

Для определения циклического напряжения и регистрации процесса усталости был использован динамометрический метод. Для оценки накопления циклических повреждений строились кинематические диаграммы усталостного разрушения, представляющие собой изменение относительной величины прогиба образца (f_i) в функции числа циклов напряжений (N). При заданном уровне циклического напряжения относительная стрелка прогиба образца определялась как:

$$\varepsilon_{с.п} = \frac{f_i}{f_0},$$

где f_0, f_i – соответственно величины начальной и текущей стрелки прогиба образца в функции N числа циклов нагружений.

Кинетические диаграммы усталостного разрушения представлялись в координатах $\lg \varepsilon_{с.п} - \lg N$, по которым проводилась количественная оценка длительности стадий усталостного разрушения – стадии N_1 (до момента раскрытия и распространения усталостной трещины), и стадии $N_{пр}$ распространения усталостной трещины (с момента раскрытия трещины до полного ее распространения по сечению образца).

В результате испытаний серии образцов с различной величиной степени предварительной деформации растяжением ($\varepsilon_{пл} = 0; 2,5; 5; 10; 15; 18\%$) при одинаковой величине амплитуды напряжений ($\sigma_a = 300$ МПа) были получены зависимости изменения стрелки прогиба образца в функции числа циклов нагружения. Установлены также закономерности, по которым изменяются механические характеристики стали и показатель деформационного упрочнения в зависимости от степени предварительного пластического деформирования растяжением.

Выполненные испытания позволили установить степень влияния длительности периодов усталостного разрушения (от момента появления и распространения усталостной трещины по всему образцу) в зависимости от величины предварительной пластической деформации, которой подвергался на начальном этапе испытаний образец. При этом установлено, что долговечность предварительно деформированных образцов ($\varepsilon_{пл} > 5$) в основном определяется длительностью стадии распространения усталостной трещины. Выявлено, что продолжительность стадии распространения усталостной трещины растет с увеличением степени предварительной деформации и при $\varepsilon_{пл} = 18\%$ составляет порядка 60 % от полной долговечности образца.

Список литературы

- 1 Пачурин, Г. В. Технология комплексного исследования разрушения деформированных металлов и сплавов в различных условиях нагружения / Г. В. Пачурин, А. Н. Гушин. – Н. Новгород : НГТУ, 2005. – 138 с.
- 2 Терентьев, В. Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов / В. Ф. Терентьев. – М. : Наука, 2002. – 287 с.

УДК 51+004

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА СИНГУЛЯРНОМ РАЗЛОЖЕНИИ МАТРИЦЫ

М. А. ГУНДИНА, Д. А. КАМЕНКО

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Основная идея метода обнаружения аномальных значений, основанного на разложении матриц, состоит в том, чтобы использовать сингулярное разложение исходной матрицы данных.

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -2 & 3 & 2 & 1 & 3 \\ 0 & 1 & 0 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 & 2 & 4 & 1 & 4 \\ 5 & 1 & 1 & 7 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 5 & 6 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 \\ 4 & 12 & 2 & 1 & 4 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

Предположим, что исходный набор данных выглядит следующим образом (рисунок 1).

Наилучшая матрица (Фробениусова норма разности которой с исходной минимальна) получается из сингулярного разложения матрицы M по формуле

$$M = ULV^T.$$

Рисунок 1 – Исходная выборка L – матрица размера $m \times n$ с неотрицательными элементами, у которой элементы, лежащие на главной диагонали, – это сингулярные числа (а все элементы, не лежащие на главной диагонали, являются нулевыми), а матрицы U и V – это две унитарные матрицы, состоящие из левых и правых сингулярных векторов соответственно.

В системе Wolfram Mathematica сингулярное разложение может быть получено с помощью следующей формулы:

$$\{u, l, v\} = \text{SingularValueDecomposition}[M1];$$

Приближенная матрица $M_k = U_k L_k V_k^T$,

U_k, L_k, V_k получаются из матриц сингулярного разложения отсечением до k первых столбцов.

Рассмотрим случай $k = 1$.

For[u1=Table[0,{i,1,Dimensions[M1][[1]]},{j,1,Dimensions[M1][[2]]};j=1,j<=k,j++,For[i=1,i<=Dimensions[M1][[1]],i++,u1[[i,j]]=u[[i,j]]]]

For[v1=Table[0,{i,1,Dimensions[M1][[1]]},{j,1,Dimensions[M1][[2]]};j=1,j<=k,j++,For[i=1,i<=Dimensions[M1][[1]],i++,v1[[i,j]]=v[[i,j]]]]

For[l1=Table[0,{i,1,Dimensions[M1][[1]]},{j,1,Dimensions[M1][[2]]};j=1,j<=k,j++,l1[[j,j]]=1[[j,j]]]

Тогда приближенная матрица имеет вид, представленный на рисунке 2.

Команда `ArrayPlot[Abs[M1-M2]//Chop]` позволяет графически выделить аномальные значения матрицы (рисунок 3)

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 3 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ 3 & 3 & 0 & 4 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 2 & 2 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 5 & 0 & 4 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 1 & 2 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 1 & 3 & 3 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 7 & 2 & 5 & 6 & 2 & 4 \end{pmatrix}$$



Рисунок 2 – Приближенная матрица.
Матрица разности исходной матрицы
с приближенной матрицей

Рисунок 3 – Аномальные значения,
выделенные темным цветом

Элементы, которые сильно отличаются от соответствующих элементов матрицы небольшого ранга, будут считаться аномальными.

УДК 539.3

ДИНАМИКА ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Д. В. ДЕДОВА

ПАО «Корпорация "Иркут"», г. Москва, Российская Федерация

А. Л. МЕДВЕДСКИЙ

Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского,
г. Жуковский, Российская Федерация

М. И. МАРТИРОСОВ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В настоящее время в авиационной технике (АТ) широко используются полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые обладают большим количеством преимуществ по сравнению с традиционными металлическими материалами, например, высокой удельной прочностью и жесткостью, сопротивлением усталости, низкими коэффициентами трения и термического расширения, химической инертностью. Говоря о недостатках ПКМ, среди прочего можно отметить, что при производстве и эксплуатации элементов конструкций из ПКМ могут возникать повреждения. Под повреждением будем понимать нарушение исправного состояния изделия при сохранении его работоспособности. В авиации выделяется пять категорий повреждений изделий из ПКМ в зависимости от требуемого уровня остаточной прочности, интервала между осмотрами, условий появления повреждения и контролепригодности.

Категория 1. Допустимые повреждения менее того размера, который может быть обнаружен с вероятностью не менее 90 % с уровнем доверия 95 % в процессе однократного выполнения любой