

ГИГАЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ ДИСКА И ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

Н.Г. Бураго¹, И.С. Никитин²

(¹ИПМех РАН им. А.Ю. Ишлинского, Москва; МГТУ им. Н.Э.Баумана, ² ИАП РАН, Москва)

Ранее, с использованием возможностей современных программно-вычислительных комплексов было проведено математическое моделирование процессов усталостного разрушения конкретных узлов авиационных двигателей в условиях, приближенных к реальным полетным циклам нагружения [1,2]. В качестве базового объекта для анализа была выбрана контактная система диска и лопаток компрессора газотурбинного двигателя. Также, для экспресс-расчета диска переменного сечения под действием периодической системы радиальных нагрузок на внешнем контуре была выведена система обыкновенных дифференциальных уравнений и предложена неявная схема ее численного решения [3]. При этом учитывались центробежные нагрузки на диск и лопатки, аэродинамические нагрузки на лопатки, приводящие к ее дополнительным изгибам и контактным напряжениям в зоне соединения с диском. Для расчета аэродинамических давлений на лопатки были получены аналитические формулы с использованием гипотезы изолированного профиля и известных решений задач об отрывном обтекании пластины [3].

Моделирование и анализ реализованных процессов разрушения дисков компрессоров показали, что зарождение и развитие усталостных трещин происходит в зонах концентрации напряжений в окрестности контактных соединений лопаток и диска компрессора. Полученные оценки расположения очагов разрушения показали, что в условиях эксплуатации они определяются не только критериями малоциклового усталости. Для объяснения и уточнения этих количественных и качественных различий необходимо исследовать альтернативный механизм усталостного разрушения, связанный с наблюдаемыми высокочастотными низкоамплитудными колебаниями лопаток. Частотный диапазон таких вибраций приводит к развитию процессов гигациклового (сверхмногоциклового) усталостного разрушения вплоть до 10^{10} циклов, что соответствует правой ветви бимодальной усталостной кривой.

В данной работе для расчета дополнительных напряжений, связанных с крутильными колебаниями лопаток, была выведена упрощенная система обыкновенных дифференциальных уравнений для смещений и напряжений в диске переменного сечения под действием периодической системы крутящих и изгибающих моментов на внешнем контуре. Численное решение этой жесткой системы по неявной схеме позволило получить амплитуды напряжений в таком циклическом процессе. Их наложение на базовый уровень напряжений, связанных с центробежными и аэродинамическими нагрузками в полетном цикле нагружения, позволило получить полную картину напряженного состояния в окрестности контактной зоны диска и лопаток. С использованием обобщенных критериев многоосной гигациклового усталости [4] получены оценки долговечности данного элемента конструкции в этом усталостном режиме. Показано, что в реальном времени оценки долговечности малоциклового и гигациклового усталостных процессов могут быть достаточно близки (~70000-100000ч.). Это указывает на альтернативный характер двух механизмов усталостного разрушения. Работа выполнена в рамках проектов РФФИ 12-08-00366-а, 12-08-01260-а.

Литература

1. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Модели многоосного усталостного разрушения и оценка долговечности элементов конструкций. // Изв. РАН. МТТ. 2011. №6. С. 22-33.
2. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Анализ напряженного состояния контактной системы «диск-лопатка» газотурбинного двигателя. // Вычисл. мех. сплош. сред. 2011. Т. 4. № 2. С. 5-16.
3. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С., Юшковский П.А. Влияние анизотропии усталостных свойств титанового сплава на долговечность элементов конструкций. Препринт ИПМех РАН. М. 2014. 34с.
4. Бураго Н.Г., Журавлев А.Б., Никитин И.С. Сверхмногоциклового усталостное разрушение титановых дисков компрессора.// Вестник ПНИПУ. Механика. 2013. №1. С. 52-67.