

**Конкурс «премия «Авиастроитель года» за 2021 год
Номинация «За эффективную систему послепродажного обслуживания
авиационной техники российского производства»**

**Краткое описание выполненных работ
Обеспечение ресурса диска ТВД ГТД из гранулируемого сплава
ЭП741НП в течение жизненного цикла**

Увеличение жизненного цикла детали с ограниченным ресурсом типа диска турбины высокого давления (ТВД) газотурбинного двигателя (ГТД) до 100 тыс. часов с применением технологии восстановления гребешков лабиринтного уплотнения диска ТВД, изготовленного из гранулируемого сплава ЭП741НП, методом лазерной порошковой наплавки.

1. Оборудование, детали и материалы

Лазерная порошковая наплавка выполнена на лазерном центре TruLaser Cell 7020 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.

2. Актуальность

Вопросам ремонта деталей ГТД и исправлению дефектов, выявленных после эксплуатации, уделяется большое внимание, что объясняется высокой экономической эффективностью процесса.

В результате эксплуатации во время работы двигателя вращающиеся гребешки лабиринтного уплотнения диска ротора турбомшины взаимодействуют с противоположными неподвижными уплотнительными поверхностями статора турбомшины. В результате взаимного температурного расширения материалов корпусных деталей ротора и статора турбомшины 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.

Технология металлургии 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.

Для исключения межгранульного проскальзывания и образования трещин в зоне термического влияния основного материала с дальнейшим развитием трещин в наплавленном слое необходимо обеспечить тепловложение мощности лазерного излучения при наплавке, не приводящее к линейному расширению гранул до критического уровня и предотвращающее межгранульное проскальзывание.

Технология восстановительного ремонта гребешков дисков ТВД из гранулируемых сплавов на сегодняшний день отсутствует, в результате детали бракуются и передаются на хранение.

Таким образом, при существующем общем ресурсе газотурбинного двигателя 100 тыс. часов в совокупности с межремонтным интервалом капитального ремонта в 25 тыс. часов, разработка и внедрение новой технологии восстановительного ремонта гребешков диска ТВД из гранулируемого жаропрочного никелевого сплава ЭП741НП является актуальной и экономически целесообразной.

3. Задачи

- 3.1 Разработать технологию восстановительного ремонта гребешков диска ТВД из гранулируемого сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки с проведением комплекса разрушающих и неразрушающих видов контроля.
- 3.2 Обеспечить экономическую эффективность применения восстановительного ремонта методом лазерной порошковой наплавки.
- 3.3 Провести приемочные испытания в составе ГТУ.
- 3.4 Внести технологию ремонта в ремонтную конструкторскую документацию серийного производства.

4. 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 выборе оптимальных параметров режима наплавки достигается отсутствие горячих трещин в наплавленном и основном металлах, а также в зоне термического влияния.



Рисунок 1 – Внешний вид ребешков диска турбины после наплавки

В процессе отработки технологии лазерной порошковой наплавки отечественного кобальтового сплава ВЗК производства АО «ПОЛЕМА» на ребешки диска из гранулируемого жаропрочного никелевого сплава ЭП741НП получена комбинация технологических параметров режима лазерной наплавки, исключая критическое тепловложение в материал основы и не приводящая 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.

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.



Рисунок 2 – Результат металлографического исследования

Разработана технология восстановительного ремонта гребешков диска ТВД из сплава ЭП741НП методом лазерной порошковой наплавки сплава ВЗК.

Диск прошел полный цикл восстановительного ремонта, металлографические исследования, контроль ЛЮМ1-ОВ, замер твердости наплавленного металла, ЗТВ и основного материала диска. По результатам контроля установлено соответствие требованиям конструкторской документации норм по качеству.

5. Результат реализации разработки

5.1 Разработан технологический процесс восстановительного ремонта гребешков диска турбины высокого давления из гранулируемого сплава ЭП741НП.

5.2 В 2022 году будут выполнены предъявительские испытания в составе партионного двигателя с введением технологии ремонта в ремонтную конструкторскую документацию серийного производства АО «ОДК-ПМ».

6. Оценка экономической эффективности

6.1 Стоимость восстановительного ремонт гребешков диска турбины высокого давления составляет менее 2% стоимости изготовления нового диска.

7. Оценка новизны

- 7.1 По итогам проведённых работ получен положительный результат наплавки металлического порошка сплава ВЗК на гребешки диска ТВД из гранулируемого сплава ЭП741НП.
- 7.2 Разработан способ продления ресурса диска ТВД ГТД из гранулируемого сплава ЭП741НП в течение жизненного цикла.
- 7.3 Заявка на получение патента направлена в ФГБУ «ФИПС».
- 7.4 Возможно применение для ремонта ДСЕ из ЭП741НП широкой линейки двигателей.