

УДК 620:519.2

А.В. БАШТА

Национальный авиационный университет, Украина

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОГООЧАГОВОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ УСТАЛОСТИ

В работе рассмотрена разработанная и апробированная методика проведения лабораторных исследований по изучению и вычислению количественных характеристик многоочаговой поврежденности. Построены графики зависимостей плотности трещин и их средней длины от количества циклов нагружения. Определено, что для алюминиевого сплава Д-16Т при малоциклового усталости скорость распространения микротрещин не зависит от их длины.

многоочаговое разрушение, усталость, поврежденность, микротрещины, плотность трещин, идентификация микротрещин, скорость роста трещин

Введение

Изучение закономерностей множественного разрушения обусловлено необходимостью обоснования предельных состояний и прогнозирования работоспособности высоконадежных изделий, эксплуатация которых с макроскопическими дефектами недопустима. К таким изделиям относятся ответственные конструктивные элементы самолетов и авиадвигателей, ресурс которых ограничивается инкубационной стадией макроразрушения до формирования макроскопических трещин – стадией множественного разрушения.

Известно, что процесс усталости металлов локализуется в поверхностном слое. Поэтому поверхность служит носителем информации о динамике исчерпания несущей способности элементов конструкций. Оценка состояния поверхностного слоя рассматривается как способ диагностики усталостного повреждения.

Одним из проявлений повреждения деталей машин при циклическом нагружении является наличие рассеянных на ограниченной площади поверхности коротких трещин. Разрушение материалов, обусловленное непрерывными во времени процессами зарождения, роста и объединения трещин, считается универсальным [1], называется множественным и характерно для многих повреж-

дающих факторов, например, для изотермической и неизотермической усталости [2, 3], циклической ползучести и коррозии.

Множественное разрушение (МР) имеет стохастическую природу. Это обусловлено случайным процессом зарождения трещин во времени, случайным их положением на поверхности, случайной скоростью роста, случайными событиями объединения. При объединении рассеянных коротких трещин происходит скачкообразное увеличение их размеров, которое может привести к внезапному образованию критической по размеру трещины.

1. Формулирование проблемы

Объем экспериментальных данных по МР очень ограничен. Это связано с трудоемкостью идентификации и сложностью наблюдения за поведением большого количества малых по размерам дефектов на поверхности образцов.

При наличии на ограниченной площади поверхности или в объеме материала даже небольшого количества микротрещин (МТ), размеры которых находятся в интервале $0,1 \dots 10^3$ мкм [4 – 7], всегда существует конечная вероятность их объединения.

Цель данной работы – оценка изменений характеристик микрорастрескивания поверхностного слоя материала. Получение зависимостей средней длины трещин, и плотности их распределения от количес-

тва циклов нагружения, разработка и проверка методики испытаний, а также получении входных данных к математической модели.

2. Решение проблемы

Стандартный образец из лакированного листа алюминиевого сплава Д-16Т толщиной 1,3 мм и галтелями радиусом 110 мм, испытывался при малоцикловом нагружении на гидропульсационной машине МУП-20. Испытания проводились при симметричном цикле с частотой $f = 11$ Гц.

Образцы испытывались при нагрузке $\sigma = 25$ кГ/мм² и $\sigma = 30$ кГ/мм² с разными программами испытаний, в зависимости от времени дефектации первых микротрещин.

При составлении программы исследований использовались данные, полученные после испытания на статическое растяжение и циклическую долговечность серии неполированных образцов того же типа. База испытаний составляла не меньше 10^5 циклов.

Программа испытаний включала исследование процессов накопления и развития коротких трещин до возникновения макротрещины, их объединения и разрушения образца. Образец проходил измерения после каждого этапа нагружения.

Идентификация трещин, определение их координат на поверхности образца и измерения размеров осуществлялось визуально с помощью микроскопа ММР-4 ЛОМО с применением окуляр-микрометра, которым комплектуется микротвердомер ПМТ-3.

После контроля поверхности образца оценивался прирост количества и длин трещин за этап испытаний, плотность трещин на исследуемой площади поверхности образца, скорость роста трещин.

2.1. Результаты эксперимента

Наблюдение за поведением коллектива рассеянных на поверхности образца трещин показывает, что некоторые зарожденные трещины могут быть не распространяющимися, часть растет стабильно, но

со значительным разбросом скоростей, некоторые существенным образом ускоряют свой рост путем объединения с соседними трещинами. Из экспериментальных данных получено, что для сплава Д16Т при заданном уровне нагрузок скорость распространения микротрещин не зависит от их длины и является случайной величиной (рис. 1).



Рис. 1. Зависимость длины микротрещин от скорости их развития

С увеличением количества циклов средняя длина трещин постоянно нарастает (рис. 2). Данные можно аппроксимировать линейной зависимостью.



Рис. 2. Зависимость средней длины микротрещины от количества циклов нагружения

Зная критическую среднюю длину трещин, можно прогнозировать количество циклов, которые образец выдержит без разрушения, то есть можно предварительно устанавливать долговечность.

С ростом наработки количество трещин на поверхности возрастает. Зависимость плотности трещин от количества циклов нагружения можно аппроксимировать линейной зависимостью (рис. 3).

При статистической обработке эмпирических

гистограмм распределения количества трещин по их скоростям (рис. 4) получено, что для всех видов и режимов нагружения данное распределение удовлетворительно аппроксимируется показательным (экспоненциальным) законом. Рассеяние значений свидетельствует о неоднородности характера роста микротрещин.



Рис. 3. Зависимость плотности трещин от количества циклов нагружения

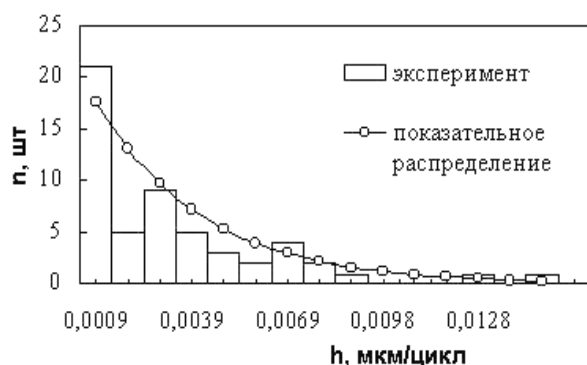


Рис. 4. Экспериментальные гистограммы и расчетные распределения количества поверхностных трещин по скоростям роста

Заключение

Разработана и апробирована методика проведения лабораторных исследований по изучению и вычислению количественных характеристик многоочаговой поврежденности.

Из экспериментальных данных получено, что для сплава Д16Т при заданном уровне напряжений скорость распространения микротрещин не зависит от их длины и является случайной величиной. При этом, значительное количество составляет часть

трещин, которые не растут или имеют очень маленькую скорость роста.

Установлено, что с увеличением количества циклов средняя длина трещин и плотность трещин нарастают линейно.

При статистической обработке эмпирических гистограмм распределения количества трещин по их скоростям было получено, что данные распределения аппроксимируются показательным законом.

Планируется сравнить результаты имитационного моделирования с результатами проведенных экспериментов и дать заключение о возможности использования математических моделей при прогнозировании ресурса авиационных конструкций.

Литература

1. Ботвина Л.Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов. – М.: Наука, 1989. – 232 с.
2. Игнатович С.Р. Закономерности множественного разрушения сплава ЭИ698ВД при малоцикловом нагружении // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х.: НАКУ «ХАІ». – 2001. – Вип. 26. Двигуни та енергоустановки. – С. 136 – 139.
3. Ochi Y., Ishii A., Sasaki S.K. An experimental and statistical investigation of surface fatigue crack initiation and growth *Fatigue Fract. Engng Mater. Structures*. – 1985. – 8, № 4. – P. 327 – 339.
4. Я. Немец. Развитие усталостных трещин // *Проблемы прочности*. – 1988. – № 7. – С. 9–18.
5. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
6. Школьник Л.М. Скорость роста трещин и живучесть металла. – М.: Металлургия, 1973. – 216 с.
7. Turnbull A., de los Rios E.R. Predicting fatigue life in commercially pure aluminium using a short crack growth model. *Fatigue Fract. Engng Mater. Struct.* – 1995. – Vol. 18, № 12. – P. 1469 – 1481.

Поступила в редакцию 28.05.04

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.А. Дмитриев Национальный авиационный университет, Киев.