

**Конкурс «премия «Авиастроитель года» за 2019 год
Номинация «За создание новой технологии»**

**Краткое описание выполненных работ, технологий
Разработка и внедрение перспективной технологии
восстановления торца пера рабочей лопатки первой ступени ТВД из
сплава ЖС32-ВИ методом лазерной порошковой наплавки**

1. Цель работы

Увеличение жизненного цикла рабочих лопаток первой ступени из жаропрочного никелевого сплава ЖС32-ВИ после капитального ремонта газотурбинного двигателя до 100 тыс. часов с применением технологии лазерной порошковой наплавки отечественными материалами.

2. Оборудование, детали и материалы

Лазерная порошковая наплавка выполнена на лазерном центре TruLaser Cell 7020 в АО «ОДК-Авиадвигатель». Объектом ремонта является ремонтная рабочая лопатка первой ступени турбины высокого давления из материала ЖС32-ВИ. Для восстановления торцевой поверхности пера в качестве присадочного материала применялся металлический порошок сферической формы гранулометрического состава 40-80 мкм материала ЖС32-ВИ производства ФГУП «ВИАМ», полученный методом газовой атомизации.

Анализ качества выполнен разрушающими способами – металлографические исследования и усталостные испытания в соответствии с действующей нормативной документацией, неразрушающими способами – цветная дефектоскопия ЛЮМ-1ОВ.

3. Актуальность

Вопросам ремонта деталей ГТД и исправлению дефектов, выявленных после эксплуатации, уделяется большое внимание, что объясняется высокой экономической эффективностью процесса. Среди всего многообразия встречающихся дефектов (забоины, обгорание и оплавление, растрескивание основного металла и термобарьерных покрытий) в деталях ГТД можно выделить выработку рабочих поверхностей торцов пера лопаток турбины высокого давления, что, в конечном итоге, неизбежно приводит к увеличению радиального зазора и падению КПД.

Для восстановления радиального зазора существует технологии аргонодуговой наплавки неплавящимся электродом с присадочной проволокой и

высокотемпературной пайки пластин на изношенные торцевые поверхности. Однако, эти способы характеризуются высокой трудоёмкостью и большой отбраковкой, в том числе по причине ограниченной свариваемости жаропрочного никелевого материала лопатки ЖС32-ВИ:

- выход годного достигает 50%;
- ремонт лопаток однократный по причине утонения доньшка колодца торца до минимально допустимых размеров при механической подготовке под высокотемпературную пайку.

Таким образом, при существующем общем ресурсе газотурбинного двигателя 100 тыс. часов в совокупности с неизбежным естественным изнашиванием контактных поверхностей лопаток и однократностью ремонта при межремонтном интервале капитального ремонта в 25 тыс. часов, разработка и внедрение новой технологии ремонта торцов пера рабочих лопаток из жаропрочного никелевого материала ЖС32-ВИ турбины высокого давления является актуальной для увеличения жизненного цикла лопаток.

4. Задачи

4.1 Разработать технологию восстановительного ремонта торца пера рабочих лопаток турбины высокого давления из сплава ЖС32-ВИ методом лазерной порошковой наплавки сплава ЖС32-ВИ с проведением комплекса разрушающих и неразрушающих видов контроля.

4.2 Проведение приемочных испытаний в составе ГТУ.

4.3 Сократить стоимость и трудоемкость ремонта торца рабочих лопаток ТВД.

4.4 Внедрить технологию ремонта в ремонтную документацию АО «ОДК-Пермские моторы».

5. Решение

Никелевые жаропрочные сплавы с содержанием упрочняющей γ' - фазы более 60% считаются ограниченно свариваемыми (несвариваемыми) из-за высокой склонности к образованию горячих трещин при применении присадочного материала, идентичного по химическому составу и уровню жаропрочности основному металлу.

Решением проблемы восстановления изношенных торцов рабочих лопаток турбины высокого давления из сплава ЖС32-ВИ стало применение аддитивной технологии ремонта, в частности лазерной газопорошковой наплавки с коаксиальной подачей порошка.

Преимуществом данного способа являются вариации технологических диапазонов режимов лазерной газопорошковой наплавки с точки зрения стойкости к образованию трещин в сварном соединении «основной – наплавленный металл»

в системе ЖС32 + ЖС32 – как горячих в процессе наплавки, так и возникающих при последующей их термической обработке, а именно:

- мощность лазерного излучения;
- диаметр пятна луча лазера;
- форма импульса периодического лазерного излучения;
- длительность импульса лазерного излучения;
- частота следования импульса лазерного излучения;
- расход транспортирующего и защитных газов;
- количество порошка подаваемого в зону наплавки;
- скорость перемещения сопла в направлении траектории наплавки.



Рисунок 1 – Внешний вид восстановленной рабочей лопатки 1 ступени ТВД

В процессе отработки технологии лазерной порошковой наплавки ограниченно свариваемого никелевого сплава ЖС32-ВИ производства ФГУП «ВИАМ» получен результат обеспечивающий отсутствие горячих трещин или трещин повторного нагрева.

Разработана технология восстановительного ремонта торца пера рабочих лопаток турбины высокого давления из сплава ЖС32-ВИ методом лазерной порошковой наплавки сплава ЖС32-ВИ.

Лопатки прошли полный цикл восстановительного ремонта, а также все необходимые металлографические, усталостные, предъявительские исследования и испытания.

6. Результат реализации разработки

- 6.1 Успешные предъявительские испытания в составе партионного двигателя в течении 2 часов 7 минут.
- 6.2 Разработан технологический процесс восстановительного ремонта рабочих лопаток первой ступени турбины высокого давления.
- 6.3 В 2018 году технология восстановления рабочих лопаток первой ступени турбины высокого давления из сплава ЖС32-ВИ внедрена в ремонтную конструкторскую документацию АО «ОДК-Пермские моторы».
- 6.4 В период с января 2018 по декабрь 2019 года по разработанной технологии с применением лазерной наплавки отремонтировано более 37 моторокомплектов рабочих лопаток первой ступени турбины высокого давления.
- 6.5 Экономический эффект составил более 230 тыс. рублей на один мотокомплект при изменении способа ремонта. При повторном использовании технологии восстановления методом лазерной порошковой наплавки экономический эффект возрастает до 2,3 млн. рублей на один мотокомплект.
- 6.6 **Аналоги вновь разработанной технологии в России отсутствуют.**

7. Оценка новизны

- 7.1 По итогам проведённых работ впервые в РФ получен положительный результат наплавки металлпорошковой композиции сплава ЖС32-ВИ на лопатки из сплава ЖС32-ВИ с содержанием упрочняющей γ' фазы более 60%, который по классификации жаропрочных никелевых сплавов считается ограничено свариваемым.
- 7.2 Разработана и внедрена в ремонтную конструкторскую документацию АО «ОДК-Пермские моторы» технология восстановления торца пера рабочей лопатки турбины высокого давления из сплава ЖС32-ВИ методом лазерной порошковой наплавки с возможностью многократного ремонта и продления ресурса лопаток до 100 000 часов.
- 7.3 Получен патент №2686499 «Способ ремонта охлаждаемой лопатки из жаропрочного суперсплава турбины газотурбинного двигателя», авторы Курчев А.И., Котельников А.В., Иванов А.М., Фурсенко Е.Н.

8. Оценка экономической эффективности

Проведена оценка экономической эффективности внедрения лазерной наплавки с точки зрения предприятия (Рисунок 2):

- стоимость ремонта рабочей лопатки 1 ступени ТВД снизилось на 30%;
- время ремонта рабочей лопатки 1 ступени ТВД сократилось на 30%;
- стоимость жизненного цикла газотурбинного двигателя при внедрении лазерной порошковой наплавки снизится до 2%;
- 0% – брак;

- возможен многократный ремонт;
- цикл ремонта сократился на 7 дней.

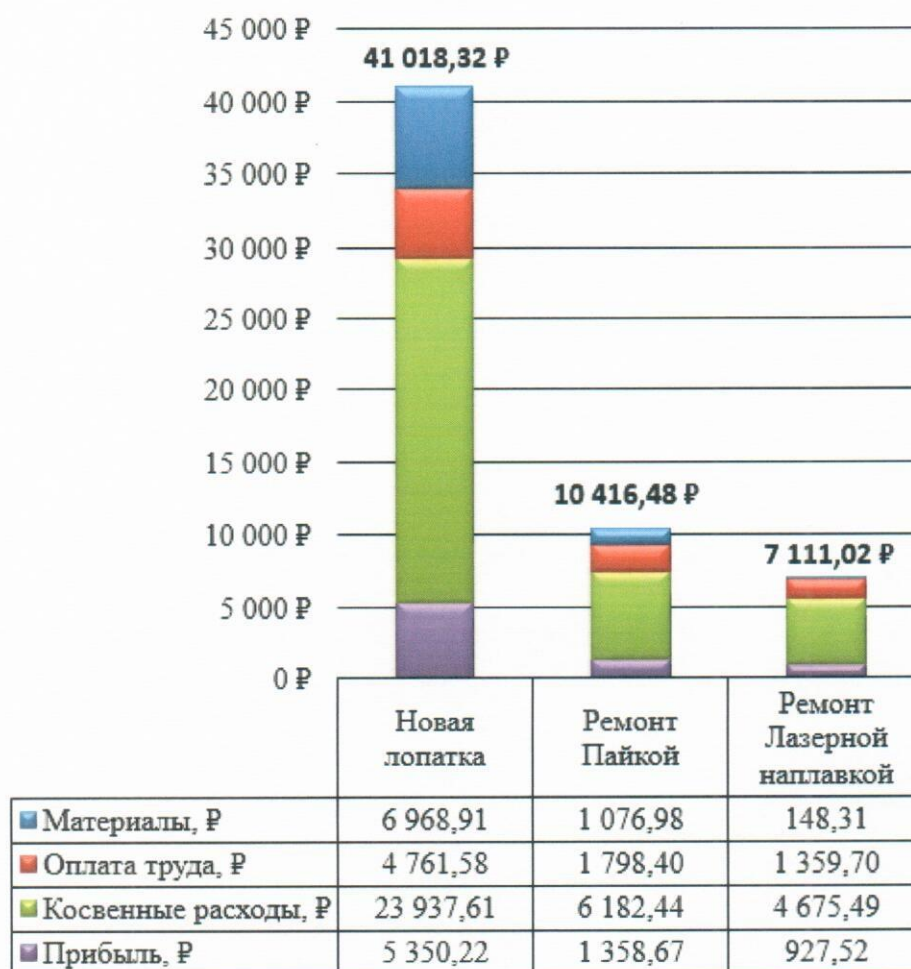


Рисунок 2 – Структура цены РЛ 1 степени ТВД

Коллектив сотрудников АО «ОДК-Авиадвигатель» выполнявших работу:

Ермолаев Александр Сергеевич – заместитель главного инженера по ремонтным технологиям.

Котельников Альберт Викторович – начальник отдела разработки перспективных технологий ремонта.

Иванов Артём Михайлович – начальник бюро лазерных технологий отдела разработки перспективных технологий ремонта.

Старков Дмитрий Александрович - инженер отдела разработки перспективных технологий ремонта.

Фурсенко Евгений Николаевич – инженер отдела разработки перспективных технологий ремонта.