

УДК 621.787:539.319

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА В ДЕФЛЕКТОРАХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ НК

Кочерова Е. Е., Злобин А. С., Кирпичёв В. А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

В данной работе освещена проблема устранения дефекта «трещины в радиусе перехода центрирующего пояса фланца дефлектора турбины высокого давления» газотурбинного двигателя и предотвращения его будущих проявлений в рамках работ по исследованию влияния остаточных напряжений на циклическую долговечность типовых деталей авиационных двигателей, работающих в условиях малоциклового нагружения.

В процессе решения проблемы были изучены материалы отчётов по эксплуатации изделия, проведены металлургические исследования ремонтных, дефектных и вновь изготовленных дефлекторов, выполнены прочностные расчёты, получено напряжённо-деформированное состояние детали с учётом влияния остаточных напряжений, разработан ряд технологических мероприятий по устранению данных дефектов на уже изготовленных и эксплуатируемых изделиях. Также внесены изменения в конструкцию детали, позволяющие предупредить возникновение подобных дефектов в будущем.

В техническом проекте на изделие был проведён анализ эксплуатационного цикла напряжённо-деформированного состояния и циклической долговечности. Расчёты не выявили проблем в обеспечении узлом проектного назначенного ресурса [1]. Однако при эквивалентно-циклических испытаниях (ЭЦИ) одного из двигателей было получено разрушение дефлектора с началом по полотну в зоне между первым и вторым лабиринтами. Аналогичный дефект на двигателе стал причиной катастрофы самолёта. На ряде дефлекторов после соответствующих циклических наработок Z_0 (от 480 до 780 циклов) были обнаружены трещины различной протяжённости и глубины. На одном из двигателей с исследуемым дефлектором обнаружены трещины при наработке $Z_0 = 637$. Нарботка на момент последнего контроля, при котором трещины обнаружены не были, составила $Z_0 = 607$ циклов.

Разрушения во всех случаях квалифицировались как усталостные (малоцикловая усталость (МЦУ)) [2] и связывались как с повышенной циклической нагруженностью, так и с неблагоприятной технологической наследственностью материала проблематичной при механической обработке межлабиринтной зоны (повышенный уровень остаточных напряжений, наклёп, низкая чистота обработки). Для выявления причин возникновения дефекта, а также для разработки мероприятий по его устранению проводился анализ:

- нестационарного теплового состояния диска турбовинтового двигателя с дефлекторами с использованием граничных условий конвективного теплообмена, полученных на базе расчётно-экспериментальных корреляций;

- цикла изменения напряжённо-деформированного состояния дефлектора в упругопластической постановке с моделированием контактов и использованием реальных кривых деформирования сплава ЭК-79 для принятого упрощенного типового полётного цикла и типового цикла ЭЦИ.

На базе этого анализа, а также имеющихся данных по МЦУ, полученных на образцах из сплава ЭК-79, проводился расчёт циклической долговечности дефлектора,

коэффициентов соответствия полных испытательных и полных полётных циклов, а также коэффициентов соответствия полных и элементарных циклов при ЭЦИ.

По результатам расчётного анализа при $R = 0,995$ и $KN = 5$ в зависимости от метода оценки расчётная долговечность дефлектора без учёта технологического повреждения составила 580 полных циклов при использовании уравнения Мэнсона-Коффина и 520 – 960 полных циклов нагружения при трёх различных вариантах использования данных испытаний стандартных образцов.

Были проведены исследования остаточных напряжений в поверхностном и подповерхностном слое полотна между лабиринтами [3]. По результатам исследований зафиксирован большой разброс в распределении остаточных напряжений, в их уровне, а также глубины их распространения. На поверхности полотна наблюдается высокий (до 800 МПа) уровень растягивающих остаточных напряжений с подповерхностным максимумом.

По литературным источникам удаление грубого наклёпа и стабилизирующая остаточные напряжения обработка микрошариками при исследовании на образцах может обеспечить существенное, иногда многократное, увеличение циклической долговечности по МЦУ [4]. В связи с этим был введен комплекс технологических мероприятий по снижению уровня технологического повреждения материала в труднообрабатываемых (межлабиринтных) зонах дефлекторов данной конструкции: Перевод мехобработки на станки с ЧПУ, удаление слоя материала с грубым наклёпом от лезвийной обработки посредством АЖО, коррекция направления обработки микрошариками межлабиринтной зоны – улучшающие исходное состояние поверхности детали, в том числе и зоны проявления дефекта.

Исследования остаточных напряжений по поверхности полотна в дефлекторах с технологическими мероприятиями по межлабиринтной зоне показали, что мероприятия обеспечивают стабильный уровень остаточных напряжений в поверхностном слое от – 80 до + 40 МПа, что существенно снижает риск возникновения трещин.

Стеновыми испытаниями дефлекторов с технологическими мероприятиями по межлабиринтной зоне на двигателях подтверждена эффективность проведённых мероприятий по предотвращению дефектов. Отсутствие случаев повторного проявления дефектов показывает, что мероприятия по устранению отрицательной технологической наследственности эффективны, и позволяет в очередной раз сделать вывод о том, что неучтённая технологическая наследственность может привести к аварийным, а в ряде случаев и катастрофическим ситуациям. Следует вновь обратить внимание на необходимость предварительной расчётной оценки влияния тех или иных остаточных напряжений на надёжность изделия на этапе проектирования и разработки технологии изготовления деталей двигателя.

Библиографический список

1. Нормы прочности авиационных газотурбинных двигателей гражданской авиации [Текст] / М.: ЦИАМ, 2004. – 260 с.
2. Терентьев, В. Ф. Усталость высокопрочных металлических материалов [Текст] / В. Ф. Терентьев, А. Н. Петухов // М.: ИМЕТ РАН-ЦИАМ, 2013. – 515 с.
3. Иванов, С. И. Определение остаточных напряжений в пластинках методом полосок [Текст] / С. И. Иванов // Куйбышев: Труды КуАИ, 1971. – Вып. 48. – С. 139-152.
4. Павлов, В. Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст] / В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичёв, В. С. Вакулук. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012.