

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
99.2.039.02 (Д999.122.02)

созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____
решение объединенного диссертационного
совета от 02.12.2022 г. № ____

О присуждении Хакимову Алексею Мунировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Структура и свойства жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ при изготовлении крупногабаритных деталей ГТД по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения металлов» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 26 сентября 2022 г. (протокол заседания № 12), объединенным диссертационным советом 99.2.039.02 (Д 999.122.02), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки Российской Федерации, 443100, Самара, Молодогвардейская 244, и федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» Минобрнауки Российской Федерации, 443086, Самара, Московское шоссе, 34, приказ Минобрнауки Российской Федерации №45/нк от 30.01.2017 г.

Соискатель Хакимов Алексей Мунирович, 10.08.1994 года рождения, в 2018 году с отличием окончил очную магистратуру по направлению «Материаловедение и технологии материалов», в 2022 году окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» по направлению «Технологии материалов», научная специальность «Материаловедение (машиностроение)». В период подготовки диссертации Хакимов А.М. работал на предприятии ПАО «ОДК-Кузнецов» на следующих должностях: начальник лаборатории аддитивных технологий (сентябрь 2018 – декабрь 2019), ведущий инженер-технолог бюро сварки, пайки и напыления (декабрь 2019 – январь 2020), заместитель главного сварщика (февраль – сентябрь 2020). С октября 2020 года по настоящее время, работает в филиале АО «ОДК» «НИИД» на должности начальника отдела «Лазерная обработка».

Диссертация выполнена на кафедре «Литейные и высокоэффективные технологии» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Никитин Константин Владимирович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Литейные и высокоэффективные технологии», заведующий кафедрой, декан факультета «Машиностроения, металлургии и транспорта».

Официальные оппоненты:

- Хаймович Александр Исаакович, доктор технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», кафедра «Технологии производства двигателей», заведующий кафедрой.

- Корзникова Галия Фердинандовна, доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук», лаборатория 04 «Наноматериалы и нанотехнологии», ведущий научный сотрудник.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», город Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, утвержденным Никущенко Дмитрием Владимировичем, д.т.н., профессором, проректором по научной работе, подписанным Туричиным Глебом Андреевичем, д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Цифровые лазерные технологии», Земляковым Евгением Вячеславовичем, к.т.н., доцентом, ученым секретарем кафедры «Цифровые лазерные технологии», указала, что разработанная технология изготовления заготовки детали «Корпус» из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения внедрена в производство филиала АО «ОДК» «НИИД» и может быть рекомендована к использованию на других предприятиях, специализирующихся на аддитивных технологиях прямого лазерного нанесения. Процесс изготовления опытной крупногабаритной заготовки детали «Корпус» для перспективного ГТД прошел успешную опытно-промышленную апробацию, что также доказывает применимость данной технологии.

Заключение содержит следующие замечания: Отсутствуют результаты проведения механических испытаний технологической пробы из МПК производства ФГУП «ВИАМ» (газовая атомизация). Данные результаты необходимы для сравнения механических свойств с материалом, полученным из МПК производства АО «Композит» (центробежное распыление); Отсутствие в работе рентгенофазового анализа не позволяет в полной мере определить и подтвердить наличие тех или иных фаз в материале, полученном по технологии прямого лазерного нанесения; В таблицах (№4.1; 4.4; 4.6) с режимами изготовления не указан расход коаксиального газа; Отсутствует упоминание про коэффициент захвата МПК.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них 5 в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 в изданиях, индексируемых БД Scopus и WoS. Вклад соискателя: формирование целей и задач исследований, проведение экспериментальных исследований, разработка маршрутно-технологического процесса прямого лазерного нанесения для изготовления заготовки детали «Корпус» из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, изготовление опытной заготовки детали «Корпус».

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Khakimov, A.M. The influence of Direct Laser Deposition on the Structure and Properties of Ni–Cr–W–Mo Heat-Resistant Nickel Alloy [Текст] / A.M. Khakimov, K.V. Nikitin, S.S. Zhatkin and other // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2022. Vol. 63. No. 3. P. 305–314.

2. Khakimov, A.M. Investigation of the parameters of direct laser growing and subsequent processing to obtain a defect-free structure of a material made of a heat-resistant EP648 alloy [Текст] / A.M. Khakimov, S.S. Zhatkin, K.V. Nikitin // Journal of Physics: Conference Series. 2021. –Vol. 2094.

3. Хакимов, А.М. Исследование структуры и свойств деталей из жаропрочных и нержавеющей сплавов, полученных технологией прямого лазерного выращивания [Текст] / А.М. Хакимов, С.С. Жаткин, Е.Ю. Щедрин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 22, №2. – Самара. – 2020. – С. 59-66.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов.

В отзыве официального оппонента **Хаймовича А.И.** указаны следующие основные замечания: Сплав ХН50ВМТЮБ относится к группе свариваемых сплавов с ограниченным содержанием алюминия и титана, способствующих образованию гамма-штрих фазы, которая с одной стороны необходима для упрочнения сплава при высоких температурах, с другой – является причиной образования трещин при термической постобработке. Сплавы этой группы также обладают пониженной пластичностью по границам зерен из-за осаждения карбидов титана, хрома и др. В этой связи для обоснованного выявления причин образования трещин, необходим рентгеноструктурный фазовый анализ, результаты которого в диссертации не приведены; Анализ технологических параметров аддитивных процессов обычно принято проводить с помощью параметров как линейная плотность энергии и (или) удельная энергия сплавления, поскольку превышение этой энергии приводит к образованию трещин, а ее заниженное значение – к появлению непроплавленных областей; Не указана температура испытаний длительной прочности; Не указано количество циклов проведения усталостных испытаний; Не приведены фотографии среза стенки заготовки детали «Корпус» после удаления жертвенного слоя.

В отзыве официального оппонента **Корзниковой Г.Ф.** сформулированы следующие вопросы и замечания: В названии диссертации следовало написать «механические свойства», поскольку в работе исследовался целый комплекс механических свойств; В практической значимости работы указано, что термическая обработка положительно влияет на микроструктуру и свойства (имелось ввиду механические). Это известный факт для любых никелевых сплавов; В работе проведена одна термическая обработка – по одному режиму, а подбора или разработки режима термической обработки в работе нет; «При анализе химического состава частиц МПК» почему-то выявлено «равномерное распределение фазовых составляющих» (стр.56); Нет методики подсчета размера зерен; В выводах, в результатах не указано напряжение при проведении испытаний на длительную прочность; Не указан метод определения дефектов в заготовке; Какое направление имеют отклонения? Получится ли серийная деталь из заготовки? Припуск 2-5 мм допустим?

На автореферат поступили 10 отзывов от:

С.В. Беляева, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Литейное производство» ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск); О.В. Сизовой, д.т.н., проф., гл. науч. сотр. лаборатории физики упрочнения поверхности ФГБУН «Институт физики прочности

и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Томск); А.А. Ситникова, д.т.н., проф., дир. производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (г. Барнаул); О.Н. Гусева, главного инженера и Д.А. Баранова, к.т.н., зам. главного сварщика по новым и ремонтным технологиям ПАО «ОДК-Кузнецов» (г. Самара); А.А. Мельникова, к.т.н., доц. кафедры «Технологии металлов и авиационного материаловедения» ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (г. Самара); И.М. Ковенского, д.т.н., проф. кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (г. Тюмень); Н.А. Феоктистова, к.т.н., доц., зав. кафедрой «Литейных процессов и материаловедения» и Н.В. Копцевой, д.т.н., проф. кафедры «Литейных процессов и материаловедения» ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск); Н.А. Белова, д.т.н., проф., гл. науч. сотр. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (г. Москва); В.А. Ивановой, д.т.н., доц., дир. института инженерии и машиностроения ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет» (г. Ярославль); С.Я. Алибекова, д.т.н., проф., зав. кафедрой «Машиностроения и материаловедения» ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технический университет» (г. Йошкар-Ола).

В замечаниях указано: Не представлены результаты механических испытаний образцов из металлопорошковой композиции (МПК) производства ФГУП «ВИАМ» (газовая атомизация); Не представлены результаты рентгенофазового анализа МПК; На всех снимках, иллюстрирующих микроструктуры образцов исследуемого сплава, полученных по разным режимам прямого лазерного нанесения, не указаны масштабы увеличений; Не совсем корректный термин «прямое лазерное нанесение металлов». В аддитивных технологиях обычно используется термин «прямое лазерное спекание металлов»; Отсутствует информация о температурном режиме испытаний на длительную прочность; Не представлен химический состав и физико-механические свойства исследуемого материала ХН50ВМТЮБ; Отсутствует исследование влияния режимов старения на окончательную структуру и свойства получаемого изделия; В работе не сделан акцент на недостатки традиционных технологий при изготовлении крупногабаритных деталей сборочных единиц; Не выведена причинно-следственная связь возникновения пористости и структуры с обилием сателлитов у порошка, полученного газовой атомизацией; Необходимы углубленные исследования структуры материала опытной заготовки детали «Корпус» для сопоставления степени анизотропии структуры и свойств в ее тонких и массивных частях.

Все отзывы положительные, отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость основных положений работы, соответствие диссертационной работы требованиям Положения о присуждении ученых степеней, а её автор – Хакимов А.М. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в области разработки новых материалов, полученных аддитивными технологиями, что подтверждается публикациями в научных изданиях в

сфере исследования соискателя, а также наличием в ведущей организации диссертационного совета по данной научной специальности.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** новая научная идея, позволившая установить новые закономерности формирования структуры и свойств жаропрочного сплава, полученного аддитивной технологией прямого лазерного нанесения;

- **предложены** оригинальные суждения, объясняющие наследование структуры исходных металлопорошковых композиций структурой материала, полученного аддитивной технологией прямого лазерного нанесения;

- **доказана** перспективность выявленных закономерностей для получения однородной структуры и свойств при изготовлении аддитивной технологией прямого лазерного нанесения крупногабаритных заготовок ГТД;

- **введено** представление о наследственном влиянии структуры металлопорошковых композиций на структуру материала жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного аддитивной технологией прямого лазерного нанесения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано** влияние режимов прямого лазерного нанесения на однородность структуры и механических свойств жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ;

- **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых и современных методов исследования, экспериментальных методик с использованием аналитического подхода, что позволило получить новые научные и практические результаты при изучении процесса прямого лазерного нанесения жаропрочных сплавов;

- **установлены и изложены** зависимости механических свойств жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного аддитивной технологией прямого лазерного нанесения, от мощности лазерного излучения;

- **раскрыто и изучено** влияние мощности лазерного излучения и скорости прямого лазерного нанесения на размеры и количество дефектов жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения;

- **проведена модернизация** методик исследования структуры и свойств жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученного по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения;

- **определено** положительное влияние оптимальных параметров термической обработки на структуру и свойства образцов из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, полученных по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения.

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

- **разработан и внедрен** в филиале АО «ОДК» «НИИД» технологический процесс получения опытной крупногабаритной заготовки детали «Корпус» для перспективного ГТД по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения;

- **определены** оптимальные режимы прямого лазерного нанесения, обеспечивающие требуемый уровень механических свойств и снижение количества дефектов структуры;

- **созданы** рекомендации по оценке качества металлопорошковых композиций, с учетом наследования особенностей их структуры структурой материала, получаемого по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения;

- **выявлено**, что полноценное внедрение предложенного технологического процесса прямого лазерного нанесения в серийное производство возможно после проведения стендовых испытаний сборочной единицы в составе газотурбинного двигателя.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **экспериментальные результаты** получены на современном научно-исследовательском оборудовании с использованием аттестованных методов и методик, с применением сертифицированного оборудования и современного программного обеспечения;

- **теория** построена на проверяемых фактах и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- **идея** базируется на сравнительном анализе и испытаниях натуральных образцов, изготовленных в ходе выполнения диссертационной работы, а также анализе процессов структурообразования в материале, полученном аддитивной технологией прямого лазерного нанесения;

- **использованы** современные методики сбора и обработки информации, представленные выборочные совокупности с обоснованием выбора объектов и методов исследования;

- **установлено** качественное и количественное совпадение полученных экспериментальных и теоретических результатов между собой и с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в: формировании целей и задач исследований, проведении экспериментальных исследований, разработке маршрутно-технологического процесса прямого лазерного нанесения для изготовления заготовки детали «Корпус» из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ, изготовлении опытной заготовки детали «Корпус».

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) Проводились ли испытания образцов на малоцикловую усталость? 2) Налажено ли производство порошков по технологии газовой атомизации и центробежного распыления? 3) Что значит стабильный и нестабильный режимы? 4) Чем отличаются рыхлоты и пористость? 5) Расскажите куда делись трещины в материале образцов? 6) Для чего вы включили в работу порошок производства ФГУП «ВИАМ»?

Соискатель Хакимов А.М. ответил на высказанные в ходе заседания замечания и привел собственную аргументацию: 1) Испытания на малоцикловую усталость не проводились. 2) Производство порошков по данным технологиям налажено. 3) Стабильный режим - когда происходит равномерное формирование валиков и нет разницы расстояний от среза наплавочного сопла до рабочей точки, где происходит наплавление. Если происходит обваливание валиков в результате перегрева или недостатка порошка, этот режим называется нестабильным. 4) Внутренняя пористость отличается тем, что имеет пустоты в материале в основном сферичной формы, а рыхлоты более неправильной формы и имеют посторонние включения. 5) Трещины были обнаружены на изготовленных шлифах в материале образцов без термической обработки. Повторив изготовление образцов и выполнив на них термическую обработку, было установлено

отсутствие трещин. Это связано с тем, что термическая обработка сняла остаточные напряжения в материале, полученном по технологии прямого лазерного нанесения и растрескивание при изготовлении шлифов не произошло. б) С целью последующей выдачи рекомендаций по выбору материала.

На заседании 2 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Хакимову Алексею Мунировичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение за новые научно-обоснованные технологические решения в исследовании структуры и свойств жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ при изготовлении крупногабаритных деталей ГТД по аддитивной технологии прямого лазерного нанесения металлов, имеющие значение для развития страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 19, против 0.

Председатель диссертационного
совета 99.2.039.02 (Д 999.122.02)



Клебанов Яков Мордухович

Секретарь диссертационного
совета 99.2.039.02 (Д 999.122.02)

Луца Альфия Расимовна

02 декабря 2022 г.