

УДК 621.787:539.319

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ ГЛУБИНЫ НЕРАСПРОСТРАНЯЮЩЕЙСЯ ТРЕЩИНЫ УСТАЛОСТИ В ПОВЕРХНОСТНО УПРОЧНЁННОЙ ДЕТАЛИ

Сургутанов Н. А., Шляпников П. А., Семёнова О. Ю.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Для прогнозирования приращения предела выносливости $\Delta p_{-1}(\Delta\sigma_{-1}, \Delta\tau_{-1})$ поверхностно упрочнённых деталей с концентраторами напряжений в работе [1] было предложено использовать критерий среднеинтегральных остаточных напряжений $\bar{\sigma}_{осм}$:

$$\Delta p_{-1} = \bar{\psi}_p \cdot |\bar{\sigma}_{осм}|, \quad (1)$$

где $\bar{\psi}_p$ ($\bar{\psi}_\sigma, \bar{\psi}_\tau$) – коэффициент влияния поверхностного упрочнения на предел выносливости детали по критерию $\bar{\sigma}_{осм}$:

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

где $\sigma_z(\xi)$ – осевые остаточные напряжения в наименьшем (опасном) сечении детали по толщине y поверхностного слоя; $\xi = y/t_{кр}$ – расстояние от поверхности 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.

Чтобы воспользоваться формулами (1) и (2) при прогнозировании предела выносливости упрочнённой детали, необходимо знать значение критической глубины $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости.

В работах [2-5] было экспериментально установлено, что значение $t_{кр}$ определяется только размерами наименьшего поперечного сечения детали и не зависит от вида поверхностного упрочнения, материала, последовательности изготовления и упрочнения концентратора, степени наклёпа, типа и размера концентратора, величины сжимающих остаточных напряжений, типа деформации и асимметрии цикла напряжений.

На основании большого числа экспериментов [2-5] в случае цилиндрических деталей для $t_{кр}$ была получена зависимость в следующем виде:

$$t_{кр} = 0,0216 D \cdot \left[1 - 0,04 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^2 - 0,54 \cdot \left(\frac{d}{D} \right)^3 \right], \quad (3)$$

где D – диаметр наименьшего (опасного) поперечного сечения детали, d – внутренний диаметр полой детали.

Критическая глубина нераспространяющейся трещины усталости $t_{кр}$ является удобной характеристикой для толщины поверхностного слоя со сжимающими остаточными напряжениями, ответственными за повышение сопротивления многоцикловой усталости поверхностно упрочнённых деталей, так как при прогнозировании предела выносливости таких деталей формула (3) даёт возможность определять значение $t_{кр}$ без проведения испытаний на усталость.

В связи с тем, что за последние годы было проведено большое количество испытаний на усталость упрочнённых образцов и деталей из разных материалов,

имеющих различные размеры и различные типы концентраторов, возникает вопрос о точности аппроксимирующей зависимости (3). Поэтому в настоящем исследовании была поставлена задача анализа погрешности этой формулы по данным экспериментов, опубликованных в работах [2-6]. Проанализированы результаты испытаний на усталость при изгибе, растяжении-сжатии, кручении сплошных и полых образцов и деталей с различными концентраторами напряжений, упрочнённых как до нанесения на деталь концентратора, так и после.

Проведённый в исследовании анализ показал, что расхождение опытных и рассчитанных по формуле (3) значений критической глубины $t_{кр}$ нераспространяющейся трещины усталости достигает в рассмотренных случаях 9,1 %. С уменьшением размера наименьшего (опасного) поперечного сечения детали (образца) расхождение между опытными и рассчитанными по формуле (3) значениями $t_{кр}$ увеличивается. Для полых деталей (образцов) расхождение между опытными и расчётными значениями $t_{кр}$ выше, чем для сплошных деталей (образцов). Для определения критической глубины нераспространяющейся трещины усталости предложены расчётные зависимости, учитывающие рассеяние опытных данных.

Библиографический список

1. Павлов, В. Ф. О связи остаточных напряжений и предела выносливости при изгибе в условиях концентрации напряжений [Текст]/ В.Ф. Павлов // 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 [Текст]/ В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №8. – С. 22-26.
3. Павлов, В. Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали [Текст]/ В. Ф. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1988. – №12. – С. 37-40.
4. Павлов, В. Ф. Остаточные напряжения и сопротивление усталости упрочнённых деталей с концентраторами напряжений [Текст]/ В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичёв, В. Б. Иванов. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2008. – 64 с.
5. Павлов, В. Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям [Текст]/ В. Ф. Павлов, В. А. Кирпичёв, В. С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.
6. Иванов, С. И. Влияние остаточных напряжений на сопротивление усталости при кручении в условиях концентрации напряжений [Текст]/ С. И. Иванов, В. Ф. Павлов, А. А. Прохоров // Проблемы прочности. – 1988. – №5. – С. 31-33.