

РАЗРУШЕНИЕ ТИТАНОВЫХ ДИСКОВ КОМПРЕССОРА ПРИ МАЛОЦИКЛОВОЙ И СВЕРХМНОГОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

THE TITANIUM COMPRESSOR DISK FRACTURE OF THE LOW-CYCLE AND VERY-HIGH-CYCLE FATIGUE

Н.Г. Бураго¹ - вед. н.с., д.ф.-м.н

А.Б. Журавлев¹ - с.н.с., к.ф.-м.н.,

И.С. Никитин² - проф., д.ф.-м.н

А.А. Шанявский³ - зав. лабораторией, д.т.н., проф.

¹ИПМех РАН, ²МАТИ им. К.Э. Циолковского, ³ГосЦентр безопасности полетов

Abstract. The procedure for calculating stress state of a compressor disk in a gas turbine engine under flight cycle loading conditions and blades vibrations is outlined. The calculated stress state and models of multiaxial fatigue fracture are used to estimate the durability of the compressor disk under low and very high cycle fatigue conditions. The results are compared with observational data collected during operation.

Данное исследование связано с проблемой усталостного разрушения дисков компрессора газотурбинного двигателя в эксплуатации. Для определения трехмерного напряженно-деформированного состояния (НДС) создана конечноэлементная модель реальной конструкции диска компрессора. Проведены расчеты НДС в полетных циклах нагружения (малоцикловая усталость - МЦУ) с учетом центробежных и аэродинамических нагрузок. Получены оценки долговечности диска на основе современных моделей многоосного усталостного разрушения. Дополнительно исследовался альтернативный механизм усталостного нагружения, связанный с наблюдаемыми высокочастотными осевыми колебаниями бандажных полок (сверхмногоцикловая усталость - СВМУ). Также получены оценки долговечности в виде числа вибраций, при котором выполняется критерий разрушения. Зоны зарождения усталостного разрушения в обоих случаях приблизительно совпадают с наблюдаемыми при эксплуатации, а интегральная оценка долговечности в реальном времени составляет 20000 – 50000 полетных циклов. Это указывает на альтернативный характер возможных механизмов усталостного разрушения диска.

С целью подтверждения полученных результатов решены две модельные задачи теории упругости о нагружении кольцевого диска. В первой задаче к диску приложена центробежная нагрузка, а на внешнем контуре переменное по углу радиальное напряжение, моделирующее центробежную нагрузку от лопаток и согласованное с ней по амплитуде (аналог режима МЦУ). Во второй задаче решается уравнение для изгиба диска под действием переменных по углу крутящих моментов на внешнем контуре. Эти моменты моделируют влияние колебаний лопаток (аналог режима СВМУ). В обоих случаях максимальные главные напряжения резко возрастают в окрестности внешнего контура и приводят к появлению зон усталостного разрушения. Оценки долговечности также указывают, что усталостное разрушение в режимах МЦУ и СВМУ может происходить за период реального времени одного масштаба.

На этих модельных примерах исследовано влияние структурной неоднородности диска в окрестности внешнего контура на его интегральные усталостные характеристики в связи с тем, что в настоящее время технологически возможно изменение структуры титанового сплава в приповерхностном слое диска с целью повышения его прочностных и усталостных свойств. Проведена оценка долговечности диска в зависимости от толщины упрочненного слоя в каждом из рассмотренных режимов циклического нагружения.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы и проектов РФФИ 12-08-00366-а, 12-08-01260-а.