

УДК 621. 81: 621 – 192

П.П. Капуста, Е.П. Рыжков, Е.К. Почтенный

ОЦЕНКА ВАРИАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК КРИВОЙ УСТАЛОСТИ В ПРОЦЕССЕ СНИЖЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ

*Белорусский национальный технический университет
НИРУП "Белавтотракторостроение"
Институт механики машин НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

1. Вводные положения и постановка задачи

Результатами многочисленных исследований показано, что в процессе циклического нагружения деталей машин, происходят весьма значительное снижение предела выносливости σ_R , что сказывается на величине их конечного значения σ_{RK} и долговечности [1 -9]. В связи с фактом снижения σ_R , в случае нерегулярного нагружения с течением времени увеличивается число повреждающих напряжений в нагруженном блоке, которые до снижения σ_R были меньше его начального значения и не являлись повреждающими. Следовательно, при снижении σ_R , число повреждающих уровней напряжений нагруженного блока σ_i увеличивается, а долговечность снижается. Учитывая выше изложенное, очевидным является вопрос вариации основных параметров кривой усталости, описываемой степенной функцией (показателя наклона левой ветви m и числа циклов до точки нижнего перелома N_C), в процессе снижения предела выносливости.

2. Обоснование выбора гипотезы о постоянстве m и N_C

в процессе снижения предела выносливости

Анализ состояния вопроса, проведенный выше, показал, что одной из гипотез может быть: $m = \text{const}, N_C = \text{const}$. Это позволит предложить более простой приближенный метод расчета деталей машин на долговечность, используя многочисленные справочные сведения по основным средневероятным параметрам кривых усталости. Однако, предложенная гипотеза о постоянстве характеристик m и N_C требует более тщательной экспериментальной проверки в случае описания кривых усталости степенной функцией.

3. Экспериментальная проверка гипотез о постоянстве m и N_C в процессе снижения предела выносливости

Данное исследование проведено на результатах испытаний 7 серии листовых

образцов из стали 45, с надрезами и без надреза, в условиях циклического растяжения с коэффициентом асимметрии $R=+0,5$ [8, 9]. При этом, авторы принимали, что степень повреждения образцов D , достигнутая путем нанесения надрезов до испытаний, эквивалентна повреждению, приобретаемому образцами в процессе блочного (нерегулярного) нагружения.

За степень повреждения D (начальная степень повреждения D_0) принимали отношение площадей зон трещин (начальных надрезов) к номинальным исходным площадям сечений образцов.

Начальная степень повреждения D_0 вычислялась по формуле

$$D_0 = \frac{A_{\text{надр.}}}{A_0},$$

где $A_{\text{надр.}}$ - площадь начального повреждения (надреза); A_0 - исходная номинальная площадь поперечного сечения образцов до нанесения надрезов.

Серия от серии отличалась длиной надреза в центральной части опасного сечения образцов.

В настоящей работе результаты указанных экспериментов использованы для проверки гипотезы о постоянстве m и N_G в процессе снижения предела выносливости для случая описания кривой усталости степенной функцией.

Результаты экспериментов точками нанесены на графиках в логарифмической системе координат $\lg \sigma - \lg N$ (см. рис. 1 и 2).

По экспериментальным точкам, с использованием метода наименьших квадратов были определены соответствующие уравнения регрессии прямых линий, описывающих зависимости $\lg \sigma = f(\lg N)$.

Так, на рис. 1 представлена экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для 3-х серий образцов с разной начальной степенью повреждения D_0 .

В результате обработки экспериментальных данных по рис. 1, получены следующие характеристики кривых усталости, соответствующих разным степеням повреждения образцов: $m_1 = 5,54$ $N_{G1} = 1,17 \cdot 10^6$ циклов; $m_2 = 4,53$ $N_{G2} = 1,63 \cdot 10^6$ циклов; $m_3 = 3,26$ $N_{G3} = 5,35 \cdot 10^5$ циклов.

На рис. 2 представлена экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для 4-х серий образцов с центральными надрезами. Точками и сплошными линиями показаны экспериментальные и расчетные зависимости числа циклов до разрушения от величины напряжения при различных значениях исходной степени повреждения. В результате обработки экспериментальных данных по рис. 2, получены следующие характеристики кривых усталости, соответствующих разным степеням повреждения образцов: $m_1 = 4,87$ $N_{G1} = 1,04 \cdot 10^6$ циклов; $m_2 = 5,83$ $N_{G2} = 1,09 \cdot 10^7$ циклов; $m_3 = 7,61$ $N_{G3} = 2,16 \cdot 10^8$ циклов; $m_4 = 6,10$; $N_{G4} = 7,49 \cdot 10^7$ циклов.

Совместный анализ экспериментальных результатов, приведенных на рис. 1 и 2, указывает на отсутствие четкой закономерности изменения m и N_G от степени повреждения образцов.

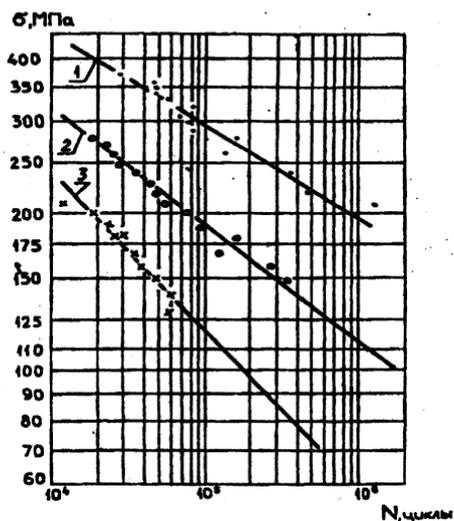


Рис. 1. Экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для стали 45 с разной начальной степенью повреждения: 1- $D_0=0,058$; 2- $D_0=0,223$; 3- $D_0=0,437$

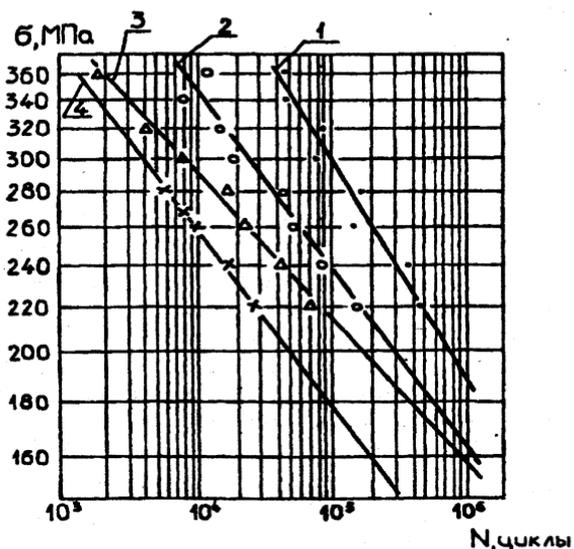


Рис. 2. Экспериментальная кинетическая диаграмма усталости для стали 45 с разной степенью повреждения: 1- $D=0,058$; 2- $D=0,2$; 3- $D=0,3$; 4- $D=0,4$

Поэтому, в качестве исходной примем гипотезу о независимости характеристик m и N_G от начальной D_0 и текущей D степени повреждения образцов в процессе развития усталостной трещины.

Тогда, определим средние для всех 7 серий образцов значения \bar{m} и N_G по формулам

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^j m_i}{j}$$

и

$$\lg N = \bar{X}_j - \bar{m} \cdot \lg \sigma,$$

где j -число серий образцов ($j=7$).

Отсюда $\bar{m} = 5,39$, а $\bar{N}_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов.

Уравнение степенной функции имеет вид

$$N_i = N_G \cdot \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_i} \right)^m. \quad (1)$$

Логарифмируя (1), получим:

$$\lg N_i = \lg N_G + m_i \cdot \lg \sigma_R - m \cdot \lg \sigma_i,$$

или

$$\lg N_i = X_j - m_i \cdot \lg \sigma_i,$$

где

$$X_j = \lg N_G = m_i \cdot \lg \sigma_R. \quad (2)$$

Найдем среднее значение параметра, определяемого по формуле (2), для всех семи серий образцов:

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_j}{n},$$

где n - число экспериментальных точек в каждой из $j=7$ серий образцов.

Аппроксимируем результаты эксперимента по испытанию тех же семи серий стальных образцов с использованием следующего эмпирического уравнения регрессии, включающего найденные осредненные по семи сериям образцов характеристики \bar{X}_j и \bar{m} :

$$\lg N = \bar{X}_j - \bar{m} \cdot \lg \sigma.$$

Результаты аппроксимации изображены в виде эквидистантных кривых усталости на рис.3 и 4.

Из анализа результатов эксперимента (см. рис. 1 и 2) напрашивается вывод о

низкой точности определения средних значений параметров кривой усталости, включая и определение средних значений предела выносливости $\bar{\sigma}_R$ для каждой из семи серий образцов. Поэтому, для проверки достоверности аппроксимации экспериментальных кинетических диаграмм усталости (см. рис. 3 и 4), произведена проверка гипотезы о постоянстве коэффициента вариации предела выносливости V_{σ_R} в процессе снижения σ_R , предложенной Когасевым В.П. С этой целью выполнен дисперсионный анализ коэффициента вариации V_{σ_R} с использованием критерия Бартлета [10, с.59...60]. Расчет характеристик, необходимых для проведения указанного анализа проведен с использованием результатов испытаний листовых образцов из стали 45, приведенных на рис. 1 и 2. Расчет характеристик для проверки гипотез о постоянстве m и N_G в процессе снижения предела выносливости производился при условии: для расчета характеристик $\bar{\sigma}_{R1}$, \bar{S}_{R1} и \bar{V}_{R1} (предела выносливости, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации предела выносливости, соответствующую

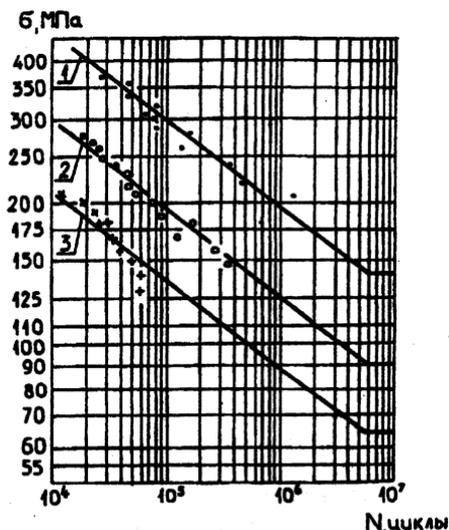


Рис. 3. Кинетическая диаграмма усталости образцов из стали 45 с разной начальной степенью повреждения D_0 при $m = \bar{m} = 5,39 = \text{const}$ и $N_G = \bar{N}_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов = const : 1- $D_0 = 0,058$; 2- $D_0 = 0,223$; 3- $D_0 = 0,437$

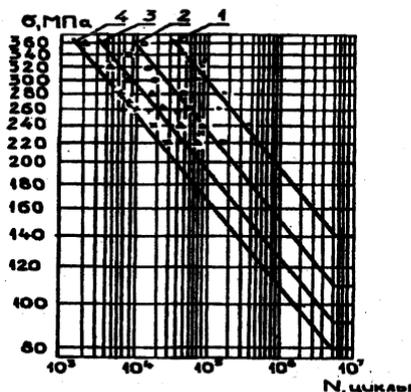


Рис. 4. Кинетическая диаграмма усталости образцов из стали 45 с разной текущей степенью повреждения D при $m = \bar{m} = 5,39 = \text{const}$ и $N_G = \bar{N}_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов: 1- $D=0,058$; 2- $D=0,2$; 3- $D=0,3$; 4- $D=0,4$

щих j -му – уровню (ступени) снижения предела выносливости), принимали $m = 5,39 = \text{const}$ и $N_G = 5,665 \cdot 10^6$ циклов = const.

В результате проведенного анализа показано, что при уровне значимости $\alpha = 0,05$ нет оснований отвергать гипотезу о постоянстве коэффициента вариации предела выносливости в процессе снижения последнего.

Таким образом, установлено, что с ростом степени повреждения образцов D , текущее значение предела выносливости σ_R снижается, а при расчетах можно считать постоянными число циклов до точки нижнего перелома кривой усталости N_G и показатель наклона ее левой ветви в логарифмической системе координат m .

Полученные результаты можно рекомендовать использовать для построения кинетических диаграмм усталости и суммировании усталостных повреждений при нерегулярном нагружении деталей машин.

4. Основные результаты и выводы

1. При вероятностных проектных расчетах на долговечность можно считать постоянными число циклов до точки нижнего перелома кривой усталости N_G и показатель наклона ее левой ветви m для разных уровней напряжений нагруженного блока σ_i и вероятности неразрушения P .

2. Разработана методика построения полных вероятностных диаграмм усталости на примерах большой и малой выборок.

3. Экспериментально подтверждено, что с ростом степени повреждения D можно считать справедливой гипотезу о постоянстве коэффициента вариации предела выносливости V_{σ_R} в процессе снижения предела выносливости.

4. С ростом степени повреждения D можно считать постоянными число цик-

лов до точки нижнего перелома кривой усталости N_C и показатель наклона ее левой ветви m .

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система ускоренных испытаний автомобильных конструкций / М.С. Высоцкий, А.А. Ракицкий, М.И. Горбацевич, В.И. Петько и др. – Мн.: Наука и техника, 1989. - 168 с.
2. Анализ эксплуатационной нагруженности в связи с оценкой долговечности при случайном нагружении (алгоритмы и программы): Метод. рекомендации/ С.С. Дмитриченко, В.А. Полев, В.А.Трушина и др. - М., 1985. - 127 с.
3. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. - М.: Стройиздат, 1982. - 351 с.
4. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования (оценка эксплуатационной надежности и долговечности): Справочник. - М.: Металлургия, 1989. - 592 с.
5. Гусев А.С. Сопротивление усталости и живучесть конструкций при случайных нагрузках.- М.: Машиностроение, 1989. - 248 с.
6. Дмитриченко С.С. Анализ нагруженности элементов машин. - М.: Машиностроение, 1977. - 37 с.
7. Капуста П.П., Почтенный Е.К. Влияние снижения предела выносливости стальных образцов на параметры кривой усталости, описываемой степенной функцией// Пятое научно-техническое совещание "Динамика и прочность автомобиля": Тез. докл. - М., 1992.- С.46-47.
8. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости деталей машин. – Мн.: Наука и техника, 1983. - 246 с.
9. Почтенный Е.К., Рыжков Е.П. Исследование кинетики повреждения листовых образцов стали 45// Заводская лаборатория. - 1975. -№1. - С. 93-97.
10. Степнов М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. - М.: Машиностроение, 1985. - 232 с.

УДК 621.791

М.П. Кульгейко, В.А. Люцко, Д.В. Мельников, В.Ф. Соболев

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

*Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого
Гомель, Беларусь*

Введение. Метод магнитно-электрического упрочнения позволяет создавать покрытия, имеющие высокую твердость, износостойкость и прочность сцепления с основой. Однако такой слой имеет высокую шероховатость, что ограничивает применение данного метода. Одной из основных проблем технологии магнитно-электрического упрочнения является повышение качества наносимого покрытия,