

П.А. Селищев, А.С. Злобин, В.М. Бузин, С.В. Куликов, Р.А. Зубков

**ПРИМЕНЕНИЕ КОНСЕРВАТИВНОГО ПОДХОДА
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
РОТОРНЫХ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ
ГОРЯЧЕЙ ЧАСТИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПО КОНЦЕПЦИИ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ**

Введение. Для основных деталей (ОД) авиационного двигателя (АД) определение ресурсных показателей (РП) требуется проводить как с использованием концепции безопасной долговечности (КБД), так и с использованием концепции безопасного развития трещины (КБРТ) [1]. Первый метод предполагает выполнение прочностных расчётов исследуемой ОД с целью определения величины наработки до возникновения усталостного повреждения (трещины малоциклового усталости), при выполнении же расчётов с использованием второго метода определяется величина наработки, в течение которой трещина достигнет критических размеров, соответствующих потере равновесного состояния детали [2]. Таким образом, расчёт ОД по КБД проводится без учёта начальных дефектов типа «трещина», расчёт по КБРТ – с учётом начальных дефектов, моделируемых в расчётной модели ОД на геометрическом или сеточном уровне.

Этапы валидации. При определении скорости роста трещины усталости (СРТУ) в линейной механике разрушения наиболее часто используется уравнение Пэриса, связывающее СРТУ с коэффициентом интенсивности напряжений (КИН) и описывающее устойчивый период роста трещины

$$da/dN = C \cdot \Delta K^m,$$

где a – глубина трещины; N – число циклов нагружения; ΔK – размах КИН; C , m – свойства трещиностойкости (определяются по результатам испытаний на СРТУ образцов внецентренного растяжения (ОВР)).

В зависимости от способа обработки результатов испытаний ОВР на СРТУ возможно получение нескольких вариантов свойств трещиностойкости, следовательно, нескольких значений одних и тех же РП. Для однозначного определения значений трещиностойкости, то есть для одно-

значного определения РП исследуемой ОД, требуется проведение валидации, заключающейся в следующем:

1) Выполнение серии расчётов исследуемой ОД с дефектом типа «трещина» на разных стадиях её развития с целью определения зависимости КИНов от глубины трещины.

2) На основе полученной расчётной зависимости на предыдущем этапе определение зависимости СРТУ от КИНов (построение кинетической диаграммы (КД) роста трещины) с использованием уравнения Пэриса для всех имеющихся вариантов свойств трещиностойкости C и m .

3) Обработка экспериментальных данных, полученных по результатам фрактографических исследований изломов разрушенной ОД, с целью определения зависимости шага между бороздками от глубины трещины (принято следующее допущение: образование одной бороздки происходит за один цикл нагружения, т.е. количество бороздок равно количеству циклов нагружения).

4) Построение КД на основе экспериментальных зависимостей шага между бороздками от глубины трещины с использованием уравнения Пэриса для всех имеющихся вариантов свойств трещиностойкости C и m .

5) Сравнение КД, построенных с использованием расчётных и экспериментальных данных. Результатом сравнения является нахождение такого варианта свойств трещиностойкости C и m , который обеспечивает получение минимальных расхождений между расчётными и экспериментальными данными.

Описание используемого подхода. Консервативный подход при определении РП ОД по КБРТ заключается в использовании такого варианта свойств трещиностойкости C и m , который обеспечивает получение минимальных значений РП. При использовании данного подхода проведение валидации не требуется, необходимо выполнить первый этап валидации, а также на основе расчётных данных построить зависимость глубины трещины от количества циклов нагружения для всех имеющихся вариантов свойств трещиностойкости C и m . Таким образом, на основе зависимости глубины трещины от количества циклов нагружения требуется определить вариант свойств C и m , обеспечивающий получение минимальных значений РП (на графике зависимости глубины трещины от количества циклов нагружения искомому варианту будет соответствовать кривая, расположенная левее остальных).

Применение консервативного подхода в практических задачах.

При проведении работ по снятию ограничений назначенного ресурса дефлектора диска турбины высокого давления (ТВД) одного из реальных двигателей по результатам фрактографических исследований изломов дефлектора, у которого капиллярным (ЛЮМ-1ОВ) контролем были обнаружены свечения, получены для нескольких трещин зависимости шага между бороздками от глубины трещины, имеющие неудовлетворительный разброс на всех исследуемых участках разрезов дефлектора. Повторное выполнение фрактографических исследований не представилось возможным в связи с отсутствием разрезов дефлектора. Таким образом, в сложившейся ситуации применение консервативного подхода при определении РП дефлектора диска ТВД по КБРТ оказалось необходимой мерой.

Заключение. Применение консервативного подхода – вынужденная мера, используемая в случае наличия результатов фрактографических исследований неудовлетворительного качества, либо же их отсутствия.

Список использованных источников

1. «Нормы прочности авиационных газотурбинных двигателей военной авиации». – М.: ЦИАМ, 2005. – 253 с.
2. Методика «Определение долговечности, периодичности инспекций и назначенного ресурса основных деталей ГТД по концепции безопасного развития дефекта». – М.: ЦИАМ, 2005. – 74 с.

УДК 621.787:4

*Н.А. Сургутанов, В.С. Вакулюк, Ю.Н. Сургутанова,
А.А. Прохоров, В.А. Пелевин*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ТРЕЩИНЫ

Введение. При проектировании современных элементов инженерных конструкций, узлов и деталей машин большое внимание уделяется их конструкционной прочности. Под действием внешних нагрузок в процессе эксплуатации в деталях накапливаются дефекты, которые приводят к образованию трещин и последующему нарушению работоспособности деталей. Анализ характера поломок деталей машин показывает,