

«УТВЕРЖДАЮ»



Генеральный директор
НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ

С.В. Яковлев

« 15 » 08

20 25 г.

М.П.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский
научно-исследовательский институт авиационных материалов»

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация Власова Ивана Игоревича на тему «Особенности формирования структуры и физико-механических свойств высокоэнтропийного многокомпонентного сплава на базе системы NiCoCr, полученного методами литья и аддитивных технологий», выполнена в лаборатории № 616 «Порошковая металлургия и аддитивное производство» научно-исследовательского отделения «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий и материалов» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ).

В период подготовки диссертации соискатель работал в лаборатории № 616 «Порошковая металлургия и аддитивное производство» «Курчатовский институт» - ВИАМ в должности техника, инженера, инженера 2 категории.

Власов Иван Игоревич, 1997 года рождения, в 2020 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет) по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика», в 2022 году с отличием окончил магистратуру федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов». С 2022 года обучается в аспирантуре федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по научной специальности 2.6.17. Материаловедение. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 11.08.2025 г.

Научный руководитель – Севальнев Герман Сергеевич, кандидат технических наук, начальник сектора лаборатории «Конструкционные и специальные стали» НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

По итогам обсуждения принято следующее **заключение**:

Диссертационная работа Власова И.И. является научно-квалификационной работой, в которой решены важные научно-практические задачи:

1) Проведены расчеты и разработан состав энтропийного сплава на базе NiCoCr с высокой энтропией смешения;

2) Выбраны технологические параметры и отработаны технологические процессы выплавки, горячей деформации, атомизации, селективного лазерного сплавления и термической обработки многокомпонентного высокоэнтропийного сплава;

3) Исследованы микроструктура, фазовый состав и свойства многокомпонентного высокоэнтропийного сплава и установлены взаимосвязи формирования структуры и свойств;

4) Определены потенциальные области применения разработанного многокомпонентного высокоэнтропийного сплава.

Работа имеет важное практическое значение для авиационной промышленности, а также для других отраслей промышленности, включая приборостроение, и отвечает требованиям пунктов 9-11, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении всех этапов диссертационного исследования, включающих анализ научно-технической литературы, участии в разработке экспериментальных композиций, выборе состава высокоэнтропийного сплава системы Ni-Co-Cr, участии в выборе технологических параметров и технологическом сопровождении выплавки слитков, разработке режима термической обработки, выборе технологических параметров горячей пластической деформации, выборе параметров синтеза, обработке и анализе полученных экспериментальных данных, в том числе в разработке необходимой научно-технической документации, написании научных публикаций и выступлениях с докладами на научных конференциях.

Достоверность полученных результатов и выводов в диссертационной работе обеспечена использованием современного оборудования, применением установленных методов исследований и испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ и международных стандартов, а также апробацией результатов работы с получением положительных результатов.

Научная новизна проведенных исследований:

1. Разработан многокомпонентный высокоэнтропийный сплав NiCoCrWNbAlTiCr, обладающий деформационным упрочнением и

возможностью эксплуатации при криогенных температурах без значительного снижения уровня свойств.

2. Установлено, что получение многокомпонентного энтропийного сплава NiCoCrWNbAlTiCRe методом селективного лазерного сплавления позволяет формировать наиболее высокий комплекс характеристик за счет формирования гомогенной мелкозернистой структуры. Термическая обработка на твердый раствор приводит к снижению прочностных и увеличению пластических характеристик за счет увеличения размера зерна.

3. Впервые показано, что при триботехническом контактно-деформационном воздействии формирование износостойкости многокомпонентного энтропийного сплава NiCoCrWNbAlTiCRe происходит за счет интенсивного деформационного упрочнения при соотношении параметров по модели Джонсона-Кука $B/A > 1$.

4. Показано, что снижение $\Delta\epsilon$ с 1,4 до 0,9 % при жестком цикле нагружения при испытании на усталость приводит к активному перестроению структуры под действием усталостной нагрузки.

На основе выполненных исследований были получены следующие **практические результаты:**

1. Разработаны технологические режимы выплавки, горячей деформации, атомизации, селективного лазерного сплавления и термической обработки многокомпонентного высокоэнтропийного сплава NiCoCrWNbAlTiCRe для получения различных полуфабрикатов.

2. За счет математических расчетов параметров в соответствии с моделью Джонсона-Кука, а также экспериментальных исследований в условиях динамического воздействия определены возможные механизмы повышения свойств многокомпонентного высокоэнтропийного сплава NiCoCrWNbAlTiCRe.

3. Определены потенциальные области применения разработанного сплава:

- элементы конструкций, работающих в агрессивных средах;

- детали и узлы, работающие в условиях динамических (триботехнических и усталостных) нагрузок;
- элементы, работающие в условиях криогенных температур;
- резистивные элементы.

Получен акт о промышленном внедрении результатов диссертационной работы от акционерного общества «Оптрон»

Ценность научной работы автора заключается в том, что разработан состав многокомпонентного высокоэнтروпийного сплава NiCoCrWNbAlTiCr с высокой энтропией смешения, получены знания и установлены взаимосвязи формирования структуры и свойств в литом и деформированном состояниях, после селективного лазерного сплавления, научно обоснован подбор режима термической обработки и влияние её на структуру и свойства, определены потенциальные области применения с применением экспериментально полученных данных.

Соответствие пунктам паспорта научной специальности:

Область диссертационного исследования Власова И.И. включает исследования влияния технологических параметров выплавки слитков, деформации, синтеза, термической обработки на структуру, фазовый состав и механические свойства высокоэнтропийного сплава системы Ni-Co-Cr.

Указанная область исследований соответствует паспорту научной специальности 2.6.17. Материаловедение:

п. 1. Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности

и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической, энергетической, машиностроительной, легкой, текстильной, строительной).

п. 2. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих в гетерогенных и композиционных структурах.

п. 16. Создание металлических, неметаллических и композиционных материалов, способных эксплуатироваться в экстремальных условиях: агрессивные среды, электрические и магнитные поля, повышенные температуры, механические нагрузки, вакуум и др.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.

По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них 3 в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России.

Основные положения диссертации с достаточной полнотой представлены в следующих публикациях:

В изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1) **Власов И.И.**, Севальнев Г.С., Климов В.С., Рогалев А.М. Исследование структуры и фазового состава энтропийного сплава на базе системы легирования Ni–Cr–Co после вакуумной индукционной выплавки // Труды ВИАМ. 2024. № 9 (139). Ст. 01. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-9-3-14.

2) **Власов И.И.**, Севальнев Г.С., Ляхов А.А., Нефедкин Д.Ю. Исследование структуры и механических свойств Ni–Co–Cr энтропийного сплава в литом состоянии // Труды ВИАМ. 2024. № 12 (142). Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-12-18-30.

3) Севальнев Г.С., **Власов И.И.**, Климов В.С., Нефедкин Д.Ю. Оценка сопротивления контактно-деформационному воздействию при интенсивном изнашивании поверхности литых энтропийных сплавов на базе системы Ni–

Прочие публикации:

1) **Власов И.И.**, Севальнёв Г.С., Валюхова И.В., Дьяченко О.А. Исследования высокоэнтروпийного сплава на базе системы Ni-Co-Cr при механическом и тепловом нагружении // Физико-механические испытания, прочность и надежность современных конструкционных и функциональных материалов: материалы XVII Всероссийской конференции по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТестМат» (г. Москва, 28 февраля 2025 г.), [Электронный ресурс] / НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ. – М.: НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, 2025. С. 438-451.

2) **Vlasov I.I.**, Valuhova I.V. Study of tantalum alloyed high-entropy Ni-Co-Cr alloys wear resistance// Молодой учёный: сборник статей XI Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2025. С.38-40.

1) **Власов И.И.**, Валюхова И.В. Механические свойства высокоэнтропийного сплава на базе Ni-Co-Cr при различных содержаниях тантала // Современные научные исследования: теория, методология, практика. Сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции (г.-к. Анапа, 17 января 2025 г.). Анапа: НИЦ ЭСП в ЮФО, 2025 С.63-67.

2) **Vlasov I.I.**, Valuhova I.V. Analysis of the effect of tantalum content on the mechanical properties of high-entropy Ni-Co-Cr based alloy // Актуальные вопросы современной науки: сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2025. С.29-31.

3) Климов В.С., Севальнёв Г.С., Богачев И.А., Сухов Д.И., **Власов И.И.** Структура и свойства высокоэнтропийного сплава на базе системы Ni-Co-Cr // XXI конференция молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии» КМУС-2024. 2024. С.30.

4) **Власов И.И.**, Севальнёв Г.С., Дьяченко О.А., Нефедкин Д.Ю. Исследование структуры и свойств высокоэнтروпийного сплава системы Ni-Co-Cr после различных видов обработок// XXI конференция молодых ученых и специалистов «Новые материалы и технологии» КМУС-2025. 2025. С.11.

5) **Власов И.И.** Исследование закономерностей формирования структуры и свойств высокоэнтропийного сплава на базе системы Ni-Co-Cr // XXI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» С. 19-21.

6) **Власов И.И.**, Севальнёв Г.С. Влияние структурного состояния энтروпийных сплавов на основе Ni-Co-Cr на механические и триботехнические характеристики // 8-я Международная научная конференция «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении». С. 32-34.

Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают её основные положения.

Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.

Учитывая научную зрелость Власова И.И., актуальность выполненной им работы, научную новизну и практическую значимость исследования, диссертационная работа Власова Ивана Игоревича «Особенности формирования структуры и физико-механических свойств высокоэнтропийного много компонентного сплава на базе системы NiCoCr, полученного методами литья и аддитивных технологий» рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

Заключение принято на совместном заседании научно-технических советов Научно-исследовательских отделений «Жаропрочные литейные и

деформируемые сплавы и стали» и «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий и материалов».

Присутствовало на заседании – 35 человек, в том числе с правом голоса – 21, из них докторов наук – 3, кандидатов наук – 7.

Результаты голосования: «за» – 21, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Протокол № 27 от «15» августа 2025 г.

Начальник НИО

«Технологии порошковой металлургии,
аддитивного производства, сварки,
защитных и специальных
высокотемпературных покрытий и
материалов»

Неруш

Святослав Васильевич