

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор
НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ

С.В. Яковлев



20 25 г.
М.П.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский
научно-исследовательский институт авиационных материалов»
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Диссертация Рогалева Алексея Михайловича на тему «Формирование структуры и физико-механических свойств синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления» 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 Рогалев Алексей Михайлович работал в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) в должности инженера 1 категории, начальника сектора, заместителя начальника лаборатории № 616 «Порошковая металлургия и аддитивное производство».

Рогалев Алексей Михайлович, 1988 года рождения, в 2010 году окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет «МАМИ» по специальности «Автомобиле и- тракторостроение». Справка о периоде обучения выдана 04.04.2019 г. № 0031.

Научный руководитель – Сухов Дмитрий Игоревич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Порошковая металлургия и аддитивное производство» НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы. Область диссертационного исследования Рогалева Алексея Михайловича включает экспериментальные исследования влияния среды синтеза (аргон и азот) на микроструктуру и свойства синтезированного материала сплава ЭП648, в структуре синтезированного материала после синтеза в азоте после баротермической обработки и последующего старения обнаружены нитриды хрома, которые вносят существенный вклад в упрочнение материала при проведении испытаний на длительную прочность. Установлено влияние содержания кислорода в синтезированном материале на объемную долю трещин. Важным практическим результатом является регламентирование требований по содержанию кислорода в МПК и среде синтеза (азоте), из которых складывается содержание кислорода в синтезированном материале, оно должно составлять не более 150 ppm для обеспечения отсутствия трещин в материале после применения баротермической обработки. Установлены особенности формирования поверхностей UpSkin и DownSkin в зависимости от режима синтеза контура сложнопрофильных изделий, что позволяет получать шероховатость на поверхности UpSkin до Ra 5 и на поверхности DownSkin до Ra 15. Разработанные на основе проведенных исследований технологии изготовления деталей «Завихритель» и «Корпус агрегата наддува» из сплава ЭП648 методом селективного лазерного сплавления

внедрены в серийное производство, о чем свидетельствует полученный акт внедрения.

Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в научном обосновании и постановке задач исследований, разработке приемов и методик экспериментальных исследований в части зависимости влияния технологических параметров СЛС на образование пор и трещин в микроструктуре синтезированного материала, влияния среды синтеза (аргон и азот) на микроструктуру и свойства синтезированного материала, влияние термической и баротермической обработок на структуру и комплекс физико-механических свойств синтезированного материала, разработке режимов СЛС жаропрочного никелевого сплава, его апробации в условиях опытного и серийного производства, оформлении результатов в виде научных публикаций, докладов и патентов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований:

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

Новизна результатов проведенных исследований:

1. Впервые в синтезированном материале жаропрочного никелевого сплава ЭП648 после синтеза в среде азота и последующего проведения баротермической и термической обработок выявлены наноразмерные нитриды хрома, наличие которых положительно сказывается на сопротивлении ползучести синтезированного материала.

2. Установлено, что суммарное содержание кислорода, который наследуется из металлопорошковой композиции и среды сплавления, в синтезированном в среде азота материале не должно превышать 150 ppm.

Содержание кислорода свыше 150 ppm приводит к значительному увеличению объемной доли трещин в синтезированном материале.

3. Впервые установлена взаимосвязь формирования поверхностей деталей из синтезированного материала жаропрочного никелевого сплава ЭП648 от подводимой плотности энергии. Для формирования верхней поверхности деталей (UpSkin) со значениями шероховатости Ra 4-5 необходимо обеспечить плотность энергии на контуре в интервале 30-39 Дж/мм² и скорости сканирования в интервале 300-1000 мм/с. Для формирования нижней поверхности деталей (DownSkin) со значением шероховатости Ra 14-15 необходимо обеспечить плотность энергии на контуре в интервале 6-8 Дж/мм², независимо от мощности и скорости энергии.

Практическая значимость проведенных исследований:

На основе выполненных исследований были получены следующие практические результаты:

1. Установлено предельно допустимое содержание кислорода в металлопорошковых композициях, в среде синтеза и в синтезированном материале сплава ЭП648, обеспечивающее минимальное количество микротрещин в структуре синтезированного материала.

2. Определены основные режимы синтеза для формирования верхних (UpSkin) и нижних (DownSkin) поверхностей деталей из синтезированного материала сплава ЭП648, обеспечивающие минимальные значения шероховатости.

3. Разработан и защищен патентом RU 2623537 способ изготовления сложнопрофильных деталей селективным лазерным сплавлением металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля, включающий в себя проведение процесса синтеза в среде азота, баротермическую и термическую обработки.

4. Разработаны технологии изготовления сложнопрофильных статорных деталей: «Завихритель» авиационных двигателей ПД-8 и ПД-14 и

«Корпус агрегата наддува» ракетного двигателя РД-191М. Технологии внедрены в серийное производство АО «ОДК-Авиадвигатель» и АО «НПО Энергомаш».

Разработанные в результате выполнения диссертационной работы материалы и технология синтеза внедрены в опытно-промышленное производство НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ и серийное производство АО «ОДК-Авиадвигатель» и АО «НПО Энергомаш».

Для нормативного обеспечения производства разработаны: 3 технологические инструкции на процессы СЛС, ГИП и термической обработки; 1 дополнение к паспорту на синтезированные материалы, 2 дополнительных сведения; 1 технические условия (ТУ).

Ценность научных работ соискателя. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 6 в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, 2 в журналах, включенных в международные системы цитирования Scopus и 2 патентах Российской Федерации.

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:

По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 6 в изданиях, входящих в перечень ВАК при Минобрнауки России, 2 в журналах, включенных в международные системы цитирования Scopus и 2 патентах Российской Федерации:

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

1. Сухов Д.И., Капланский Ю.Ю., **Рогалев А.М.**, Куркин С.Э. Особенности получения высокохромистых сплавов на основе никеля методом селективного лазерного сплавления. Труды ВИАМ. 2023. № 1 (119). С. 15-27
2. Оспенникова О.Г., Наприенко С.А., Медведев П.Н., Зайцев Д.В., **Рогалев А.М.** Особенности формирования структурно-фазового состояния сплава ЭП648 при селективном лазерном сплавлении. Труды ВИАМ. 2021. № 8 (102). С. 3-11.
3. Оспенникова О.Г., Мин П.Г., **Рогалев А.М.**, Вадеев В.Е. Исследование химического состава, структуры и механических свойств сплава ЭП648, полученного методами деформации, литья по выплавляемым моделям и селективного лазерного сплавления. Вопросы материаловедения 2020. 1(101). С.44-54 <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2020-101-1-44-54>.

4. Быщенко О.А., Чабина Е.Б., Филонова Е.В., **Рогалев А.М.** Взаимосвязь дефектов структуры жаропрочного никелевого сплава, полученного методом селективного лазерного сплавления, стратегии и параметров сканирования. Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016. № 3. С. 121-132.

5. Евгенов А.Г., **Рогалев А.М.**, Карачевцев Ф.Н., Мазалов И.С. Влияние горячего изостатического прессования и термической обработки на свойства сплава ЭП648, синтезированного методом селективного лазерного сплавления. Технология машиностроения. 2015. № 9. С. 11-16.

6. Евгенов А.Г., **Рогалев А.М.**, Неруш С.В., Мазалов И.С. Исследование свойств сплава ЭП648, полученного методом селективного лазерного сплавления металлических порошков. Труды ВИАМ. 2015. № 2. С.2.

Публикации, индексируемые в базе Scopus:

7. Bakradze M.M., **Rogalev A.M.**, Sukhov D.I., Aslanyan G.G. Special features of formation of surface by selective laser melting. Metal Science and Heat Treatment. 2022. Т. 64. № 1-2. С. 108-116.

8. Мин П.Г., Сухов Д.И., Вадеев В.Е., **Рогалев А.М.** Влияние режима термической обработки на структуру и механические свойства коррозионно-стойкого жаропрочного сплава ВЖЛ718, полученного методом селективного лазерного сплавления. Металловедение и термическая обработка металлов. 2022. № 12 (810). С. 52-61.

Патенты Российской Федерации:

9. Способ получения металлического порошка. Патент на изобретение RU 2492028 от 10.09.2013/ Каблов Е.Н., Евгенов А.Г., Неруш С.В., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Щербаков А.И., **Рогалев А.М.**; Заявка №2012127429/02 от 02.07.2012.

10. Способ изготовления деталей послойным лазерным сплавлением металлических порошков жаропрочных сплавов на основе никеля. Патент на изобретение RU 2623537 от 27.06.2017/ Е.Н. Каблов, А.Г. Евгенов, А.М. **Рогалев**,

С.А. Василенко, Н.А. Ходырев, Д.И. Сухов, С.В. Неруш; Заявка №2015148793 от 13.11.2015.

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 Рогалева Алексея Михайловича 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 – 44 человека, в том числе с правом голоса – 21, из них докторов наук – 3, кандидатов наук – 11.

Результаты голосования: «за» – 21, «против» – 0, «воздержались» – нет. Протокол №33 от «25» сентября 2025 г.

Председательствующий на заседании:

Начальник НИО

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



Неруш
Святослав
Васильевич