

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ

С.В. Яковлев



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация Неруша Святослава Васильевича на тему
«ЖАРОПРОЧНЫЕ НИКЕЛЕВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО
ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ: особенности химического состава, структуры,
механических и прочностных характеристик» выполнена в лаборатории № 616
«Порошковая металлургия и аддитивное производство» научно-
исследовательского отделения «Технологии порошковой металлургии,
аддитивного производства, сварки, защитных и специальных
высокотемпературных покрытий» федерального государственного унитарного
предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт
авиационных материалов» Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ).

В период подготовки диссертации соискатель Неруш Святослав Васильевич с 2010 по н.в. работал в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) и прошел долгий путь от инженера лаборатории 616, начальника лаборатории 616 до начальника научно-исследовательского отделения «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий».

Неруш Святослав Васильевич, 12.12.1987 года рождения, в 2010 году окончил Федеральное Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по специальности «Металлургия цветных металлов».

Научный руководитель – Каблов Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор, академик РАН, председатель Совета Ассоциации - Президент Ассоциации РАН, помощник Президента Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы. Область диссертационного исследования Неруша Святослава Васильевича включает теоретические исследования по разработке обобщенного критерия трещиностойкости Ξ , позволяющего проводить оптимизацию химического состава литейных жаропрочных никелевых сплавов для применения в технологии селективного лазерного сплавления без образования трещин; экспериментальные исследования влияния режимов термической обработки на

особенности формирования структуры и физико-механические свойства синтезированных жаропрочных никелевых сплавов.

Проведенные исследования позволили создать с применением предложенного критерия трещиностойкости $\mathcal{E}$ новые жаропрочные никелевые сплавы марок ВЖС1 и ВЖС3 с рабочей температурой до 900 °С и 1000 °С, соответственно, не имеющих прямых аналогов в России.

Наиболее перспективным для промышленного освоения является высоколегированный сплав марки ВЖС3, превосходящий уровню длительной прочности ($\sigma_{100}^{1000} = 130$ МПа) все известные отечественные и зарубежные сплавы для технологии селективного лазерного сплавления.

Предложенные автором материаловедческие решения по легированию новых жаропрочных никелевых сплавов ВЖС1 и ВЖС3 отражены в заявках на изобретение в части химического состава № 2026105665 и № 2026105667, соответственно, одобрена регистрация изобретений и выдача патентов.

В АО «ОДК-Авиадвигатель» проведены испытания сплава ВЖС1, на основании которых, получено заключение главного конструктора о возможности применения разработанного сплава для изготовления рабочих лопаток и сопловых аппаратов ТНД двигателя ПД-26 методом селективного лазерного сплавления, что подтверждено актом внедрения.

По результатам огневых стендовых испытаний сплав ВЖС1 внедрен в серийное производство детали «Крыльчатка турбины» малоразмерного газотурбинного двигателя разработки ОАО «ЛИИП им. Гризодубовой В.С.», что также подтверждено актом внедрения.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе п. 9-11, 13-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013. Диссертация является научно-квалифицированной работой, в которой содержится решение

сложной научной задачи по разработке первых в Российской Федерации жаропрочных никелевых сплавов с уровнем длительной прочности, близким к литейному сплаву марки ВЖЛ12У для изготовления сопловых аппаратов и рабочих лопаток ТНД перспективных авиационных двигателей методом селективного лазерного сплавления.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в научном обосновании и постановке задач исследований, выполнении всех этапов диссертационного исследования, включая разработку обобщенного критерия трещиностойкости $\bar{\epsilon}$ жаропрочных никелевых сплавов для технологии селективного лазерного сплавления; оптимизацию химических составов, разработку режимов термической обработки и комплексному исследованию новых жаропрочных никелевых сплавов ВЖС1 и ВЖС3 для статорных и роторных деталей турбин; интерпретации экспериментальных исследований взаимосвязи химического состава, структуры и физико-механических свойств новых сплавов; разработку научно-технической документации, апробации созданных сплавов в условиях опытного производства, оформлении результатов в виде научных публикаций, докладов и патентов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований:

Обоснованность и достоверность результатов теоретических и экспериментальных исследований, выводов и научных положений, выносимых на защиту диссертационной работы, подтверждается использованием стандартизированных методов испытаний и исследований с применением современного поверенного (калиброванного) испытательного и аналитического оборудования и средств измерений, практическим подтверждением полученных теоретических данных.

Новизна результатов проведенных исследований:

Основная научная новизна диссертационной работы соискателя заключается в разработке обобщенного критерия трещиностойкости E для жаропрочных никелевых сплавов, который позволяет предотвратить образование трещин в синтезированном материале в условиях селективного лазерного сплавления путем оптимизации химического состава литейных или деформируемых высоколегированных жаропрочных никелевых сплавов. Эффективность предложенного критерия подтверждена экспериментально подтверждена на примере создания новых жаропрочных никелевых сплавов марок ВЖС1 и ВЖС3 с уровнем эксплуатационных свойств, ранее считавшимся недостижимыми в технологиях аддитивного производства.

Также необходимо отметить установленный эффект подавления зарождения и роста дисперсных выделений упрочняющей γ' -фазы в метастабильной структуре сплавов ВЖС1 и ВЖС3 в условиях селективного лазерного сплавления, оказывающий благоприятное влияние на предотвращение образования трещин за счет снижения внутренних напряжений, накоплению которых способствуют межфазные границы раздела избыточных фаз в промышленно применяемых сплавах.

Практическая значимость проведенных исследований:

Практическая значимость диссертационной работы соискателя заключается в создании новых жаропрочных никелевых сплавов марок ВЖС1 и ВЖС3 непосредственно для применения в технологии селективного лазерного сплавления с целью решения стратегической научно-технической задачи по обеспечению работоспособности рабочих лопаток и сопловых аппаратов ТНД при рабочих температурах 800–1000°C в рамках создания перспективного двухконтурного турбореактивного двигателя ПД-26, разрабатываемого АО «ОДК-Авиадвигатель».

Необходимо отметить, что экономнолегированный сплав ВЖС1 с рабочей температурой до 900 °С по уровню механических свойств превосходит все отечественные жаропрочные сплавы, применяемые в технологии селективного лазерного сплавления, а результаты расчета запаса прочности синтезированного материала в конструкции ТНА на основании проведенного комплекса испытаний подтвердили возможность его применения для рабочих лопаток и сопловых аппаратов с 6 по 8 ступени ТНД двигателя ПД-26, о чем свидетельствует Акт о внедрении, утвержденный генеральным конструктором АО «ОДК-Авиадвигатель».

Развитие беспилотной авиации в условиях высокой загрузки литейных мощностей и стоимости технологической оснастки определило актуальность применение технологий аддитивного производства для сложнопрофильных деталей малоразмерных газотурбинных двигателей, в связи с чем, разработчики перспективных изделий акцентировали внимание на разработанных сплавах для роторных деталей. В результате сплав ВЖС1 был применен для изготовления крыльчатки турбины, которая выдержала без деформаций и образования дефектов огневые стендовые испытания в составе малоразмерного газотурбинного двигателя тягой 80 кгс разработки ОАО «ЛИИП им. Гризодубовой В.С.», по результатам которых принято решение о применении разработанного сплава в серийном изготовлении крыльчатки турбины, что подтверждено актом об опробовании и внедрении.

Наиболее высокую практическую значимость имеет впервые созданный в России для технологии селективного лазерного сплавления и не имеющий прямых аналогов высоколегированный жаропрочный никелевый сплав ВЖС3 с объемной долей γ' -фазы 63-67 % и длительной прочностью при 1000 °С ($\sigma_{100}^{1000} = 130$ МПа) на уровне литого сплава ВЖЛ12У. По результатам предварительной оценки АО «ОДК-Авиадвигатель» разработанный сплав

обеспечивает работоспособность сопловых аппаратов и рабочих лопаток с 5 по 3 ст. ТНД двигателя ПД-26.

Особую практическую значимость имеет выпущенная соискателем в составе научного коллектива института технологическая документации на селективное лазерное сплавление (ТР 1.2.3195-2025, ТР 1.2.3236-2026), газостатическую и термическую обработки (ТР 1.2.3196-2025, ТР 1.2.3239-2026) разработанных синтезированных сплавов ВЖС1 и ВЖС3, что обеспечивает разработку в кратчайшие сроки технологий изготовления опытных образцов и внедрения в серию изделий авиационной техники.

Ценность научных работ соискателя. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, из них 6 – в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, получен 1 патент и поданы 2 заявки на изобретение Российской Федерации.

Ценность научных работ соискателя заключается в разработке обобщенного критерия трещиностойкости Σ никелевых сплавов при селективном лазерном сплавлении, обеспечившего создание нового жаропрочного никелевого сплава марки ВЖС3 близкого к литому сплаву ВЖЛ12У по уровню длительной прочности для изготовления роторных и статорных деталей турбин, работающих при температуре до 1000 °С, и не имеющего прямых аналогов в Российской Федерации.

Разработанные соискателем в составе научного коллектива института жаропрочные никелевые сплавы марок ВЖС1 и ВЖС3 в условиях активного промышленного освоения и развития технологий аддитивного производства имеют чрезвычайно высокую практическую значимость, так как в сжатые сроки обеспечивают разработку конструкции, изготовление и проведение ресурсных испытаний опытных образцов перспективных авиационных двигателей и

газовых турбин, в состав которых входят детали сложной конструкции недоступной для изготовления по традиционным технологиям.

Основные положения и выводы диссертационного исследования, выносимые на защиту, в полной мере изложены в научных работах, опубликованных соискателем ученой степени, результаты проведенных исследований соответствуют мировому уровню развития материалов и технологий аддитивного производства.

Соответствие пунктам паспорта научной специальности. Тема и содержание работы полностью соответствует выбранной научной специальности 2.6.17. Материаловедение и соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности:

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 4. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физикомеханическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой.

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. (соответствует).

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем:

Общее количество публикаций, опубликованных соискателем в области аддитивных технологий, – 67 работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 научных работ, из них 6 – в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, получен 1 патент и поданы 2 заявки на изобретение Российской Федерации.

Список основных трудов по теме диссертации опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Каблов Е.Н., Неруш С.В., Чубов Д.Г., Сухов Д.И., Филонова Е.В., Пахомкин С.И. Структурная нестабильность жаропрочных сплавов на основе никеля с высоким содержанием гамма-штрих фазы, полученных методом селективного лазерного сплавления // Труды ВИАМ. 2025. № 8 (150). Ст. 01. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-3-13.

2. Неруш С.В., Чубов Д.Г., Капланский Ю.Ю., Сухов Д.И. Исследование экспериментального жаропрочного сплава на основе никеля, полученного методом селективного лазерного сплавления // Труды ВИАМ. 2025. №7 (149). Ст. 01. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-7-3-12.

3. Сухов Д.И., Неруш С.В., Беляков С.В., Мазалов П.Б. Исследование параметров шероховатости поверхностного слоя и точности изготовления изделий аддитивного производства // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2017. № 9 (690). С. 73–84. DOI 10.18698/0536-1044-2017-9-73-84.

4. Сухов Д.И., Неруш С.В., Ефимочкин И.Ю., Карачевцев Ф.Н., Богачев И.А. Получение металлматричных композитов на основе сплава ВЖ159 методом селективного лазерного сплавления // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 2 (63). Ст. 07. DOI 10.18577/2713-0193-2021-0-2-62-72.

5. Евгенов А.Г., Роголёв А.М., Неруш С.В., Мазалов И.С. Исследование свойств сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления металлических порошков // Труды ВИАМ. 2015. № 2. Ст. 02. DOI 10.18577/2307-6046-2015-0-2-2-2.

6. Вершков А.В., Оспенникова О.Г., Неруш С.В. Разработка концепции интегрированной информационной системы по свойствам авиационных материалов с возможностью расчёта характеристик разрабатываемых новых материалов // Труды ВИАМ. 2015. № 5. Ст. 01. DOI 10.18577/2307-6046-2015-0-5-1-1.

Иные публикации:

Неруш С.В., Сухов Д.И., Капланский Ю.Ю., Чубов Д.Г. «Закономерности кинетики ползучести и длительной прочности жаропрочного никелевого сплава ВЖС1» (Сборник докладов XVIII Всероссийской конференции по испытаниям и исследованиям свойств материалов «ТЕСТМАТ» по тематике «Современные подходы и тенденции развития структурно-фазовых, химико-аналитических методов анализа». Москва: ВИАМ НИЦ «Курчатовский институт», 2026. С. 334–345.

Патент Российской Федерации

Каблов Е.Н., Неруш С.В., Евгенов А.Г., Роголев А.М., Василенко С.А., Ходырев Н.А., Сухов Д.И. Способ изготовления деталей послойным лазерным сплавлением металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля. Патент на изобретение RU 2623537, 27.06.2017. Заявка № 2015148793 от 13.11.2015 (Соискателем лично исследовано влияние фракционного состава металлических порошков хромосодержащих жаропрочных сплавов на основе

никеля на физико-механические свойства деталей, полученных путем послойного лазерного сплавления).

Заявки на изобретение Российской Федерации:

1. Сухов Д.И., Неруш С.В., Капланский Ю.Ю., Чубов Д.Г., Мазалов П.Б., Крылов С.А., Рогалев А.М., Тихонов М.М., Богачев И.А. Сплав на основе никеля для получения изделий методом аддитивных технологий. Заявка № 2026105665 от 03.03.2026 г.

2. Сухов Д.И., Неруш С.В., Капланский Ю.Ю., Чубов Д.Г., Карашаев М.М., Мазалов П.Б., Крылов С.А., Рогалев А.М., Тихонов М.М., Богачев И.А., Егоров Е.В. Жаропрочный сплав на основе никеля для получения изделий методом аддитивных технологий. Заявка № 2026105666 от 03.03.2026 г.

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

Диссертационная работа Неруша С.В. рекомендуется к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.17. Материаловедение.

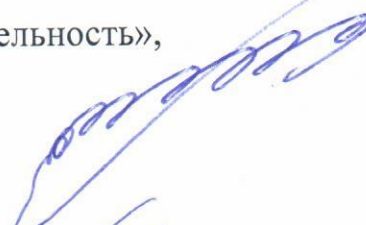
Заключение рассмотрено на совместном заседании научно-технических советов научно-исследовательских отделений «Жаропрочные литейные и деформируемые сплавы и стали» и «Технологии порошковой металлургии, аддитивного производства, сварки, защитных и специальных высокотемпературных покрытий и материалов» (Протокол №20 от «28» мая 2026 г.) и принято на заседании Президиума Научно-технического совета НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Присутствовало на заседании Президиума Научно-технического совета НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ - 46 человек, из них докторов наук - 6, кандидатов наук - 21, с правом голоса - 27.

Результаты голосования: «за» - 27, «против» - 0, «воздержались» - нет.
Протокол № 25 от «24» июня 2026 г.

Начальник управления

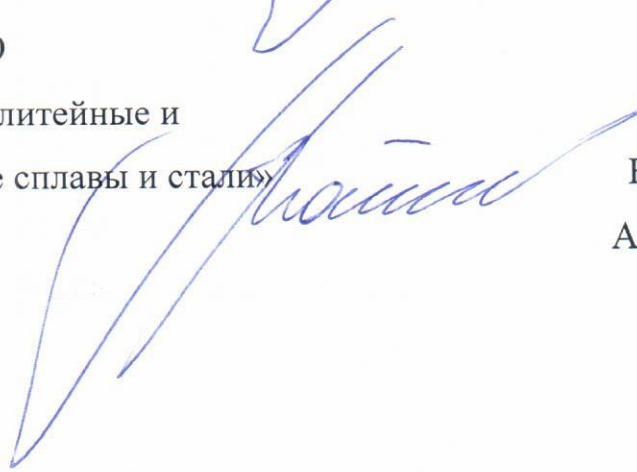
«Научно-образовательная деятельность»,
к.т.н., доцент



Свириденко
Данила Сергеевич

Начальник НИО

«Жаропрочные литейные и
деформируемые сплавы и стали»
к.т.н.



Востриков
Алексей Владимирович