УДК 539.3 (575.2) (04)

О РАЗВИТИИ МИКРОТРЕЩИНЫ ДО КРИТИЧЕСКОЙ ДЛИНЫ

К.А. Герман – канд. физ.-мат. наук

При статическом нагружении тела с трещиной, когда нагрузка превышает некоторое предельное значение, равновесие тела при неизменной длине трещины невозможно. В дальнейшем происходит квазистатический рост трещины, что означает равновесие тела возможно при некоторой большей длине трещины. После достижения критической длины трещины тело разрушается.

Рассматривается хрупкое тело с прямолинейной трещиной. Считается, что макротрещина растет за счет микротрещин в окрестности её вершины, которые, сливаясь между собой, образуют макротрещину.

В работе [1] экспериментально доказано, что стадия зарождения ($l \sim 10^{-9}\,м$) микротрещины заканчивается, если её длина достигает $l_0 \sim 10^{-7}\,м$. Микротрещина растет за счет быстрого движения совокупностей дислокаций, которое продолжается до полного сваливания скоплений в эту микротрещину.

В [2] приведены экспериментальные данные о докритическом растрескивании материала в зоне предразрушения задолго до обнаружения её макроскопического подрастания свыше $l_0 \sim 10^{-7}\,м$. Посредством акустической эмиссии и металлографических средств обнаружено образование докритических микротрещин в зоне у вершины макротрещины, при 40% от критической нагрузки. При этом распространение трещин не происходит по всему фронту трещины, а локализуется в виде узкой полости в вершине трещины.

Г.Р. Ирвин [3] и Е.О. Орован [4] показали, что в большинстве случаев разрушение происходит квазихрупким образом, т.е. так, что пластическая область существует, но имеет очень малые размеры и сосредоточивается в непосредственной близости от кончика трещины.

В механике разрушения существуют различные подходы, с помощью которых определяется критический размер трещины. Однако нет математических описаний докритического роста трещины. Этот пробел можно восполнить, если использовать модель Леонова – Панасюка – Дагдейла [5, 6].

Согласно модели [5, 6], неупругие деформации локализуются в виде полосы на кончике трещины, и эта модель основывается на следующих положениях:

1. Если расстояние $2v \le \delta_c$, v – компонента смещений перпендикулярно плоскости трещины (рис. 1) между противоположными поверхностями разреза не превышает некоторой величины δ_c, то к берегам разреза приложено напряжение σ_0. Это напряжение притягивает берега один к другому. (Напряжение σ_0 может отождествляться с пределом текучести σ_m или пределом прочности $\sigma_в$).

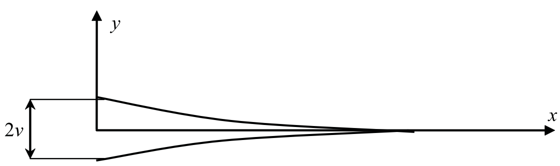

Рис. 1.

2. Если расстояние $2v > \delta_c$, то между противоположными поверхностями трещины нет силового воздействия.

Критерий разрушения, аналогично [5–7], можно записать в следующем виде:

$$2v\left(x = l, p = p_c\right) = \delta_c,$$

т.е., когда скачок перемещений в конце трещины достигает предельного значения, трещина получает возможность развиваться путем увеличения её длины.

Воспользуемся приведенным выражением в [7, 8] для критической силы

$$p = \frac{2}{\pi}\sigma_0 \arccos\left[\exp\left(-\frac{\delta_c \pi E}{8 l \sigma_0}\right)\right].$$

Для анализа удобнее построить график (рис. 2) с безразмерным параметром $\lambda = p/\sigma_0$ и параметром, зависящим от длины трещины $\zeta = l/c$, где $c = \pi E \delta_c / 8\sigma_0$.

Возникает вопрос о физической сущности δ, если по Леонову – Панасюку $\delta = \delta_c$ величина раскрытия трещины любого размера. Вводя предположение, что развитие докритической трещины происходит при меньших величинах раскрытия δ, будем считать что δ – некоторая функция от δ_c, ($\delta \le \delta_c$), тогда можно описать докритический рост трещины.

Нами предлагаются два вида аналитических выражений, согласующихся с моделью Леонова – Панасюка – Дагдейла. Одно с фиксированной величиной раскрытия $\delta = \delta_c$ и другая с функциональной зависимостью $\delta = f(\delta_c)$. Точка пересечения (совпадения) этих двух графиков будет характеризовать критическую длину трещины, после которой происходит разрушение.

Как видно на рис. 2, развитие трещины можно разделить на четыре периода: 1 – упругая зона, в ней происходит упругая деформация и возникновение микротрещин; 2 – устойчивый рост трещины, длина трещины практически не растет, пока нагрузка не составит 0,40 σ_0; 3 – неустойчивый рост; 4 – разрушение.

Было рассмотрено взаимодействие (рис. 3) между критической силой *p*, величиной раскрытия трещины δ_c и длиной трещины *l*.

Основываясь на рис 3, можно сделать следующие выводы:

1) чем меньше δ_c, тем более высокую нагрузку в начале для преодоления межатомных сил нужно приложить для развития трещины;

2) развитие (увеличение) трещины в дальнейшем происходит при всё понижающейся нагрузке вследствие увеличения концентратора напряжений.

Такое предположение позволяет оценить влияние размера начальной трещины l_0 и её критическую длину l_c (рис. 4).

Первый график построен по модели Леонова – Панасюка – Дагдейла, второй – рассматривает докритический рост трещины, т.е. учитывает величину раскрытия δ. В третьем и четвертом графиках была изменена величина пластической зоны $l_c - l_0$ на ±20% при заданной начальной длине l_0 докритической трещины.

Таким образом, мы можем оценить влияние размера трещины на разрушение квазихрупких материалов.

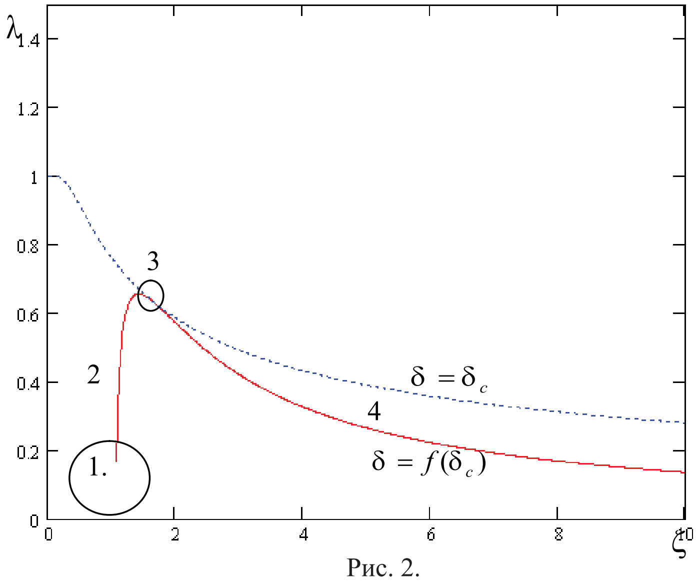

Рис. 2.

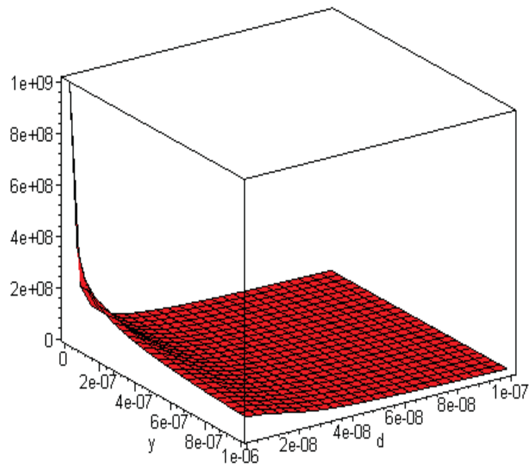

Рис. 3.

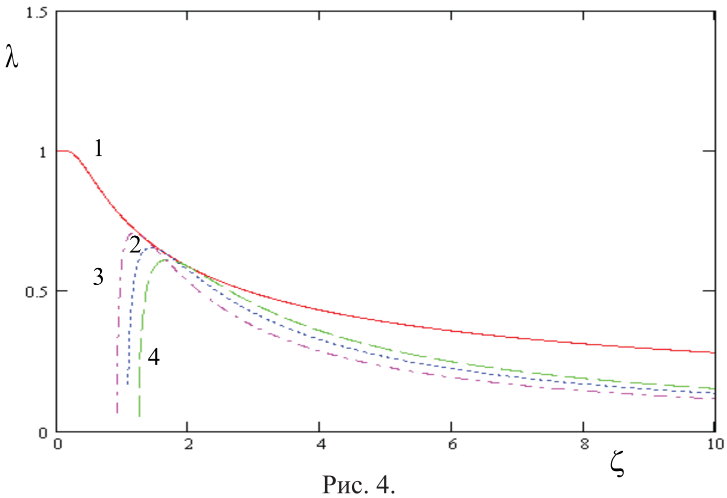

Рис. 4.

Литература

1. *Панасюк В.В.* Механика квазихрупкого разрушения материалов –Киев.: Наукова думка, 1991. – 412 с.
2. *Томсон Р.М., Зейтц Ф.* Строение твердых тел // Разрушение / Под ред. Г. Либовица. – М.: Мир, 1973. – Т. 1. – С. 15–111.
3. *Irwin G.R.* Fracture dynamics // Fracturning of Metals, ASM, Cleveland. – 1948. – P. 147–166.
4. *Orowan E.O.* Fundamentals of Brittle behavior of metals // Fatigue and Fracturning of Metals. – N.-Y.: Wiley, 1950. – P. 139–167.
5. *Леонов М.Я., Панасюк В.В.* Розвиток найдрібніших тріщин в твердому тілі // Прикл. механіка. – 1959. – Т. 5. – №4. – С. 391–401.
6. *Dugdal D.S.* Yielding of steel sheets containing slits // J. Mech. And Phys. Solids. – 1960. – V. 8. – №2. – P. 100–108.
7. *Пестриков В.М., Морозов Е.М.* Механика разрушения твердых тел: Курс лекций. – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с.
8. *Морозов Н.Ф.* Математическая теория трещин. – М.: Наука, 1984. – 254 с.