

ОЦЕНКА КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ НЕРАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ ТРЕЩИНЫ УСТАЛОСТИ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННЫХ ДЕТАЛЯХ

Семёнова О.Ю., Денискина Е.А., Михалкина С.А., Морозов А.Ю., Коваль И.Ю.
Самарский университет, г. Самара, sopromat@ssau.ru

Ключевые слова: поверхностное упрочнение, предел выносливости, критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости.

Для оценки влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости деталей с концентраторами напряжений используется критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{ост}$ [1], учитывающий влияние распределения сжимающих остаточных напряжений по толщине упрочнённого поверхностного слоя опасного сечения детали в виде

$$\bar{\sigma}_{ост} = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^1 \frac{\sigma_z(\xi)}{\sqrt{1-\xi^2}} d\xi, \quad (1)$$

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем сечении детали с концентратором, $\xi = \frac{y}{t_{кр}}$ – расстояние от дна впадины концентратора до текущего слоя, выраженное в долях $t_{кр}$, $t_{кр}$ – критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости, возникающей при работе поверхностно упрочнённой детали на пределе выносливости.

Экспериментально установлено [2, 3], что значение величины $t_{кр}$ определяется только размерами наименьшего (опасного) поперечного сечения детали и не зависит от метода поверхностного упрочнения, материала, последовательности изготовления и упрочнения концентратора, степени наклёпа, типа и размера концентратора, величины сжимающих остаточных напряжений, вида деформации и асимметрии цикла напряжений.

На основании большого числа экспериментов [2, 3] в случае сплошных цилиндрических деталей и образцов для значения $t_{кр}$ была получена зависимость в следующем виде:

$$t_{кр} = 0,0216 D, \quad (2)$$

где D – диаметр наименьшего (опасного) поперечного сечения детали или образца.

Главное достоинство формулы (2) состоит в том, что она даёт возможность определять значение $t_{кр}$ без проведения испытаний на усталость, затратных и по времени, и по средствам. Это делает критическую глубину нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$ удобной характеристикой для толщины поверхностного слоя со сжимающими остаточными напряжениями, ответственными за повышение сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей.

В результате значительного количества проведённых испытаний на усталость упрочнённых образцов и деталей из различных материалов, имеющих различные размеры и типы концентраторов, возник закономерный вопрос о точности аппроксимирующей зависимости (2). Поэтому были проанализированы результаты испытаний на усталость при изгибе, растяжении-сжатии сплошных образцов диаметром 7,5-50 мм из различных сталей (20, 45, 30ХГСА, 12Х18Н10Т, 40Х, ЭИ961) и сплавов (В95, Д16Т, 1953Т1), упрочнённых пневмо- и гидродробеструйной обработкой, обкаткой роликом и алмазным выглаживанием. После упрочняющей обработки на образцы наносились круговые надрезы полукруглого профиля радиусов $R = 0,3$ мм, $R = 0,5$ мм и $R = 1,0$ мм.

На основании анализа данных работ [2, 3] были вычислены относительные погрешности при определении $t_{кр}$ по формуле (2). Установлено, что погрешность вычисления

значений $t_{кр}$ для сплошных деталей и образцов по формуле (2) составляет от 0,3% до 7,4%, причём с увеличением диаметра погрешность уменьшается.

Список литературы

1. Павлов В.Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений / Известия вузов. Машиностроение, 1986. №8. С. 29-32.
2. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали / Известия вузов. Машиностроение. 1988. № 8. С. 22-26.
3. Павлов В.Ф., Кирпичёв В.А., Вакулюк В.С. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям. Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. 125 с.

Сведения об авторах

Семёнова Ольга Юрьевна, к.т.н., доцент, доцент кафедры высшей математики. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Денискина Екатерина Александровна, к.т.н., доцент, доцент кафедры высшей математики. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Михалкина Светлана Алексеевна, старший преподаватель кафедры высшей математики. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Морозов Антон Юрьевич, аспирант кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

Коваль Илья Юрьевич, аспирант кафедры сопротивления материалов. Область научных интересов: механика остаточных напряжений, механика разрушения.

THE EVALUATION OF A CRITICAL DEPTH OF A NON-PROPAGATING FATIGUE CRACK IN SURFACE HARDENED PARTS

Semyonova O.Yu., Deniskina E.A., Mihalkina S.A., Morozov A.Yu., Koval' I.Yu.
Samara University, Samara, Russia, sopromat@ssau.ru

Keywords: surface hardening, endurance limit, non-propagating fatigue crack critical depth.

The problem of a non-propagating fatigue crack critical depth evaluation under hardened part's endurance limit increment prediction after surface hardening with use the average integral residual stresses criterion has been examined. It's been stated that the errors of crack critical depth calculations is from 0,3% to 7,4%.