

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЫСТРЫХ ТРЕЩИН В ОРГАНИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ

А. С. Еременко, С. А. Новиков, А. П. Погорелов
(Москва)

Изучению распространения быстрых трещин в материалах уделяется в настоящее время очень большое внимание [1—3].

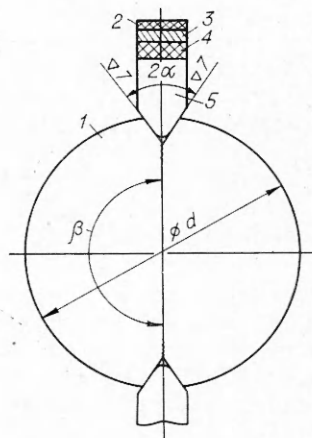
В данной работе для инициирования трещин применен взрывной метод нагружения, позволяющий легко изменять в широких пределах вводимую в образец энергию, а для изучения взаимодействия трещин синхронно инициировать их в нескольких точках.

Образцы изготавливались из оргстекла (по ГОСТ 17662-72) в виде плоских дисков диаметром $d = 120$ и 160 мм, толщина δ изменялась в интервале от 15 до 25 мм. Для инициирования трещин применялся метод расклинивания. В образцах были сделаны клиновидные вырезы, из вершины которых выходила начальная трещина. В вырезы вставлялись цилиндрические бойки с клиновидным заострением (фиг. 1, 1 — образец, 2 — слой ВВ, 3 — ударник, 4 — демпфер (пенопласт), 5 — боек). Углы раствора 2α клина и образца одинаковы и равны 15 и 30°.

В опытах исследовались образцы трех типов, параметры которых приведены в таблице. Расклинивание образца проводилось с использованием взрывного устройства (см. фиг. 1), описанного в [4]. Начальная скорость бойка варьировалась изменением количества ВВ. При изучении взаимодействия трещин проводилось их синхронное инициирование с помощью двух одинаковых бойков. Процесс распространения трещин фотографировался сверхскоростной камерой СФР-1М, которая работала в режиме лупы времени с частотой кадров до 675 000 кадр/с. Расшифровка кинограмм проводилась с использованием инструментального микроскопа БМИ-1.

Исследование распространения одиночной трещины. В этих опытах исследовались зависимости скорости распространения трещины от начальной скорости бойка и влияние на скорость трещины геометрических размеров образца и угла раствора клина. Получаемые в опытах кинограммы позволяли рассчитать скорость распространения трещины v_T в образце. При этом проводилось усреднение по времени на интервале 2 мкс и расстоянию на базе 0,5 мм. В опытах показано, что скорость распространения трещины в каждом опыте постоянна по длине образца и зависит от начальной скорости бойка v_0 .

На фиг. 2 приведены зависимости скорости распространения трещины от начальной скорости бойка для образцов различных типов (I — образец типа 1, II — образец типа 2, III — образец типа 3, IV — экспериментальные точки ветвления трещины). За исключением начального участка и



Фиг. 1

Тип образца	Диаметр d , мм	$2\alpha^\circ$
1	120	30
2	120	15
3	160	30

вплоть до ветвления одиночной трещины эти зависимости линейны. Скорость трещины при постоянной начальной скорости (энергии) бойка увеличивается с увеличением толщины образца. Уменьшение угла раствора клина также приводит к увеличению скорости распространения трещины. При уменьшении начальной скорости бойка зависимости скорости трещины

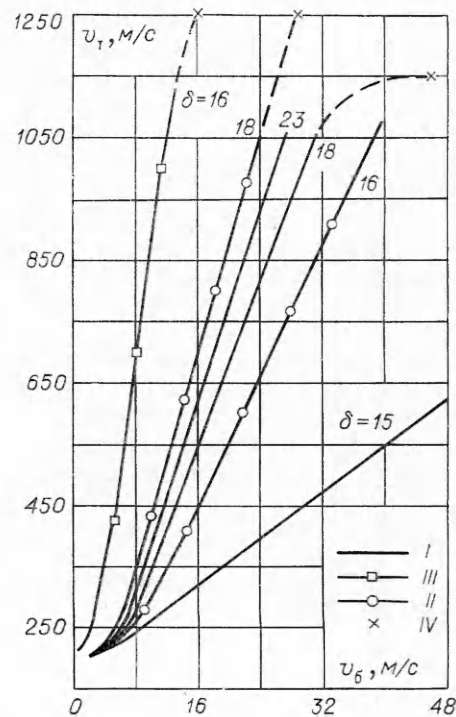
от скорости бойка для всех испытанных образцов асимптотически стремятся к одному значению $v_{\infty} = 200$ м/с. Максимальная скорость трещины, достигнутая в опытах при увеличении начальной скорости бойка, составила 1300 м/с, это соответствует скорости волны Рэлея c_R в материале образца.

Таким образом, результаты экспериментов указывают на существование верхнего и нижнего пределов для скорости стационарного распространения трещины в исследуемом материале.

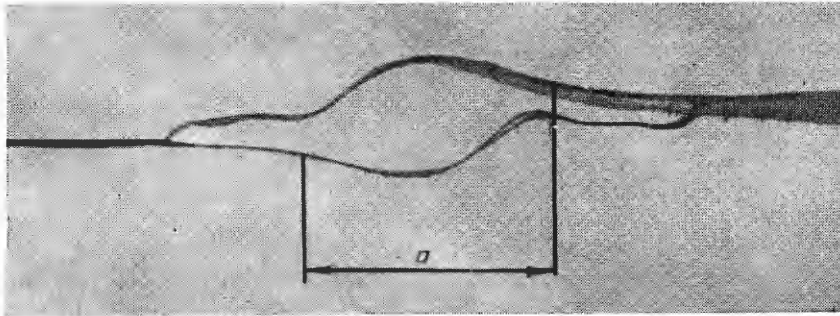
Известно, что обычно достижению предельной скорости препятствует ветвление трещины. Скорость ветвления, найденная многими исследователями (см., например, [5]), составляет $v_B = 0,6 c_2$, где c_2 — скорость поперечной упругой волны.

В наших опытах при достижении трещиной больших скоростей происходило заметное огрубление свободной поверхности, появлялись отдельные короткие ответвившиеся трещины, расположенные вдоль основной трещины, а собственно ветвление наступало при достижении трещиной определенной длины. Оценки показали, что местоположение точки ветвления одиночной трещины соответствует моменту ее встречи с упругой продольной волной, отраженной от края образца, при этом скорость трещины находилась в пределах $0,8c_2 < v_B < c_R$. Достижение трещиной таких больших скоростей, по-видимому, связано с тем, что в образце от действия клина возникают осевые сжимающие напряжения, которые оказывают стабилизирующее влияние на траекторию трещины [6].

Исследование взаимодействия трещин. В образце одновременно инициировались две трещины, распространяющиеся относительно друг друга под определенным углом β (см. фиг. 1) с одинаковой начальной скоростью, и фиксировалась картина их взаимодействия. Для случая встречных трещин ($\beta = 180^\circ$) отмечен следующий характер взаимодействия: трещины распространяются прямолинейно, пока расстояние между их концами не достигает некоторого значения a ; при достижении расстояния a трещины резко меняют свою траекторию, уклоняясь от прямолинейного распространения, как правило, кососимметрично (в разные стороны). При достижении фронтальной плоскости симметрии трещи-



Ф и г. 2

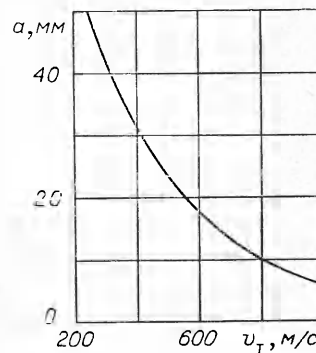


Ф и г. 3

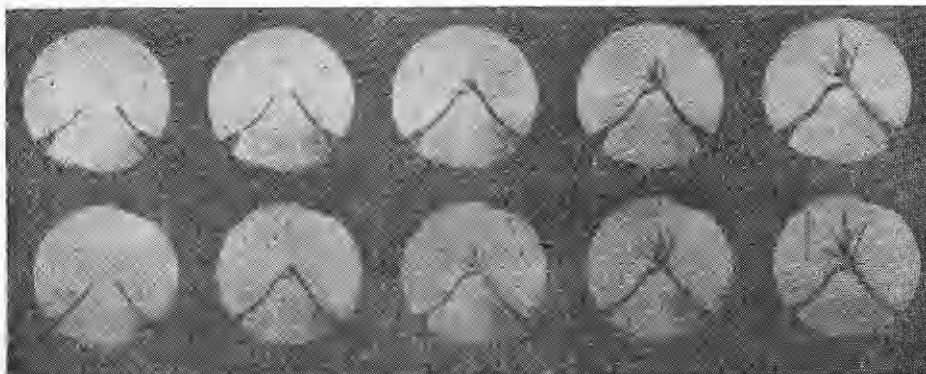
ны снова резко меняют свою траекторию, начинают сближаться и сливаются. В результате такого характера взаимодействия в образце выкалывается центральная часть в виде чечевицы (фиг. 3). Размер a характеризует зону сильного взаимодействия быстрых трещин и уменьшается при увеличении скорости трещин. Для образцов типа 3 зависимость $a = f(v)$ приведена на фиг. 4 ($\delta = 30$ мм). Аналогичная зона взаимодействия имеется и при встрече трещины с жесткой преградой. При больших скоростях взаимодействующих трещин образуются вторичные трещины во фронтальной плоскости симметрии.

На фиг. 5 приведен фрагмент кинограммы взаимодействия трещин с большой скоростью под острым углом (интервал между кадрами кинограммы $\mu_t = 5,2$ мкс/кадр). В результате столкновения произошло ветвление одной из трещин. Ответвившиеся трещины расположены симметрично относительно трещины, идущей во фронтальной плоскости.

При $\beta = 180^\circ$ вторичные трещины во фронтальной плоскости распространяются симметрично в обе стороны. Описанный характер взаимодействия быстрых трещин может быть ответственным за появление зоны



Ф и г. 4



Ф и г. 5

разрыхления при отколе и появление трещин, перпендикулярных поверхности откола, которые наблюдали многие авторы, исследовавшие это явление.

Поступила 3 VIII 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипов В. И., Маслов П. А. Экспериментальное исследование динамики роста хрупких трещин. — ПМТФ, 1977, № 3.
2. Kobayashi A. S., Emery A. F., Mall S. Dynamic-finite-element and dynamic-photoelastic analysis of two fracturing homalite-100 plates. — «Exp. Mech.», 1976, vol. 16, N 9.
3. Тараторин Б. И., Сахаров В. Н., Кузьмин В. С. Исследование задач механики разрушения поляризационно-оптическим методом. — В кн.: Поляризационно-оптический метод. М., «Наука», 1975.
4. Большаков А. П., Новиков С. А., Пылева В. П., Сеницын В. А., Филиппов К. И. О получении диаграмм растяжения образцов при взрывном нагружении. — ПМТФ, 1975, № 1.
5. Финкель В. М. Физические основы торможения разрушения. М., «Металлургия», 1977.
6. Benbow J. J., Roesler T. S. Experiments on controlled fractures. — «Proc. Phys. Soc.», 1957, vol. 70, pt 2, N 446.

УДК 539.375; 622.011.4; 622.023

О ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ КЕРНА ПРИ БУРЕНИИ В СЖАТОЙ СРЕДЕ

Э. А. Кошелев, П. А. Мартынюк, Э. Б. Поляк, Е. Н. Шер
(Новосибирск)

При бурении с отбором керна в сжатой горным давлением среде обычно наблюдается разрушение керна на отдельные диски [1]. Замечено, что толщина образовавшихся дисков связана с величиной действующего горного давления и увеличение давления вызывает уменьшение толщины откальваемых дисков керна. На этой экспериментально установленной связи основана одна из методик ВНИИ по определению удароопасных участков в шахтах [2].

В данной работе это явление исследуется теоретически в рамках модели идеально упругой среды, разрушающейся хрупким образом. Делаются следующие предположения:

а) толщина стенок бурового инструмента полагается равной нулю, как и расстояние между берегами цилиндрической полости выбуриваемой буром в породе;

б) воздействие бура на керн при бурении описывается распределенным касательным напряжением, закручивающим керн. Нормальные напряжения на берегах разреза предполагаются нулевыми;

в) на бесконечности действуют однородные сжимающие напряжения, перпендикулярные оси цилиндрической трещины.

При этих предположениях вопрос о разрушении керна в принятой модели сводится к анализу напряженного состояния вблизи кромки возникающего цилиндрического выреза, а точнее, к определению коэффициентов интенсивности поля напряжений K_I , K_{II} и K_{III} [3].

Рассматривается наиболее простая задача о равновесии в бесконечном изотропном упругом пространстве цилиндрического разреза радиуса a и длиной $2l$, ось которого расположена вдоль оси z , как изображено на фиг. 1. Ис-