

При $v < 0,2$ более точные результаты дает квазистатическое приближение $N = N^0(t)$ (2.14) (кривая I' для $v = 0,2$).

Автор выражает благодарность Э. Б. Поляку за помощь в расчетах на ЭВМ.

Поступила 8 VII 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Костров Б. В. Неустановившееся распространение трещины продольного сдвига. — ПММ, 1966, т. 30, вып. 6.
2. Афанасьев Е. Ф., Черепанов Г. П. Автомодельная задача динамической теории упругости для полуплоскости. — В кн.: Успехи механики деформируемых сред. М., «Наука», 1975.
3. Broberg K. V. The propagation of a brittle crack. — «Arkiv Fysik», 1960, Bd 18, N 2.
4. Костров Б. В. Осесимметричная задача о распространении трещины нормального разрыва. — ПММ, 1964, т. 28, вып. 4.
5. Костров Б. В. Автомодельные задачи о распространении трещин касательного разрыва. — ПММ, 1964, т. 28, вып. 5.
6. Афанасьев Е. Ф. Некоторые однородные решения динамической теории упругости. — В кн.: Механика сплошной среды и родственные проблемы анализа (к 80-летию академика Н. И. Мусхелишвили). М., «Наука», 1972.
7. Афанасьев Е. Ф., Черепанов Г. П. Некоторые динамические проблемы теории упругости. — ПММ, 1973, т. 37, вып. 4.
8. Cherapanov G. P., Afanas'ev E. F. Some dynamic problems of the theory of elasticity. — «Intern. J. Engng Sci.», 1974, vol. 12.
9. Мартынюк П. А., Шер Е. Н. Некоторые автомодельные задачи о развитии звезды трещин в условиях антиплоской деформации. — ПМТФ, № 5, 1976.
10. Соболев С. Л. Некоторые вопросы теории распространения колебаний. — В кн.: Дифференциальные и интегральные уравнения математической физики. Л. — М., ОНТИ, 1957.
11. Шер Е. Н. Об автомодельном развитии изолированной трещины на примере антиплоской деформации. — В кн.: Вопросы механизма разрушения горных пород. Новосибирск, изд. Ин-та горного дела СО АН СССР, 1976.
12. Крылов В. И. Приближенное вычисление интегралов. М., Физматгиз, 1959.
13. Математический анализ. Вычисление элементарных функций. М., Физматгиз, 1963.

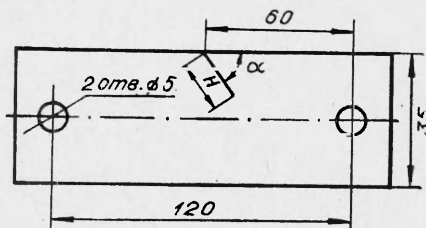
УДК 620.171.5:535.51

К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ТРЕЩИН В НЕОРИЕНТИРОВАННЫХ АМОРФНЫХ ПОЛИМЕРАХ

В. Н. Гульняшкин, С. И. Детистов

(Новокузнецк, Харьков)

Экспериментально исследуется начальное направление развития трещины в зависимости от отношения коэффициентов интенсивности напряжений $\lambda = k_2/k_1$ у ее вершины при больших λ . Исследования выполнены методом фотоупругости на фотоэластичиметре фирмы «МЕОРТА» (ЧССР) на образцах толщиной 4 мм из эпоксидной смолы ЭД-6 с малеиновым ангидридом в качестве отвердителя (фиг. 1). Трещины в образцах зарождались с помощью специального ножа, для чего образцы нагревались до температуры 83°C, при которой они размягчались и легко пробивались



Фиг. 1

ножом. Снятие внутренних напряжений осуществлялось отжигом при температуре 90°C в течение 30 ч с последующим медленным охлаждением со скоростью 5°C/ч. Создание поля напряжения в вершине трещины осуществлялось нагружением образца в растягивающем устройстве. В общем случае нагружения при напряженном состоянии поле напряжений в вершине трещины описывается следующими уравнениями [1]:

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \sigma_{xx} &= \frac{k_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3}{2} \theta \right) - \\
 &\quad - \frac{k_2}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \left(2 + \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3}{2} \theta \right); \\
 \sigma_{yy} &= \frac{k_1}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3}{2} \theta \right) + \frac{k_2}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3}{2} \theta; \\
 \tau_{xy} &= \frac{k_1}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3}{2} \theta + \frac{k_2}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3}{2} \theta \right).
 \end{aligned}$$

Различные отношения коэффициентов интенсивности получались путем варьирования угла наклона трещины α и ее длины H (их значения приведены в таблице). Отношение коэффициентов интенсивности определялось из уравнения [2]:

$$\lambda^2 - (4/3)\lambda \operatorname{ctg} 2\theta_m - 1/3 = 0,$$

где θ_m — угол между направлением трещины и лучом, соединяющим вершину трещины с максимально удаленной точкой на петле изохромы. Значение θ_m измерялось по ближайшей к вершине трещины визуальной различимой изохроме, при этом ошибка измерений не превышала 8%.

В работе [3] показано, что в полиметилметакрилате развитие трещины происходит под большими углами в направлении градиента максимальных касательных напряжений у ее вершины. Проведенные исследования показали, что λ не зависит от величины приложенных нагрузок, поэтому для получения информации о зависимости направления распространения трещины от отношения коэффициентов интенсивности доста-

α°	15	30	45	60
$H, \text{ мм}$	5; 10	5; 15	5; 10	2,5; 5; 10

точно фиксации картины изохром при любой нагрузке, не обязательно равной разрушающей.

На фиг. 2 (кривая 1) показана зависимость начального направления рас-

пространения трещины от отношения коэффициентов интенсивности. Показано, что при $\lambda > 1$ происходит резкое изменение угла поворота распространения трещины.

Интересно сопоставить полученные результаты с данными теоретического подхода к определению начального направления роста трещины. В настоящее время существует два подхода [4]:

1. Направление роста трещины определяется ориентацией площадки, на которой достигаются максимальные растягивающие напряжения. Выражение для угла ориентации площадки максимальных растягивающих напряжений получается из условия $\sigma'_\theta = 0$. Решение этого уравнения относительно угла θ_c имеет вид

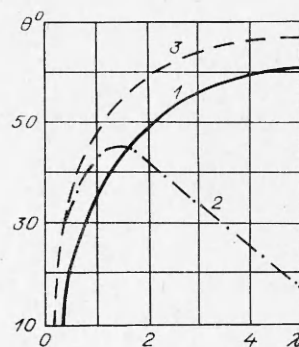
$$\theta_c = 2 \operatorname{arctg} \frac{1 - \sqrt{1 + 8\lambda^2}}{4\lambda}.$$

2. Предполагается, что для рассматриваемого тела угол θ_0 , под которым происходит начальный рост трещины, является корнем уравнения

$$\Gamma(\theta) = 2\gamma(\theta),$$

где $\Gamma(\theta)$ — вектор потока энергии через вершину трещины; $\gamma(\theta)$ — величина удельных энергозатрат при распространении трещины. Если предположить, что γ не зависит от θ и истории нагружения, выражение для начального направления роста трещины примет вид

$$\theta_0 = -\arctg [2\lambda/(1 + \lambda^2)].$$



Фиг. 2

Согласно указанным подходам, были рассчитаны углы роста трещины для экспериментально полученных значений λ (см. фиг. 2, кривые 2, 3). Сопоставление их с экспериментом показывает, что при $\lambda > 1$ силовой подход хорошо соответствует экспериментальным данным. Наиболее вероятное объяснение этому факту можно дать на основании кинетической теории прочности твердых тел [5]. При приложении нагрузки к образцу с трещиной вблизи ее вершины возникает поле напряжений, приближенно описываемое уравнениями (1). При росте нагрузки перед вершиной трещины на площадках с максимальными растягивающими напряжениями происходит потеря способности материала пластическому деформированию и образование узкой области, берега которой скрепляются не взаимодействующими между собой молекулярными нитями. При дальнейшем увеличении нагрузки происходит обрыв молекулярных нитей вблизи вершины трещины. Рост трещины, следовательно, происходит, согласно силовому подходу, в направлении ориентации площадок с максимальными растягивающими напряжениями.

Неприемлемость энергетического подхода в вышеизложенном виде объясняется образованием вблизи вершины трещины в неориентированном аморфном полимере области с ориентированной структурой. Поэтому предположение о независимости величины удельных энергозатрат от направления роста трещины несправедливо.

Поступила 20 I 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. Paris P. C., Sih G. C. Stress and analysis of cracks.— «ASTM Spec. Tech. Publ.», 1964, N 381, p. 30.
2. Smith D. G., Smith C. W. Photoelastic determination of mixed mode stress intensity factors.— «Engineering fracture mechanics», 1972, N 2.
3. Подгорный А. Н., Гузь И. С., Милешкин М. Б. Взаимодействие волн напряжений с замкнутой трещиной.— ФТТ, 1974, т. 16, вып. 6.
4. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. М., «Наука», 1974.
5. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М., «Наука», 1974.