

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ГИГАЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Оборин В.А., Банников М.В.

*Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614013 Ак. Королёва 1, г. Пермь.  
E-mail: oborin@icmm.ru*

Целью проекта является разработка моделей, описывающих механизмы зарождения и распространения трещин в условиях много- и гигацикловой усталости, отражающих роль многомасштабных эффектов в ансамблях дефектов, создание экспериментального комплекса для исследования стадийности процесса разрушения в условиях много- и гигацикловой усталости, исследование и обработка данных морфологии поверхностей разрушения по данным 3D New View профилометрии.

Проект предполагает исследование многомасштабной эволюции дефектных структур в перспективных материалах авиационного моторостроения в условиях гигацикловой усталости на основе 3D методов структурного анализа морфологии поверхностей разрушения (интерферометр-профилометр New View 5010), которые позволят прогнозировать кинетику зарождения и распространения трещин в конструкциях в условиях их эксплуатации.

В работе образцы из высокопрочной стали R4 подвергались усталостному нагружению в условиях симметричного цикла растяжения – сжатия с частотой 20 кГц (режим гигациклового нагружения) на ультразвуковой испытательной машине.

Испытательная машина состоит из следующих основных частей (рис.1). Генератора (1), преобразующего частоту 50 Гц в ультразвуковой электрический синусоидальный сигнал с частотой 20 кГц;

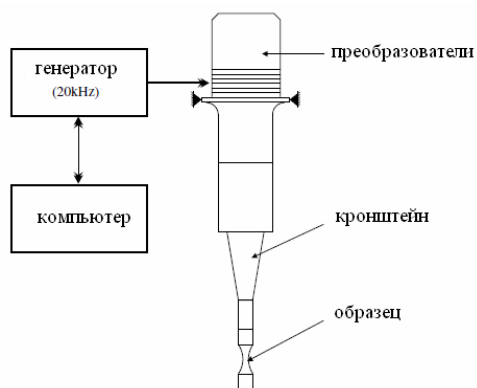


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

пьезоэлектрического преобразователя (2), генерирующего продольные ультразвуковые волны в механическое воздействие частотой 20 кГц; ультразвукового волновода (3), формирующего максимальную амплитуду механического напряжения в рабочей (средней) части образца.

Проявление автомодельных закономерностей роста трещины исследовалось методами теории подобия и размерностей. Определяя зависимость скорости роста трещины  $a = dl/dN$  от силовых и масштабных переменных ( $a_1 = \Delta K$  – изменение коэффициента интенсивности напряжений;  $a_2 = E$  – модуль Юнга;  $a_3 = l_{sc}$  – масштаб корреляции в ансамбле дефектов;  $a_4 = L_{pz}$  – масштаб, связанный с зоной процесса), получено кинетическое уравнение вида:

$$\frac{d\bar{l}}{dN} = C \left( \frac{\Delta K}{E\sqrt{l_{sc}}} \right)^\alpha,$$

где  $\bar{l} = l/l_{sc}$ ,  $C = (L_{pz}/l_{sc})^\beta$ ,  $\alpha$  – универсальный показатель.

Исследование роста усталостной трещины в режиме гигациклового нагружения в высокопрочной стали показало, что распределение дефектов в вершине трещины характеризуется признаками статистической автомодельности. С наличием масштабных инвариантов связывается универсальный степенной характер кинетического уравнения роста усталостной трещины с показателем  $\alpha \sim 2,3$ , имеющим постоянное значение. Значение показателя  $\alpha \sim 2,3$  сопоставимо со значениями показателя в законе Пэриса, наблюдаемого для режимов многоциклового усталости.

Прикладная значимость проведенных исследований обусловлена необходимостью совершенствования методов прогноза эксплуатационного ресурса материалов и конструкций с учётом физических механизмов, реализующихся на различных масштабных уровнях. Ряд результатов может быть использован для оценки усталостного ресурса элементов конструкций на предприятиях авиастроительного комплекса.

## Публикации

1. Оборин В.А., Банников М.В., Наймарк О.Б. Экспериментальное и теоретическое исследование разрушения в условиях гигацикловой усталости // Тезисы докладов. Международная конференция по физической мезомеханике, компьютерному конструированию и разработке новых материалов, 5-9 сентября 2011 г., Томск, С. 70.
2. Оборин В.А., Банников М.В., Наймарк О.Б. Исследование разрушения высокопрочных сплавов в условиях гигацикловой усталости // Тезисы докладов. Всероссийская конференция молодых учёных «Неравновесные процессы в сплошных средах», 16-17 декабря 2011 г., Пермь, С. 54.