

ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ

АО «ОДК-Авиадвигатель»

УТВЕРЖДАЮ

Управляющий директор –
генеральный конструктор
АО «ОДК-Авиадвигатель»

А.А. Иноземцев

« » И 2023 г.

Конкурсная работа

в номинации «За создание новой технологии»

в конкурсе «Авиастроитель года» по итогам 2022 года

«Разработка технологии восстановления гребешков лабиринтного уплотнения диска
ТВД ГТД из гранулируемого сплава ЭП741НП после эксплуатации»

Пермь 2023

Содержание

1. Введение.....	3
2. Актуальность работы.....	3
3. Цель работы	4
4. Оборудование, детали и материалы.....	4
5. Решение.....	4
6. Результат реализации разработки.....	6
7. Оценка новизны.....	7

1. Введение

В результате эксплуатации во время работы двигателя вращающиеся гребешки лабиринтного уплотнения диска ротора турбомашины взаимодействуют с противоположными неподвижными уплотнительными поверхностями статора турбомашины. В результате взаимного температурного расширения материалов корпусных деталей ротора и статора турбомашины происходит радиальное касание вращающихся гребешков лабиринтного уплотнения о прирабатываемое покрытие неподвижной части статора, которое приводит к постепенному износу верхней части гребешков диска. При этом радиальный зазор в паре уплотнение – гребешки, увеличивается, и необходимая эффективность лабиринтного уплотнения не обеспечивается, что приводит к снижению КПД двигателя в целом.

2. Актуальность работы

Отсутствие технологии ремонта дисков ТВД из гранулированных сплавов приводит к тому, что при износе гребешков лабиринтных уплотнений дисков в процессе эксплуатации двигателя, для восстановления радиального зазора пары уплотнение статора – гребешки ротора, в РКД допущено уменьшение диаметра гребешков на категорийные размеры с заказом на восстановительный ремонт сопрягаемых диаметров сопловых аппаратов, что значительно удлиняет цикл ремонта двигателя.

Технология металлургии гранул горячим изостатическим прессованием гранул жаропрочного сплава, представляющих собой микрослитки жаропрочного сплава размером до 100 мкм, позволяет получать заготовки дисков газотурбинного двигателя любой сложности с однородной структурой и механическими свойствами по всему объёму изделия.

Сдерживающим фактором ремонта изделий из гранулируемых сплавов является то, что гранулируемый материал наследует границы гранул в матрице заготовки изделия при его изготовлении, и при восстановительном ремонте с использованием термического воздействия на восстанавливаемую поверхность, например, методом наплавки, велика вероятность межгранульного проскальзывания по границам гранул с образованием микротрещин и последующим их развитием.

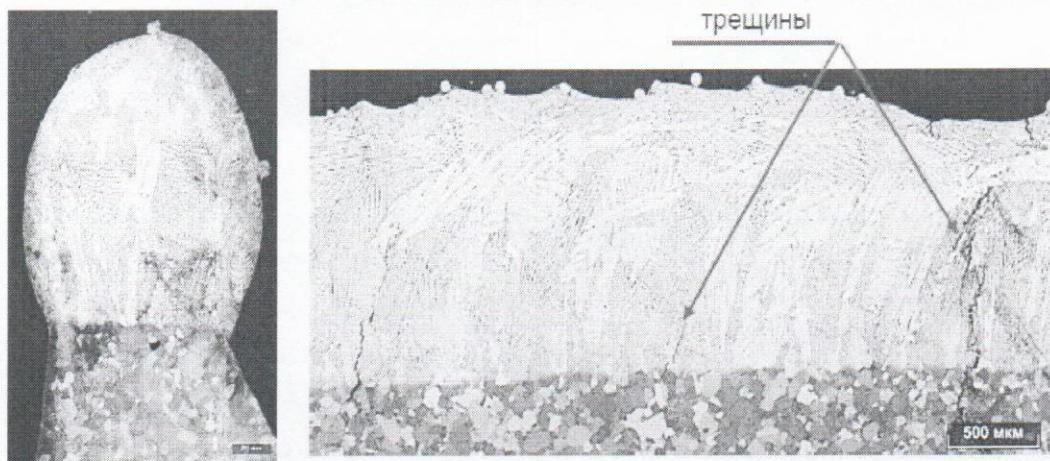


Рисунок 1 – развитие межгранульных трещин из зоны термического влияния материала основы в материал наплавки

На сегодняшний день детали из гранулируемого сплава ЭП741НП изготавливаются для изделий поз. 94, 87, 187 разработки АО «ОДК-Авиадвигатель».

Так как технология восстановления гребешков лабиринтного уплотнения дисков из гранулируемых сплавов отсутствует, разработка технологии для их восстановления становится актуальной и экономически целесообразной.

3. Цель работы

Разработать технологию восстановительного ремонта гребешков диска ТВД из гранулируемого сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки с проведением комплекса разрушающих и неразрушающих видов контроля.

Провести приемочные испытания в составе ГТУ.

Исключить заказы на восстановление сопрягаемых диаметров сопловых аппаратов.

4. Оборудование, детали и материалы

Лазерная порошковая наплавка выполнена на многофункциональном лазерном центре в АО «ОДК-Авиадвигатель». Объектом ремонта является диск ТВД из гранулируемого сплава ЭП741НП. Для восстановления изношенных гребешков диска в качестве присадочного материала применялся порошок сферической формы гранулометрического состава 40-80 мкм кобальтового сплава марки ВЗК производства АО «ПОЛЕМА».

Анализ качества ремонта выполнен разрушающим способом – металлографические исследования, а также неразрушающим способом – цветная дефектоскопия ЛЮМ1-ОВ. Выполнен замер твердости наплавленного металла, зоны термического влияния (ЗТВ) и основного материала диска ТВД.

5. Решение

Решением проблемы восстановления изношенных гребешков диска турбины высокого давления из сплава ЭП741НП стало применение аддитивной технологии ремонта, в частности лазерной газопорошковой наплавки с коаксиальной подачей порошка.

Использование метода лазерной порошковой наплавки обусловлено локальностью термического воздействия, что приводит к уменьшению зоны термического влияния. Существенным преимуществом является возможность варьирования следующих диапазонов технологических параметров режимов лазерной наплавки:

- мощность лазерного излучения;
- диаметр пятна луча лазера;
- форма импульса периодического лазерного излучения;
- длительность импульса лазерного излучения;
- частота следования импульса лазерного излучения;

- расход присадочного порошка;
- скорость наплавки.

При этом использован режим лазерной порошковой наплавки, исключающий критическое вложение тепла в материал основы, приводящего к тепловому расширению гранулы до размеров, при которых воздействие теплового расширения на межгранульную карбидную фазу превышает прочность карбидной фазы и приводит к образованию межгранульных микротрещин в зоне термического влияния, далее распространяющихся в основной материал и материал наплавки. Импульс лазерного излучения выполнен с амплитудной модуляцией мощности лазерного излучения и длительностью импульса лазерного излучения для исключения образования трещин и отвечает следующему соотношению:

$$E_{\text{п}} < E_3 < E_{\text{кр}},$$

где E_3 – заданная плотность мощности; $E_{\text{п}}$ – пороговая плотность мощности лазерного излучения в зоне наплавки, при которой происходит расплавление присадочного материала и поверхности основы, обеспечивающую их металлургическую связь; $E_{\text{кр}}$ – критическая плотность мощности лазерного излучения, при которой происходит межгранульное проскальзывание с дальнейшим образованием микротрещин.

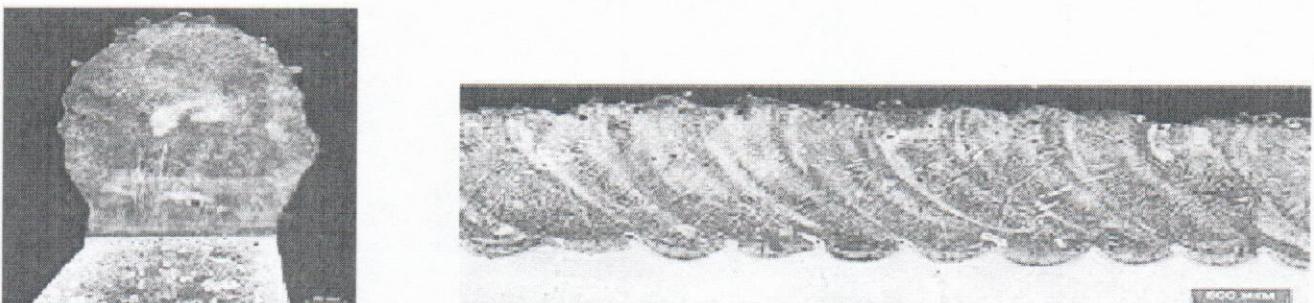


Рисунок 2 – шлиф восстановленного гребешка лабиринтного уплотнения диска ГТД

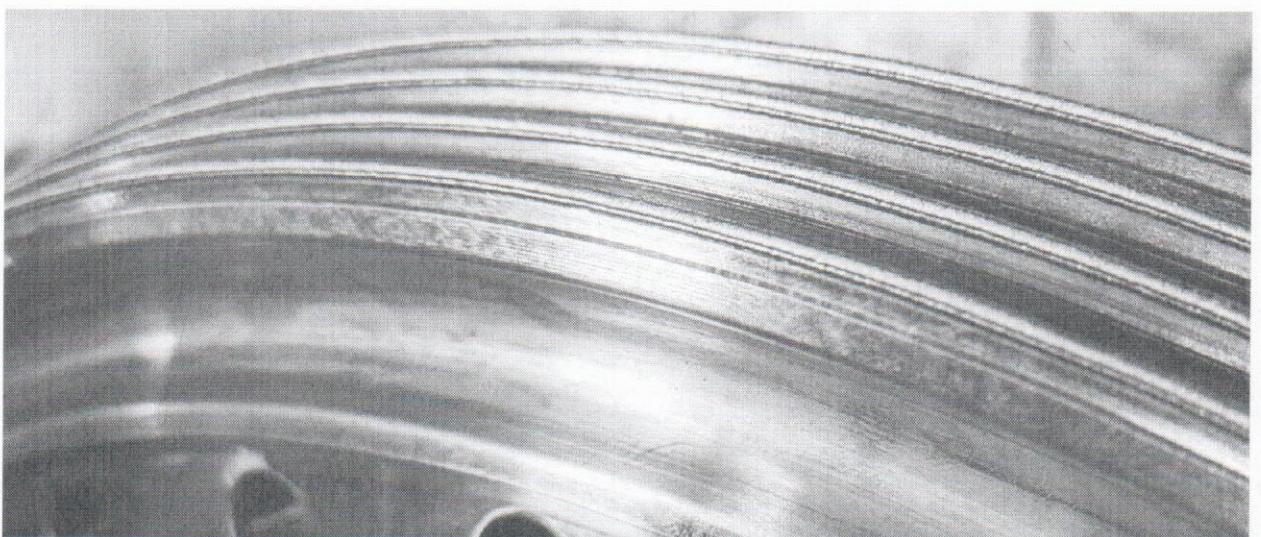


Рисунок 3 – Внешний вид гребешков диска турбины после наплавки

По результатам проведения металлографических исследований и измерений твердости выявлено:

- однородность структуры наплавленного материала;
- отсутствие трещин и несплавлений в основном материале, материале наплавки и ЗТВ;
- микротвердость для наплавленного материала составила 452...476 кгс/мм², для ЗТВ – 211..236 кгс/мм², для основного материала – 316...335 кгс/мм².

Диск прошел полный цикл восстановительного ремонта. По результатам контроля установлено соответствие требованиям конструкторской документации и норм по качеству.

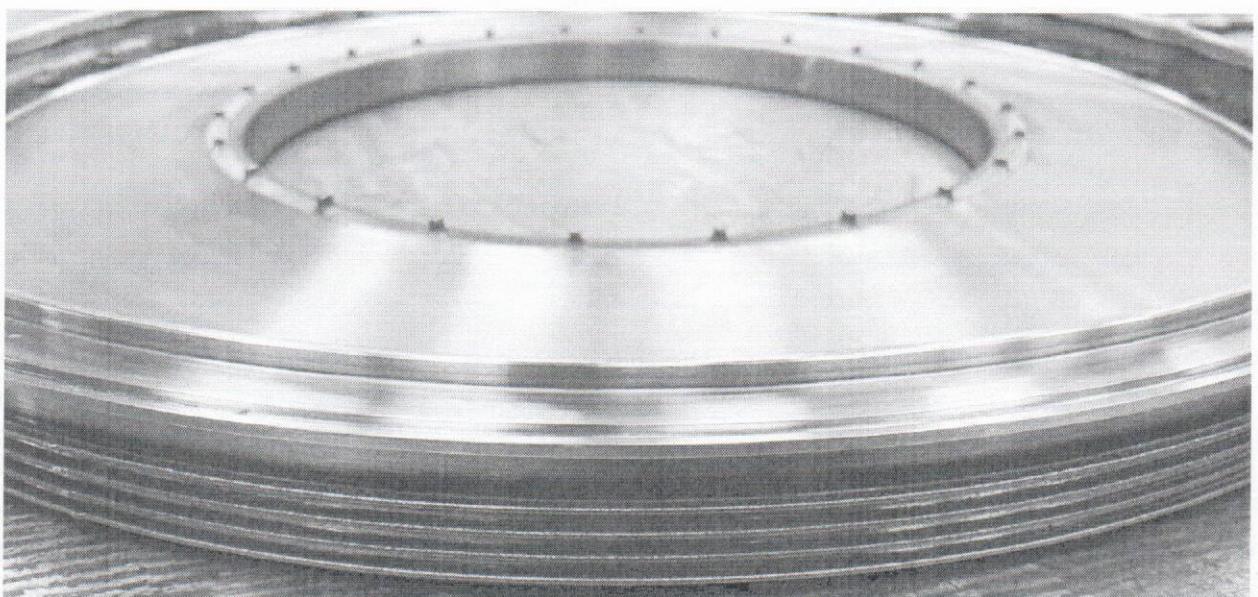


Рисунок 4 – Диск с восстановленными гребешками после предъявительских испытаний в составе промышленной ГТУ

6. Результат реализации разработки

Разработан технологический процесс восстановительного ремонта гребешков диска турбины высокого давления из гранулируемого сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки сплава В3К.

Выполнены предъявительские испытания диска с восстановленными гребешками с установкой на ремонтный ротор в составе партионного двигателя. Принимается решение о внедрении технологии ремонта гребешков лабиринтного уплотнения диска турбины высокого давления из гранулируемого сплава ЭП741НП в серийное производство.

Получен патент на изобретение № 2786555 от 22.12.2022 «Способ ремонта гребешков лабиринтных уплотнений дисков газотурбинного двигателя» (Рисунок 5).



Рисунок 5 – патент на изобретение №2786555 от 22.12.2022

7. Оценка новизны

Впервые определены и реализованы возможности:

- применения аддитивной технологии к восстановлению гребешков диска ТВД из гранулируемого сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки;
- восстановление радиального зазора пары уплотнение статора – гребешки лабиринтного уплотнения ротора, с исключением заказов на восстановление сопрягаемых диаметров сопловых аппаратов;
- применения технологии ремонта ДСЕ из ЭП741НП широкой линейки двигателей.

Сведения о соискателях в номинации: «За создание новой технологии»

Конкурсная работа: «Разработка технологии восстановления гребешков лабиринтного уплотнения диска ТВД ГТД из гранулируемого сплава ЭП741НП после эксплуатации»

Иванов Артём Михайлович, начальник бюро лазерных технологий отдела разработки перспективных технологий ремонта АО «ОДК-Авиадвигатель». Образование высшее, в 2006 году окончил Пермский государственный технический университет по специальности «Технология сварочного производства», стаж работы в отрасли 12 лет является соавтором работы «Разработка технологии восстановления гребешков диска турбины из гранульного сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки», представленной для участия в конкурсе на соискание премии «Авиастроитель года» в номинации «За создание новой технологии». Его личный вклад в данную работу заключается в следующем:

- разработка технологии восстановительного ремонта гребешков диска турбины высокого давления из материала ЭП741НП;
- оформление технологической документации.

Шамов Дмитрий Сергеевич, инженер 2 категории отдела разработки перспективных технологий ремонта АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь). Образование высшее, в 2019 году окончил Пермский государственный технический университет по специальности «Лучевые технологии в сварке», стаж в отрасли 4 года. Его личный вклад в данную работу заключается в следующем:

- разработка технологии восстановительного ремонта гребешков диска турбины высокого давления из материала ЭП741НП;
- оформление технологической документации.

Фурсенко Евгений Николаевич, инженер отдела разработки перспективных технологий ремонта АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь). Образование высшее, в 1981 году окончил Пермский политехнический институт по специальности «Оборудование и технологии сварочного производства», стаж работы в отрасли 26 лет, является соавтором работы «Разработка технологии восстановления гребешков диска турбины из гранульного сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки», представленной для участия в конкурсе на соискание премии «Авиастроитель года» в номинации «За

создание новой технологии». Его личный вклад в данную работу заключается в следующем:

- анализ состояния дисков ГТД разработки АО «ОДК-Авиадвигатель» из гранулируемого сплава ЭП741НП, забракованных по причине повышенного износа гребешков лабиринтного уплотнения, после эксплуатации;
- анализ патентно-информационных исследований современных технологий ремонта гребешков лабиринтного уплотнения дисков ГТД;
- определение возможности восстановительного ремонта дисков ГТД из гранулируемого сплава ЭП741НП методом лазерно-порошковой наплавки с проведением экспериментальных работ и анализа металлографических исследований;
- обоснование выбора присадочного материала;
- исследования влияния формы импульса периодического лазерного излучения на формирование наплавленного валика соединения «основной – наплавленный металл» системы ЭП741НП – В3К;
- исследования влияния диаметра пятна луча лазера относительно узкой подложки на формирование валика сплава В3К при наплавке;
- анализ состояния восстановленного диска ГТД после испытаний на технологическом двигателе.

Наймушин Александр Сергеевич, инженер-технолог отдела разработки перспективных технологий ремонта АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь). Образование высшее, в 2018 окончил Казанский национальный исследовательский технический университет – Казанский авиационный институт по специальности «Материаловедение и технологии материалов», стаж в отрасли 6 лет, является соавтором работы «Разработка технологии восстановления гребешков диска турбины из гранульного сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки», представленной для участия в конкурсе на соискание премии «Авиастроитель года» в номинации «За создание новой технологии». Его личный вклад в данную работу заключается в следующем:

- анализ патентно-информационных исследований современных технологий ремонта гребешков лабиринтного уплотнения дисков ГТД;

- организация работ по восстановлению и анализу состояния опытного диска после испытаний на партионном двигателе;
- оформление технической документации.

Каринкина Валентина Андреевна, ведущий специалист Серийно-конструкторского отдела АО «ОДК-Пермские моторы» (г. Пермь), руководитель группы турбин с 1997г. Образование высшее, в 1975 году окончила Пермский политехнический институт, факультет «Авиадвигатели» по специальности «инженер-механик», стаж работы в отрасли с 1975 г.(завод № 243ГА, г. Ташкент и завод им. Свердлова (Пермские моторы, Пермский моторный завод, АО «ОДК-Пермские моторы»), г Пермь). По роду работы регулярно занимается проблемами ДСЕ турбин всех изд., изготавливаемых и ремонтируемых на предприятии, в т.ч. совместно с цехами и службами новыми технологическими процессами исправления и восстановления ремонтных ДСЕ турбин. Ее личный вклад в данную работу заключается в следующем:

- анализ состояния парка основных деталей ТВД ГТД разработки АО «ОДК-Авиадвигатель» из гранулированного сплава ЭП741НП, в т.ч. доработанных по гребешкам на категорийные размеры или забракованных после эксплуатации по износу гребешков лабиринтного уплотнения дисков промежуточных и дефлектора диска 2ст. ТВД дв. ПС-90А и модификаций и ПС-90ГП-25, -25А. На сегодня из сплава ЭП741НП изготавливаются следующие детали ТВД с гребешками, требующими восстановления диаметра после эксплуатации: 94-04-1218 и 94-04-1494/-1494-01, 87-04-120 и 87-04-121 – диски промежуточные передний и задний на дв. поз.94 и 87, 187-04-204 – диск промежуточный на дв. поз.187, 94-04-1606 – дефлектор диска 2ст. поз.94. Т.к. ТП восстановления гребешков нет, то в РКД допущено уменьшение диаметров гребешков на категорийные размеры с заказом по ярлыку сопрягаемых диаметров СА2ст. ТВД (или СА3ст. под дефлектор диска 2ст.), что значительно удлиняет цикл ремонта двигателя. Забраковка деталей по износу встречается достаточно редко, учитывая вышесказанное, а также то, что практически все вышеуказанные детали имеют ограничение ресурса;
- постановка задачи по определению возможности восстановительного ремонта дисков промежуточных и дефлектора диска 2ст. ТВД из гранулированного сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки с целью исключения ярлыков на сопрягаемые СА и уменьшением цикла ремонта двигателя в целом;

- анализ состояния восстановленных ДСЕ после испытаний на технологическом двигателе, уточнение ремонтной КД и внедрение в производство при положительном результате испытаний. Опыт внесен в КС-335 «Карта сборки технологического двигателя ПС-90А-76 № 7291028в1л2р5».

Батраков Владимир Николаевич, заместитель главного сварщика АО «ОДК-Пермские моторы» (г. Пермь). Образование высшее, в 1990 году окончил Пермский политехнический институт по специальности «Оборудование и технология сварочного производства». Стаж работы в отрасли 33 года. Направлением работы является разработка и технологическое сопровождение процессов сварки, пайки и нанесения функциональных покрытий методами газотермического и ионноплазменного напыления деталей и узлов ГТД, в том числе с применением данных процессов при ремонте двигателей.

Его личный вклад в данную работу заключается в сопровождении металлографических исследований в процессе проведения опытных работ при отработке технологии восстановления дисков из гранулированного сплава ЭП741НП.