XXX Юбилейная Неделя науки СПбГТУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч. I: С. 90-91, 2002. © Санкт-Петербургский государственный технический университет, 2002.

УДК 539.3

П.Б.Забирохин, (асп. каф. “Сопротивление материалов”)
Б.Е.Мельников, д.т.н., проф., А.С.Семенов, к.ф-м.н., доц.

К ВОПРОСУ О ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ РОСТА УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ НА ОСНОВЕ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ

Процесс роста усталостной трещины может быть условно разделен на две стадии. На первой стадии (стадии сдвиговой трещины) направление роста трещины определяется ориентацией плоскости максимальных касательных напряжений (деформаций). На второй стадии (нормального отрыва) направление роста трещины определяется плоскостью действия максимальных растягивающих напряжений. Как правило, в расчетах стадия I исключается из рассмотрения, что может приводить к погрешностям в оценке долговечности в ряде случаев, например в области концентрации напряжений.

В настоящей работе представлено развитие феноменологической модели роста усталостной трещины на I стадии, предложенной в работах [1…3]. В соответствии с рассматриваемым подходом скорость и направление роста трещины определяется на основе анализа эволюции поля поврежденности D в окрестности вершины трещины. В работах [1…3] параметр поврежденности используется для определения текущих координат вершины трещины. При этом постулируется, что в вершине трещины поврежденность равна единице. Для одномерной модели трещины, в которой положение вершины трещины характеризуется одной координатой a, таким образом, принимается:

$$D\Big|_{x=a} = 1. \tag{1}$$

Уравнение эволюции поврежденности записывается в виде:

$$\frac{dD}{dN} = h(\Delta\overline{B}), \tag{2}$$

где $h(B)$ – некоторая монотонно-возрастающая функция, зависящая от свойств материала; N – количество циклов нагружения; $\Delta\overline{B}$ – величина, характеризующая осредненное напряженно-деформированное состояние в вершине трещины, отражающая нелокальный характер процесса разрушения.

$$\Delta\overline{B} = \frac{1}{d^*}\int_0^{d^*} \Delta B dr, \tag{3}$$

где d^* – микроструктурная константа материала, связанная с характерным размером зерна поликристалла; ΔB – размах в пределах цикла меры напряженно-деформированного состояния, в качестве которой могут быть выбраны эквивалентное напряжение σ_{eq} или деформация ε_{eq}.

$$\begin{aligned} \Delta B_1 &= \Delta\sigma_{eq} = (1-\gamma)\left|\Delta\sigma_{r\varphi}\right| + \gamma\Delta\sigma_{\varphi} \\ \Delta B_2 &= \Delta\varepsilon_{eq} = (1-\beta)\left|\Delta\varepsilon_{r\varphi}\right| + \beta\Delta\varepsilon_{\varphi} \end{aligned} \tag{4}$$

где σ_φ, $\sigma_{r\varphi}$, ε_φ, $\varepsilon_{r\varphi}$ – компоненты тензоров напряжений и деформаций в полярной системе координат с центром в вершине трещины. Параметры γ,β определяются из условия обеспечения экспериментально наблюдаемого направления роста усталостной микротрещины. В настоящей работе выполнено определение параметров γ, β для произвольных конечных значений параметра d^* на основе аналитического анализа напряженно-деформированного состояния в вершине наклонной трещины в неограниченной упругой плоскости:

$$\gamma = \frac{1}{4 + 2\dfrac{d^*}{a}}, \tag{5}$$

$$\beta = \frac{1}{\dfrac{2(2+\nu)}{1+\nu} + 2\dfrac{d^*}{a}} \text{ (плоское напряженное состояние)}, \tag{6}$$

$$\beta = \frac{1}{2(2-\nu) + 2\dfrac{d^*}{a}}, \text{ (плоское деформированное состояние)}, \tag{7}$$

где a – длина трещины; ν – коэффициент Пуассона.

Значения коэффициентов γ, β для случая упруго-пластического материала и для случая краевой трещины определялись методом конечных элементов. Полученные значения использовались при моделировании роста зигзагообразной усталостной трещины.

Кроме того, в настоящей работе развита концепция эволюции поля поврежденности для трещины, развивающейся по известной (заданной) траектории. Сформулированы начальные и граничные условия для задачи об эволюции поля поврежденности, формально определено понятие скорости движения фронта постоянного уровня поврежденности, введена в рассмотрение формула для скорости роста трещины:

$$v(a) = -\left.\frac{h(\Delta\bar{B})}{\dfrac{\partial D}{\partial x}}\right|_{x=a}. \tag{8}$$

Здесь a – текущая координата вершины трещины; x – координата точки в глобальной системе координат.

Получены в замкнутой форме интегральные и дифференциальные соотношения, определяющие скорость роста усталостной трещины, в задаче о росте трещины по заданной траектории. С этой целью осуществлен переход от функции $D(x,N)$, аргументами которой являются координата точки и число циклов нагружения к функциям $D(x,a)$, аргументами которой являются координата точки и текущая координата вершины трещины и $D(r,a)$ аргументами которой являются расстояние до вершины трещины и текущая координата ее вершины.

Полученные соотношения могут быть применены к численному расчету скорости роста усталостных микротрещин.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Semenov A.S., Sähn S., Melnikov B.E. Computer simulation of kinked fatigue crack propagation at sharp notches // Proc. 2nd Int. Conf. Nondestr. Testing and Comp. Simul. in Material Sci. and Eng. Ed. A.I.Melker. Proc. of SPIE. Washington. 1999. Vol. 3687, pp. 427-436.

2. Семёнов А.С. Исследование процесса образования зигзагов при распространении усталостной трещины методами континуальной механики повреждений / Нелин. проблемы механики и физики деф. тверд. тела. Ред. К.Ф. Черных. Вып. 2. 2000.- С. 186-212.

3. Семёнов А.С., Мельников Б.Е., Забирохин П.Б. К вопросу о феноменологическом описании роста усталостных трещин на начальной стадии / Труды 4-й Межд. конф. "Научно-технические проблемы прогнозирования надежн. и долговечн. констр. и методы их решения". 2001.-С. 270-272.