

Подтверждена удовлетворительная (обычно в запас по разрушающей долговечности) работа модифицированного уравнения Мэнсона-Коффина, рекомендованного Нормами прочности ЦИАМ[1]. Расчётная кривая практически не выходит из зоны отклонения -3σ от аппроксимирующей кривой МЦУ образцов.

Показана возможность обоснованного использования испытаний на МЦУ образцов с концентраторами напряжений при мягком нагружении для дополнения или построения необходимого семейства кривых сопротивления МЦУ или поверхности предельных состояний, при жёстком нагружении в соответствии с Нормами прочности ЦИАМ.

Библиографический список

1. Авербах, Б.Л. Некоторые физические аспекты разрушения / Б.Л. Авербах // Разрушение. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения. – М.: Мир, 1973. – №1. – 605 с.

2. Ануров, Ю.М. Основы обеспечения прочностной надёжности авиационных двигателей и силовых установок / Ю.М. Ануров, Д.Г. Федорченко. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 390 с.

УДК: 620.169.1

*Кочерова Е.Е., Злобин А.С., Денискина Е.А.,
Чуриков Д.С., Богданова И.В.*

ОЦЕНКА ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Для проведения расчёта долговечности деталей ГТД, повреждаемых по малоцикловой усталости (МЦУ), по «Нормам прочности газотурбинных двигателей» ФГУП ЦИАМ [1], необходимо проводить испытания вырезанных из соответствующих деталей (или заготовок) образцов при «жёстком», то есть с заданным циклом деформации, нагружении с различными коэффициентами асимметрии цикла деформирования и с различными выдержками при максимальной деформации цикла (для учёта влияния ползучести при повышенных температурах). Для обеспечения достоверности расчёта испытания должны быть проведены в достаточном для статистической обработки объёме.

Автором предлагается методика оценки МЦУ на базе испытаний стандартных образцов при отнулевом цикле «мягкого нагружения» с использованием модифицированной зависимости Мэнсона-Коффина. Работы по формированию банка данных по материалам не могут быть выполнены в короткое время. По самым скромным подсчётам на это уйдёт от 10 до 15 лет. Сложность создания базы в условиях лабораторий большинства предприятий отрасли обусловлена отсутствием или недостаточностью специального дорогостоящего оборудования, его обязательной аттестацией, разработкой и аттестацией технологии подготовки образцов. Не отрицая необходимости создания качественной базы данных по сопротивлению МЦУ, указанной в [1], необходимо до её полного формирования иметь достоверные методики оценки МЦУ, базирующиеся на менее затратных и простых подходах.

В данной работе описан один из таких подходов: использование давно известного и доказанного, как теоретически (на базе теории пластичности), так и экспериментально уравнения Мэнсона-Коффина (1), имеющего в простейшем виде следующий вид [1]:

$$\Delta\varepsilon = C \cdot N^{-a}, \quad (1)$$

где $\Delta\varepsilon$ – размах пластических деформаций; C, N – константы.

Для проведения анализа МЦУ основных деталей, для которых ресурс устанавливается в часах и циклах, на стадии предварительных расчётов и при сравнительных оценках [1,2] рекомендовано использование модифицированного уравнения Мэнсона-Коффина, приведённое и описанное в литературе [1–3].

Ранее применявшиеся подходы к анализу долговечности по сопротивлению МЦУ строились на использовании результатов циклических испытаний вырезанных из деталей стандартных гладких образцов и образцов с V-образными концентраторами с различными радиусами (коэффициентами концентрации напряжений) у основания надреза, полученными при «мягком», то есть с заданным циклом изменения нетто-напряжения, нагружении образца [2].

Оценка циклической долговечности реальной детали проводилась на базе кривых МЦУ, полученных для гладкого образца или образца с концентратором, соответствующим по коэффициенту концентрации напряжений исследуемой зоне детали [3]. В ОКБ Н. Д. Кузнецова (ПАО «ОДК-Кузнецов») для анализа МЦУ деталей двигателей был накоплен значительный объём таких испытаний для целого

ряда сталей, жаропрочных никелевых и титановых сплавов. Эти экспериментальные данные и редкие случаи разрушения деталей по механизму МЦУ, являются уникальным материалом для оценки качества работы модифицированного уравнения Мэнсона-Коффина и возможной необходимости его коррекции.

Полученные кривые расчётных долговечностей по уравнению Мэнсона-Коффина для гладких образцов и образцов с концентраторами находятся в поле разброса экспериментальных результатов в пределах трёх среднеквадратичных отклонений. Это подтверждает возможность получения достоверных результатов использования модифицированного уравнения Мэнсона-Коффина для расчёта долговечности деталей двигателя, повреждаемых по механизму малоциклового усталости. Принципиально, при наличии достаточного объёма экспериментальных данных, возможна индивидуальная настройка модифицированного уравнения Мэнсона-Коффина на конкретный материал или группу материалов.

Библиографический список

1. Нормы прочности авиационных газотурбинных двигателей гражданской авиации. – М.: ЦИАМ, 2004. – 260 с.
2. Терентьев, В.Ф. Усталость высокопрочных металлических материалов / В.Ф. Терентьев, А.Н. Петухов. – М.: ИМЕТ РАН-ЦИАМ, 2013. – 515 с.
3. Партон, В.З. Динамика хрупкого разрушения / В.З. Партон, В.Г. Борисковский. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

УДК 621.787:539.319

*Павлов В.Ф., Петрова Ю.Н., Шляпников П.А.,
Михалкина С.А., Катанаева Ю.А.*

НАЗНАЧЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВИДОВ И РЕЖИМОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

В современном машиностроении с целью повышения работоспособности деталей широкое применение находят различные методы поверхностного упрочнения. В работе [1] было установлено, что ответственными за повышение предела выносливости за счёт поверхностного упрочнения в условиях концентрации на-