

РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЁТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В работе показан общий подход к анализу малоциклового усталости (МЦУ) реальных конструкций высоконагруженных деталей машин, кратко описаны существующие расчётно-аналитические (на базе уравнения Мэнсона-Коффина и его энергетической интерпретации [1,2]) и расчётно-экспериментальные (на базе экспериментально полученных на образцах кривых малоциклового усталости) подходы и методики оценки циклической долговечности. Определены их преимущества и недостатки.

Предложен расчётно-аналитический подход к оценке циклической долговечности высоконагруженных деталей машин на стадии проектирования с использованием деформационно-энергетических критериев повреждения и разрушения – удельной диссипации энергии деформирования, связанной с упрочнением материала по результатам анализа НДС детали в ПК «ANSYS». Отмечена возможность использования критерия на протяжении всего жизненного цикла детали, в том числе для учёта технологической наследственности (рис. 1).

Из рис. 1 условие возникновения трещины МЦУ (1):

$$W_{кр} = W_{техн} + W_{нагр} + N \cdot W_{ц} , \quad (1)$$

где $W_{кр}$ – критическая величина удельной диссипации энергии деформирования (при израсходовании которой образуется трещина);

$W_{техн}$ – энергия, израсходованная в процессе изготовления, формирования поверхностного слоя детали;

$W_{нагр}$ – энергия, израсходованная при первом нагружении конструкции;

N – количество циклов нагружения до разрушения;

$W_{ц}$ – энергия, расходуемая в каждом последующем цикле нагружения.

Основанием для такого утверждения, кроме универсальности и физической обоснованности такого подхода, является использование скалярной величины –

энергии в отличие от использования характеристик, связанных с напряжениями и деформациями, имеющих тензорную сущность.

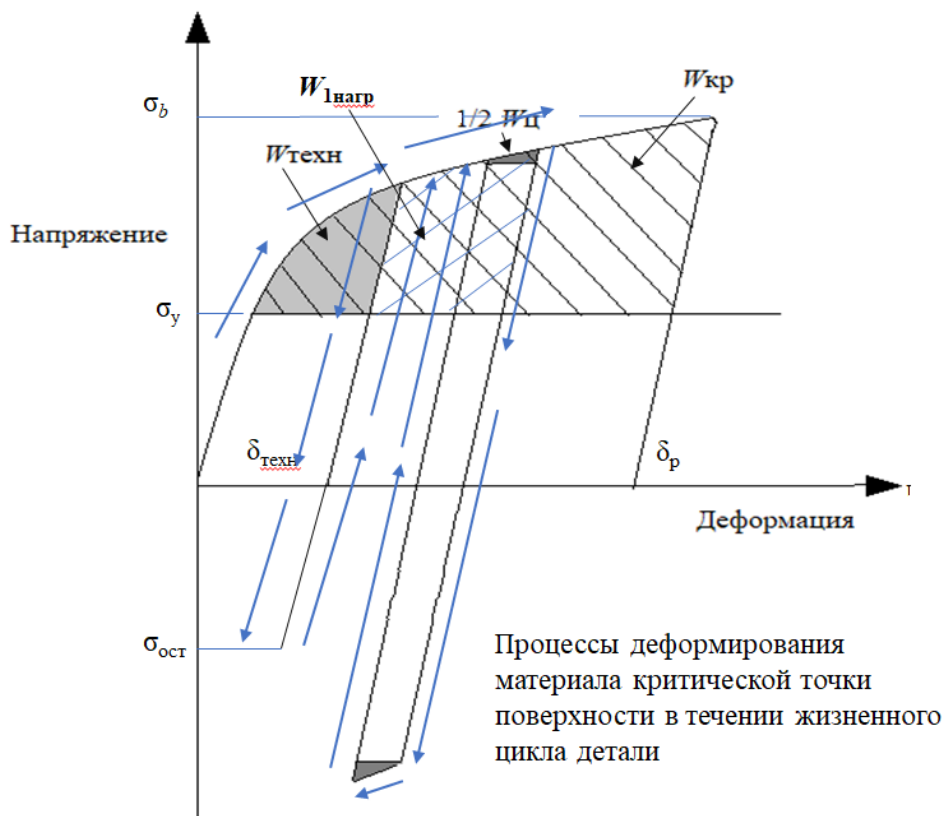


Рис.1. Процессы деформирования материала критической точки поверхности в течении жизненного цикла детали

Выполнено (на базе моделирования реальных процессов испытаний стандартных образцов с концентраторами напряжений) сравнение работы двух расчётно-аналитических методов оценки долговечности с расчётно-экспериментальными кривыми малоциклового усталости.

Показаны зоны (по значению разрушающей долговечности), в которых оптимально использование анализируемых методик оценки циклической долговечности.

Подтверждена удовлетворительная работа деформационно-энергетического метода анализа долговечности в зоне нагрузок, обеспечивающих циклическое пластическое деформирование материала, соответствующих долговечностям, не превышающим 8–10 тыс. циклов. Полученная расчётная кривая сопротивления усталости проходит вблизи аппроксимирующей кривой МЦУ образцов.

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.