

ФРАКТОГРАФИЧЕСКИ-ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В РАБОЧЕЙ ЛОПАТКЕ ГТД ВО ВРЕМЯ ЕЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Артамонов М.А., Пахомов Н.А., Терешко А.Г.

ОКБ им. А. Люльки – филиал ПАО «ОДК-УМПО», г. Москва, i@artamaks.ru

Ключевые слова: усталостное разрушение, фрактографический анализ, моделирование трещины, лопатка ГТД, определение напряженного состояния в лопатке с трещиной.

Рабочие лопатки ГТД работают в широком диапазоне динамического нагружения. Важно не допустить зарождение усталостной трещины в лопатке, так как в условиях высокочастотного нагружения, развитие трещины по механизму МнЦУ занимает очень короткое время. При внедрении лопатки в эксплуатацию проводят обширные исследования по определению динамического нагружения на всем диапазоне резонансных частот, для того чтобы исключить выход динамического нагружения за пределы усталостной выносливости. В случае если подобное разрушение все-таки произошло, важно точно определить основную причину зарождения усталостной трещины. Такие работы важны как для опытных лопаток, еще не внедренных в эксплуатацию, так и для лопаток прошедшие государственные испытания. Для этого необходимо узнать, при каких динамических нагружениях работала лопатка во время разрушения, была она разбандажирована или разрушение происходило в условиях работы бандажной полки.

Ранее была разработана методика, которая основывалась на фрактографическом исследовании и статическом численном расчете [1, 2]. Недостаток данного метода является невозможность учесть работу бандажной полки и ограниченность в расчетах для различных форм колебаний динамического нагружения. В данной работе предложена модификация методики, которая исправляет подобные недостатки. Если раньше моделирование нагружения лопатки осуществлялось статическим способом – отклонение верхнего торца лопатки, то сейчас проводят модальный анализ по колебанию лопатки (где возможно учесть влияние бандажной полки или ее отсутствие). Далее полученные данные по деформации лопатки загружаются в модуль уже для статического анализа (модуль в ANSYS – «static structure»), где возможно определить КИН трещины. Для определения напряжений подбирают амплитуду колебания, чтобы Δ КИН, полученный по уравнению Париса, соответствовал КИН определенного путем фрактографического анализа.

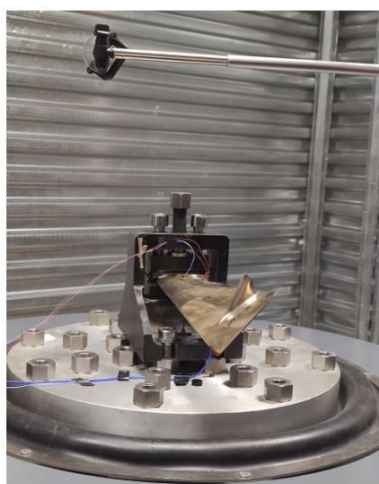
Данная методика была верифицирована на лопатке 1 ступени КНД разрушенной при испытании на вибростенде (рисунок 1 а) [2]. Для материала ВТ6 наибольшую сходимость показало использование уравнение Париса, где показатели Париса были получены в ходе стандартных испытаниях на СРТУ образцов нагруженных на внецентровое растяжение при температуре 20 С⁰.

Сравнение происходило по определению напряжений фрактографически-динамическим способом в зоне нахождения тензодатчика. Сходимость полученных результатов показана на рисунке 1 (б).

Использование данной методики открывает возможности по моделированию зарождения усталостной трещины при ее повреждении посторонним предметом. Ведутся работы по верификации данной методики путем имитации центробежного растяжения при испытании лопатки на вибростенде.

Выводы

Была разработана методика, позволяющая моделировать напряженное состояние детали с трещиной путем имитации колебательного процесса в статической задаче. Верификация данной методики показало хорошую сходимость для диапазона скоростей от 0,3 мкм/цикл до 0.88 мкм/цикл.



а)

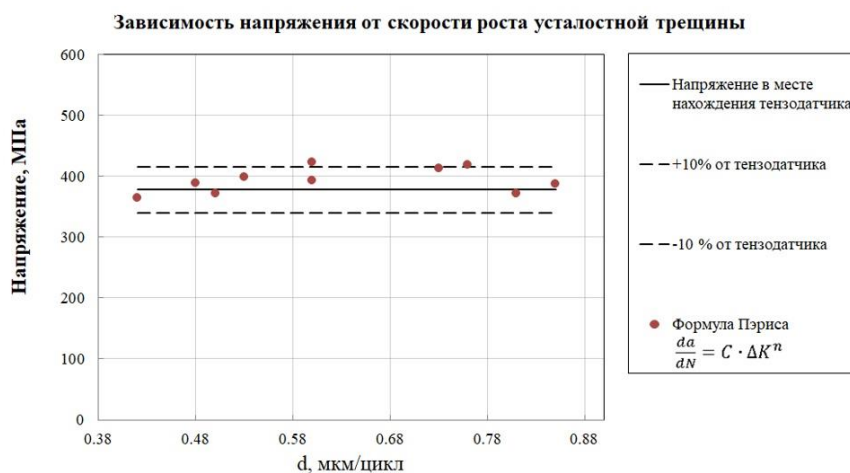


Рисунок 1 – Испытание лопатки на вибростенде (а) и результат определения напряженного состояния в лопатке в месте нахождения тензодатчика (б)

Список литературы

1. Артамонов М.А., Говоров А.А., Старшинов Д.С. Реконструкция динамического нагружения лопатки вентилятора перед ее разрушения. – Вестник самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – Том 21. – №1. – 2022. – С. 24-34.
2. Артамонов М.А., Пахомов Н.А., Терешко А.Г., Говоров А.А., Кузьмин С.А. Определение напряженного состояния лопатки первой ступени КНД, испытанной на вибростенде, фрактографически-расчетным способом. Климовские чтения – 2022: перспективные направления развития авиадвигателестроения: сборник статей научно-технической конференции. – 2022. – С. 293-300.

Сведения об авторах

Артамонов Максим Анатольевич, кандидат физико-математических наук, начальник бригады, фрактографический анализ.

Пахомов Николай Андреевич, инженер-конструктор, численное моделирование.

Терешко Антон Герольдович, начальник отдела прочностных испытаний, проектирование оснастки для испытаний.

FRACTOGRAPHIC-DYNAMIC ANALYSIS OF STRESS-STRAIN STATE IN THE LPC BLADE DURING FATIGUE FAILURE

Artamonov M.A., Pahomov N.A., Tereshko A.G.

Lyulka Design Bureau, sub. PJSC UEC-UMPO, Moscow, maxartamonov@gmail.com

Keywords: fracture fatigue, fractographic analysis, crack modeling, GTD blade, determination of the stress state in a blade with a crack.

A technique has been developed to simulate the stress state of a part with a crack by simulating an oscillatory process in a static problem. Verification of this technique showed good convergence for the speed range from 0.3 microns/cycle to 0.88 microns/cycle.