

ОЦЕНКА ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Кочерова Е. Е., Злобин А. С., Коныхова А. С., Туманов Д. В.
Самарский университет, г. Самара, Kocherova_2020@mail.ru

Ключевые слова: долговечность, прочность, малоцикловая усталость, повреждение, материаловедение, уравнение Мэнсона-Коффина, эксперимент, деформации, напряжения

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», т.е. 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 уйдет 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 статье 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]:

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

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», т.е. 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.

Список литературы

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

Сведения об авторах

Кочерова Евгения Евгеньевна, аспирант. Область научных интересов: динамика и прочность деталей ГТД, циклическая долговечность деталей с остаточными напряжениями.

Злобин Андрей Сергеевич, аспирант. Область научных интересов: динамика и прочность деталей ГТД, циклическая долговечность деталей с остаточными напряжениями.

Коньхова Александра Сергеевна, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений.

Туманов Дмитрий Вячеславович, аспирант. Область научных интересов: механика остаточных напряжений.

USING THE MENSON KOFFIN EQUATION TO ASSESS THE CYCLIC DURABILITY OF PARTS

Kocherova E. E., Zlobin A. S., Konyhova A. S., Tumanov D. V.
Samara National Research University, Samara, Russia, Kocherova_2020@mail.ru

Keywords: durability, strength, low-cycle fatigue, damage, materials science, Manson-Coffin equation, experiment, deformations, stresses.

To calculate the durability of GTE parts damaged by low-cycle fatigue, according to the «Strength Standards of Gas Turbine Engines» [1], it is necessary to test samples under «hard» loading. To ensure the reliability of the calculation, tests must be carried out in large quantities.

The author proposes a method for assessing the MCC based on testing standard samples with a zero-off cycle of «soft loading» using a modified Manson-Coffin dependence.