

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)**

**федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет
имени П. А. Соловьева»
(РГАТУ имени П. А. Соловьева)**

УТВЕРЖДАЮ»

**Первый проректор - проректор по
науке и цифровой трансформации**

Сутягин А.Н.

2025 г.



Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rsatu.ru

01.11.2025 № 0802/3701

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» на диссертационную работу Малютин Константин Викторовича «Повышение износостойкости наплавленного слоя деталей из стали ВНЛ-3 в условиях высокотемпературного нагрева», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 «Материаловедение» (технические науки)

Актуальность темы диссертации. В последние годы для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств при изготовлении и восстановлении ответственных деталей самолетов, работающих в условиях трения (например, башмак посадочного устройства), широкое распространение получили технологии нанесения покрытий, которые обеспечивают формирование износостойкого поверхностного слоя. В практике самолетостроения для этих целей нашел применение достаточно широкий спектр различных материалов и технологий, однако в последние годы все чаще используются кобальтовые сплавы, которые обладают достаточно высокой износостойкостью, сопротивлением ползучести, усталостной прочностью и жаростойкостью.

Как известно в этих сплавах реализуются два механизма упрочнения (твердорастворное и карбидное), что приводит к увеличению количества легирующих элементов, прежде всего тугоплавких (более 35%), и формированию в сплаве сложных карбидов. В результате создание наплавленных слоев из этих сплавов сопровождается возникновением в процессе наплавки характерных дефектов - трещин. Кроме того наблюдается неоднозначное поведение этих сплавов при эксплуатации в условиях повышенных температур, обусловленное наличием в сплавах этой группы полиморфного превращения. Эти проблемы часто перекрывает преимущества кобальтовых сплавов, поэтому необходимы глубокие исследования особенностей технологии нанесения покрытий, обоснование выбора оптимальных методов и режимов обработки, обеспечивающих требуемое качество покрытий, которые в настоящее время, к сожалению, отсутствуют. В этой связи результаты исследований, представленные соискателем и направленные на изучение особенностей формирования структуры, фазового состава и свойств наплавленного слоя являются, несомненно, актуальными.

Общая характеристика работы. Соискателем на основании проведенного глубокого анализа применяемых конструкций посадочных устройств, условий их эксплуатации, применяемых материалов, способов изготовления и нанесения покрытий установлены причины возникновения дефектов, намечены пути снижения вероятности их возникновения, сформулирована цель и задачи исследований.

В частности на основании результатов металлографического исследования поверхности изломов автор показал, что трещины возникают на стадии охлаждения детали после наплавки, а их причиной является образование пор в слое наплавки, а также обогащение слоя наплавленного металла водородом, частично поступающим в результате диффузии из основного металла. Долговечность образцов от момента достижения трещиной основного материала до разрушения составляет в среднем 900 циклов при уровне напряжений 800 МПа, а от начала нагружений до момента страгивания трещины составляет от общей долговечности образца: 25–28% при $\sigma_{\max} = 800$ МПа (240–300 циклов) и 64–81% при $\sigma_{\max} = 600$ МПа (1800–4300 циклов); то есть имеется безопасный ресурс, позволяющий эксплуатировать элемент с технологической трещиной в наплавке.

Особый интерес представляют результаты исследований по применению широкополосной лазерной газопорошковой наплавки взамен аргонодуговой со сканированием луча для формирования наплавленных слоев на поверхности, автором были установлены режимы процесса, которые

обеспечивают получение наплавленных слоев с требуемыми геометрическими характеристиками без внутренних дефектов, а результаты металлографических исследований убедительно показали, что положительный результат обеспечивается за счет особенностей строения наплавленных слоев, которые имеют строение с хаотическим направлением роста кристаллов, при этом проявляется поперечное сечение столбчатых дендритов. После окончательного затвердевания свободные дендриты соприкасаются между собой. Кристаллы имеют центральную ось шириной в пределах 1–2 мкм, длина которой варьируется от 5 до 30 мкм. Эта ось по всей длине пересекается множеством двойников с расстоянием друг от друга от 1 до 2 мкм. Структура сплава аустенитно–ледобуритная с включениями сложных карбидов на основе хрома и кобальта с размерами в пределах 1–3 мкм.

Испытания при комнатной температуре позволили получить исходные базовые значения коэффициента трения для наплавленных образцов, который составил 0,29–0,32 для варианта ручной аргонодуговой наплавки и 0,24–0,26 – для лазерной газопорошковой наплавки. Весовой износ наплавленных ручной аргонодуговой сваркой образцов без дефектов в наплавленном слое при полном цикле испытаний в условиях нормальной температуры (20 °С) был на уровне 55,8 мг, а для образцов, полученных лазерной широкополосной газопорошковой наплавкой отмечается снижение износа до 50,3–52,1 мг. Наибольшая величина износа отмечена для температуры испытания 900 °С и составила 567,4 мг для варианта ручной аргонодуговой наплавки. Обращает на себя внимание тот факт, что при высоких температурах нагрева при испытаниях величина износа для образцов, наплавленных широкополосной лазерной газопорошковой наплавкой, ниже, чем образцов, полученных ручной аргонодуговой наплавкой.

Все это позволило предложить технологические рекомендации по применению широкополосной лазерной газопорошковой наплавки со сканированием луча для получения износостойких покрытий на башмаках посадочного устройства из стали ВНЛ-3.

Проведенные стендовые испытания изделий в условиях, имитирующих условия эксплуатации, показали, что башмаки, изготовленные по существующей технологии, до полного истирания наплавленного слоя выдерживают 58–60 циклов нагружения, а наплавленные лазерной газопорошковой наплавкой – до 74 циклов нагружения. При этом лазерная газопорошковая наплавка практически полностью исключила брак башмаков

при наплавке. Таким образом можно констатировать, что заявленная цель работы и поставленные задачи соискателем полностью выполнены.

Научная новизна работы заключается в доказательстве того факта, что возникновение дефектов в виде трещин при наплавке аргонодуговым методом происходит в процессе остывания заготовки в интервале температур 320–450°C и обусловлено формированием высокого уровня растягивающих напряжений 500–550 МПа в приповерхностных слоях, а также обогащением наплавленного слоя водородом, содержание которого примерно в 8–10 раз превышает его содержание в подложке из стали ВНЛ-3, а введение в порошок для лазерной газопорошковой наплавки буры в количестве 12–17 мас. % позволило без существенного снижения износостойкости и твердости, в 3 – 4 раза снизить шероховатость наплавленного слоя, а, следовательно, и повысить износостойкость.

Практическая значимость диссертационной работы не вызывает сомнения и заключается в разработке технологии лазерной газопорошковой наплавки сканирующим излучением подложки из стали ВНЛ-3 сплавом Х25Н10В8 и разработкой методики определения основных параметров наплавки. Кроме того автором разработан и опробован технологический процесс упрочнения и восстановления рабочих поверхностей башмака посадочного устройства широкополосной газопорошковой лазерной наплавкой. Разработано оборудование для проведения реновации башмаков посадочного устройства с контролем геометрических параметров нанесения наплавленного слоя. Проведенные стендовые испытания показали, что применение широкополосной газопорошковой наплавки со сканированием луча позволяет в 1,4–1,5 раза повысить износостойкость рабочих поверхностей башмаков и снизить процент бракованных изделий с 60% до 2%, что подтверждено актом.

Достоверность результатов работы обеспечена использованием поверенного и сертифицированного оборудования и методик исследования, проведением исследований и испытаний в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ, ОСТ); хорошим совпадением экспериментальных и теоретических результатов, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на всероссийских и международных научно-технических конференциях, опубликованы в 15 печатных работах, в том числе в 6 входящих в перечень ВАК.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. В автореферате и диссертации имеются отдельные стилистические погрешности и опечатки, на которые указано соискателю, кроме того на графиках, приведенных в автореферате и диссертации, отсутствуют доверительные интервалы, а в таблицах не всегда присутствуют данные по разбросу свойств;
2. В положениях, выносимых на защиту соискателем заявлены механизм образования и развития трещин в наплавленном слое стали ВНЛ-3, однако в тексте автореферата, к сожалению, отсутствует описание указанного механизма;
3. В материалах диссертации следовало бы привести более подробное описание технологии лазерной газопорошковой наплавки, включая затраты времени на каждую операцию;
4. В главе 4 было бы целесообразным привести данные по содержанию водорода в наплавленном слое при лазерной наплавке;
5. В главе 5 представляется логичным привести расчет экономического эффекта от внедрения разработанной автором технологии наплавки износостойкого покрытия на башмак тормозного устройства.

Однако имеющиеся недостатки не снижают качество и ценность проведенных автором исследований, и носят частный характер. Таким образом, диссертационная работа Малютина Константина Викторовича выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по изготовлению деталей тормозного устройства самолета.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Малютин Константин Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение (технические науки).

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры «Материаловедения, литья и сварки», протокол № 10/25 от 01.11.2025 года. На заседании кафедры

присутствовало 13 членов кафедры из 13. Результаты голосования: «за» – 13, против – нет, воздержавшихся – нет.

Заведующий кафедрой
«Материаловедения, литья и сварки»
доктор технических наук, профессор



Шатульский
Александр
Анатольевич

Подпись Шатульского А.А. заверяю
Начальник отдела кадров



И.С. Сударкина