методами оптической, растровой и электронной микроскопии, рентгенографии, направленных на установление закономерностей формирования наноструктурных состояний в образцах, подвергнутых РКУП, холодной прокатке и старению; разработке феноменологической модели; оценке механических свойств и электропроводности; оценке влияния различных структурных параметров на удельное электрическое сопротивление сплава Cu-0,5Cr, анализе кинетики зарождения и роста наноразмерных частиц вторых фаз; а также участии в подготовке и написании основных публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации критические замечания высказаны не были, заданы вопросы уточняющего и конкретизирующего характера. Соискатель Саркеева Е.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании 25.11.2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Саркеевой Елене Александровне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 2.6.6. Нанотехнологии и наноматериалы за решение научной задачи достижения повышенных физико-механических свойств в тонких лентах из сплавов Cu-0,5Cr и Cu-0,5Cr-0,2Zr за счет применения комбинированной ТМО, включающей традиционные методы деформационной обработки и методы интенсивной пластической деформации, приводящей к формированию объемных наноструктурных состояний и имеющей значение для развития нанотехнологий и получения объемных наноматериалов для электротехники.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

25 ноября 2025 года



Валиев Руслан Зуфарович

Бобрук Елена Владимировна