

## 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.

Стендовыми 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. Малаыхина

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