

УДК 621.787:539.319

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТРЕЩИН
В ДЕФЛЕКТОРЕ ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ НК-25**

©2018 Е.Е. Кочерова, О.В. Каранаева, П.А. Шляпников, И.А. Патрикеев

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

**IDENTIFICATION OF THE CAUSES OF THE CRACKING IN THE HIGH-PRESSURE TURBINE
OF THE NK-25 SERIES DEFLECTOR**

Kocherova E.E., Karanaeva O.V., Shlyapnikov P.A., Patrikeev I.A. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

This article deals with the problem of identifying the causes of the defect "crack in the radius of the transition of the centering flange of the high-pressure turbine deflector flange" and preventing its future manifestations. Strength calculations have been performed, taking into account the effect of residual stresses, a number of technological measures have been developed to eliminate these defects.

В связи с массовым проявлением дефекта «трещины в радиусе перехода центрирующего пояса фланца дефлектора турбины высокого давления» была проведена работа по выявлению причин и разработаны мероприятия по предотвращению повторного возникновения данного дефекта. В техническом проекте на двигатель НК-25 был проведён имевшимися на тот момент времени средствами анализ эксплуатационного цикла напряжённо-деформированного состояния и циклической долговечности. Расчёты не выявили проблем в обеспечении узлом проектного назначенного ресурса двигателей НК-25 и НК-32.

Однако при эквивалентно-циклических испытаниях (ЭЦИ) одного из двигателей было получено разрушение дефлектора 152.416.003-1с началом по полотну в зоне между первым и вторым лабиринтами. Аналогичный дефект на двигателе стал причиной катастрофы самолёта. На ряде дефлекторов 152.416.003-1 после соответствующих циклических наработок Z_0 (от 480 до 780 циклов) были обнаружены трещины различной протяжённости и глубины.

Разрушения во всех случаях квалифицировались как усталостные (МЦУ) и связывались как с повышенной циклической нагруженностью, так и с неблагоприятной технологической наследственностью материала, появившейся при механической обработке межлабиринтной зоны (повышенный уровень остаточных напряжений, наклёп, низкая чистота обработки). Для выявления причин возникновения дефекта, а также для разра-

ботки мероприятий по его устранению проводился анализ:

– нестационарного теплового состояния диска ТВД 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 упрощённого типового полётного цикла и типового цикла ЭЦИ.

На базе этого анализа, а также имеющихся данных по МЦУ, полученных на образцах из сплава ЭК-79, проводится расчёт циклической долговечности дефлектора, коэффициентов соответствия полных испытательных и полных полётных циклов и коэффициентов соответствия полных и элементарных циклов при ЭЦИ.

Были проведены исследования остаточных напряжений в поверхностном и подповерхностном слое полотна между лабиринтами. 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.

Был введён комплекс технологических мероприятий по снижению уровня технологического повреждения материала в трудно-

обрабатываемых (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 на 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 152.416.003-3Р с технологическими ме-

роприятиями по межлабиринтной зоне на двигателях подтверждена эффективность проведённых мероприятий по предотвращению дефектов.

Отсутствие случаев 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. И вновь следует 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.

УДК 629.7

АНАЛИЗ КОРПУСНЫХ НАГРУЗОК НА ОТСЕЧКЕ ДВИГАТЕЛЯ ТРЕТЬЕЙ СТУПЕНИ

©2018 В.А. Кирпичёв, В.М. Муртазин, О.И. Малыхина

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

THE ANALYSIS OF HULL LOADS ON THE ENGINE CUT-OFF OF THE THIRD STAGE

Kirpichyov V.A., Murtazin V. M., Malykhina O. I.(SamaraNationalResearchUniversity, Samara, Russian Federation)

The loading of a launch vehicle is considered at the terminate stage of launch. The analysis is made for the basic sequence of engine cut-off and for the modified sequense with the slower thrust decay. The evaluation was performed using the finite element method in program complex engineering analysis Nastran.

В процессе эксплуатации изделий ракетно-космической техники и космических аппаратов было замечено, что наиболее интенсивные динамические нагружения в конструкции возникают при переходных процессах, одним из свойств которых является резкая смена внешнего нагружения.

Обеспечить снижение суммарной продольной силы и ударных нагрузок на связку ракеты-носителя (РН) с полезной нагрузкой (ПН) возможно путём уменьшения значения градиента спада тяги при выключении двигателя РН.

В связи с указанными выше обстоятельствами актуальной является задача анализа влияния изменения функции спада тяги

двигателя РН (при выключении двигательной установки (ДУ)) на величину внутренних силовых факторов.

С этой целью было проведено моделирование динамического нагружения конструкции типового блока III ступени в программе инженерного анализа Nastran для случая его совместной эксплуатации с ПН. Расчёты проводились с помощью метода конечных элементов. Выработан подход к вычислению внутренних силовых факторов при помощи современных средств автоматизированного вычисления.

Рассмотрим заключительный этап выведения, характеризующийся максимальной продольной перегрузкой и выключением ДУ