

шев, КуАИ, 1971, вып. 53, с. 32-42.

6. Иванов С.И., Шатунов М.П., Павлов В.Ф. Влияние остаточных напряжений на выносливость образцов с надрезом. - В кн.: Вопросы прочности элементов авиационных конструкций. - Куйбышев, КуАИ, 1974, с. 88-95.

УДК 539.4:620.191

А.В.Кириллов, А.С.Мостовой

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ ТРЕЩИН МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

Целью настоящей работы является уточнение известной формулы линейной механики разрушения для определения значений коэффициента интенсивности напряжений при трещинах малых размеров. Для пластины конечной ширины с центральной сквозной трещиной (рассматривается трещина нормального отрыва) коэффициент интенсивности напряжений определяется, как известно, из выражения

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi \ell} f(2\ell/W), \quad (1)$$

где σ - напряжение брутто, ℓ - полудлина трещины, W - ширина пластины, $f(2\ell/W)$ - поправочная функция, учитывающая конечность ширины пластины $/I/$.

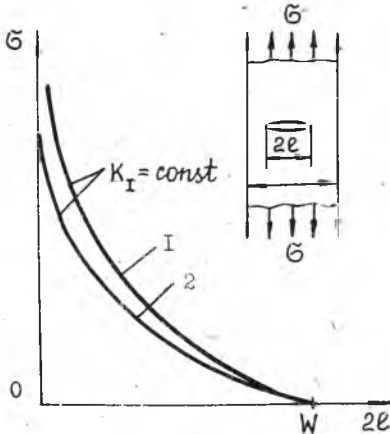


Рис. I

На рис. I кривая I представляет зависимость между длиной трещины и соответствующим значением напряжения σ при постоянном значении K_I . Для малых длин трещин использование формулы (1) приводит к неограниченному возрастанию σ , которое, однако, не должно превышать значения временного сопротивления разрыву σ_B материала.

В некоторых работах [2... 4/ для описания напряженного состояния вблизи малых трещин

используется формула следующего вида:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi(\ell + \ell_0)} f [2(\ell_0 + \ell)/W]. \quad (2)$$

Здесь под постоянной ℓ_0 понимается такая длина трещины, присутствие которой в материале не снижает его прочностных свойств /2/.

Введение постоянной ℓ_0 в выражение для коэффициента интенсивности напряжений позволяет достаточно точно описать напряженное состояние у трещины при $2\ell \rightarrow 0$, но приводит при возрастании длины трещины к смещению кривой зависимости $\sigma - 2\ell$ относительно истинной (рис.1, кривая 2).

На основе полученных экспериментальных данных Феддерсен /5/ предложил в зоне малых длин трещин проводить касательную к предельной кривой $\sigma_c = f_i(2\ell_c)$ (рис.2), соответствующей критическому значению коэффициента интенсивности напряжений K_{Ic} . Распространим это предложение на кривые $\sigma - 2\ell$ при значениях $K_I < K_{Ic}$. Производная $d\sigma/d(2\ell)$ в произвольной точке определяется выражением

$$\frac{d\sigma}{d(2\ell)} = \frac{d}{d(2\ell)} \left[\frac{K_I}{\sqrt{\pi\ell} f(2\ell/W)} \right].$$

Для малых длин трещин ($2\ell \leq 0,2W$)

функция $f(2\ell/W)$ изменяется незначительно: $1 < f(2\ell/W) < 1,04 / I /$, поэтому приближенно можно принять $f(2\ell/W)$ постоянной и равной единице. Тогда выражение для производной будет иметь вид:

$$\frac{d\sigma}{d(2\ell)} = \frac{d}{d(2\ell)} \left(\frac{K_I}{\sqrt{\pi\ell}} \right) = - \frac{\sigma}{4\ell}.$$

Для касательной, проходящей через точки $(\sigma_B, 0)$, $(\sigma^*, 2\ell^*)$, получим

$$- \frac{\sigma^*}{4\ell^*} = \frac{\sigma_B - \sigma}{2\ell},$$

а координаты точки касания при некотором значении K_I будут:

$$\sigma^* = \frac{2}{3} \sigma_B; \quad 2\ell^* = \frac{9}{2} \frac{K_I^2}{\pi \sigma_B^2}.$$

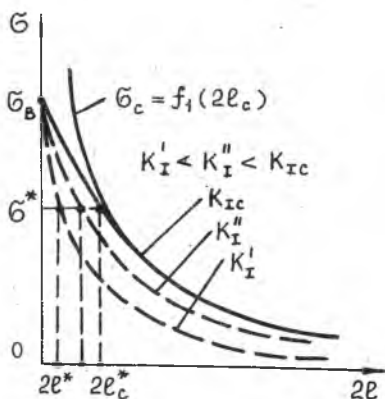


Рис. 2

Очевидно, что каждому значению K_I будут соответствовать неизменное значение σ^* и свое значение $2\ell^*$ (рис.2).

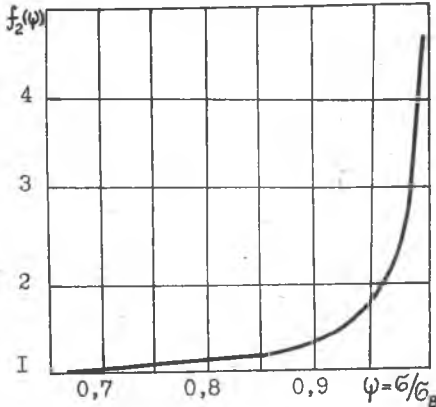


Рис. 3

Уравнение касательной к кривой $\sigma = f_1(2\ell)$ запишем в виде:

$$\sigma = \alpha + \beta \cdot 2\ell,$$

где $\alpha = \sigma_B$

$$\beta = -\frac{\sigma_B - \sigma^*}{2\ell^*} = -\frac{\sigma_B}{6\ell^*} \quad (4)$$

Тогда:

$$\sigma = \sigma_B - \frac{\sigma_B}{6\ell^*} 2\ell. \quad (5)$$

Выразив из (5) $2\ell^* = \frac{\sigma_B \cdot 2\ell}{3(\sigma_B - \sigma)}$ и подставив в (3), получим зависимость $\sigma = F(\sigma_B, K_I, \ell)$,

откуда найдем K_I :

$$K_I = \frac{0,385}{\sqrt{1 - \sigma/\sigma_B}} \sigma_B \sqrt{\pi \ell}. \quad (6)$$

Представим формулу (6) в виде

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi \ell} \cdot f_2(\psi). \quad (7)$$

Здесь $f_2(\psi)$ - поправочная функция, учитывающая влияние уровня напряжений

$$f_2(\psi) = \frac{0,385}{\psi \sqrt{1 - \psi}} \geq 1,$$

где $\psi = \sigma/\sigma_B$ - относительный уровень напряжений.

На рис.3 приведен график поправочной функции $f_2(\psi)$. Параметр ψ изменяется в интервале от $0,667 \leq \psi < 1$, что соответствует $\sigma^* \leq \sigma < \sigma_B$. При $\psi < 0,667$ ($\sigma < \sigma^*$) функция $f_2(\psi) = 1$; при $\psi = 1$ ($\sigma = \sigma_B$) происходит разрушение детали без появления начальных дефектов (усталостных трещин).

Таким образом, применение поправочной функции $f_2(\psi)$ в выражении K_I позволяет использовать аппарат линейной механики разрушения при расчетах несущей способности конструкций с трещинами малой длины.

Л и т е р а т у р а

I. Tada H. The stress analysis of cracks. Hand book. (Del Research Corporation). Hellertown, Pennsylvania, 1973.

2. Маркочев В.М. Прочность при наличии трещин и конструкционная прочность. - Проблемы прочности, 1982, № 2, с.6-10.

3. Эль-Хаддад М., Смит К., Тошпер Г. Распространение коротких усталостных трещин. - Теоретические основы инженерных расчетов, 1979, № I, с. 43-47.

4. Худак С. Поведение малой трещины и прогнозирование усталостной долговечности. - Теоретические основы инженерных расчетов, 1981, № I, с.28-39.

5. Feddersen C.E. Evaluation and prediction of the residual strength of center cracked tension panels. ASTM STP 486, 1971, p.p. 50-78.