УДК 539.3.534.231.1

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ КРАЕВОЙ ТРЕЩИНЫ НА ПРОХОЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

И. С. Гузь (Новокузнецк)

Методом динамической фотоупругости изучено прохождение рэлеевских волн через краевые трещины различной ориентации. Определены коэффициенты прохождения волны и показано формирование напряженного состояния в окрестности вершины трещины при различном ее положении. Показано, что изменение ориентации трещины приводит к изменению не только концентрации напряжений, но и механизма ее формирования. Максимальная концентрация напряжений возникает при расположении трещины под углом $\alpha = 150°$, минимальная — при $\alpha = 90°$.

Исследования влияния поверхностных волн на развитие краевых трещин расширяют представления о механизме разрушения твердых тел при динамическом нагружении. В работах [1, 2] показано подрастание трещины при выходе рэлеевской волны на ее вершину. В настоящей работе рассматривается влияние ориентации трещины на прохождение рэлеевских импульсов.

Исследования проводились на образцах из полиметилметакрилата с размерами $400 \times 250 \times 15$ *мм*^{3}, на которых легким ударом ножа образовывались трещины произвольной глубины и необходимой ориентации. Получение одинаковых размеров трещин достигалось фрезерованием поверхности образца.

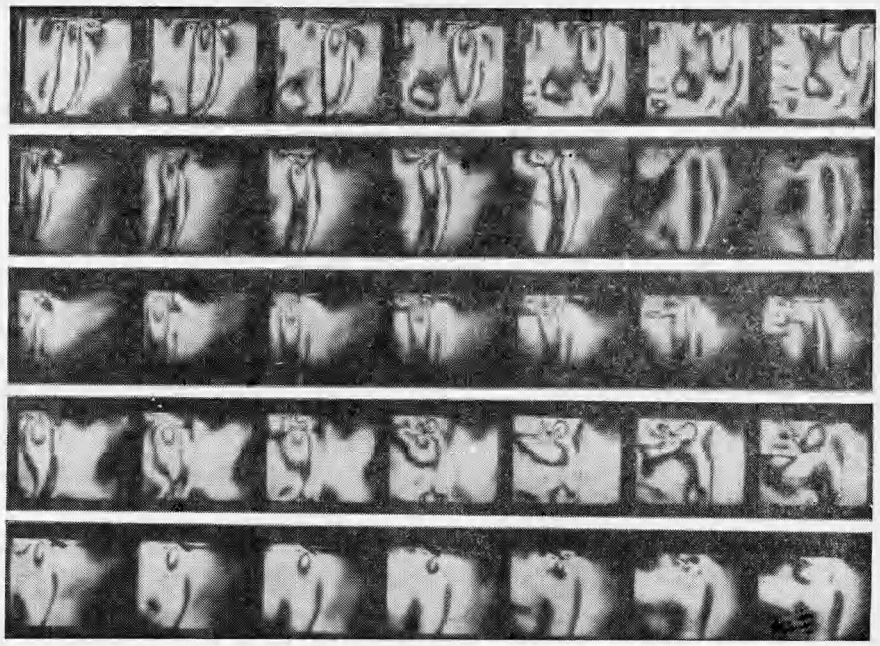
Эксперименты проводились на образцах с длиной трещины 5, 10 и 15 *мм*. Рэлеевские волны возбуждались точечным микровзрывом на торец образца. Вес микрозаряда 40 *мг* ТЭНа. Инициирование микровзрыва осуществлялось взрывающейся проволочкой. Через медную проволочку длиной 5 *мм* и диаметром 0.05 *мм* производился разряд конденсатора емкостью 2 *мкф*, заряженного до 5000 *в*. Управление взрывом осуществлялось путем пробоя разрядника, включенного последовательно с проволочкой, высоковольтным импульсом с пульта управления камеры СФР-1М. Это обеспечивало полную безопасность при установке микрозаряда. Съемка процесса распространения и взаимодействия волны с трещиной осуществлялась в поляризованном свете. Для поляризации использовался полярископ с круговой поляризацией, в качестве источника света — импульсная лампа ИСШ-100-3, обеспечивающая вспышку длительностью 300 *мксек*. Монохроматичность света достигалась с помощью интерференционного светофильтра с $\lambda = 460$ *ммк*.

Картина взаимодействия рэлеевских волн с трещиной различной ориентации показана на кинограммах, полученных при скорости киносъемки 10^6 кадр./*сек* (фиг. 1). Изучение их свидетельствует о том, что при прохождении волны через трещину имеют место следующие явления: дифракция волны на двугранных углах и вершине трещины, отражение волны, преобразование поверхностной волны в объемные волны, разделение рэлеевской волны на две поверхностные, следующие друг за другом.

Наблюдаемые явления во многом определяются ориентацией трещины и ее размерами. Если трещина расположена так, что с поверхностью полупространства она составляет угол $\alpha > 90°$, то прохождение начинается с дифракции волны на двугранном угле α. При этом волна частично отражается, а частично проходит на один из берегов трещины. Прошедшая волна, распространяясь к вершине, достигнув ее, дифрагирует, создавая концентрацию напряжений в ее окрестности. Явление дифракции на трещине сопровождается преобразованием поверхностной волны в объемные волны, это отчетливо видно на кинограммах по уходящим вглубь изохромам. После дифракции волны на вершине трещины происходит ее дифракция на двугранном угле, являющимся смежным с углом α.

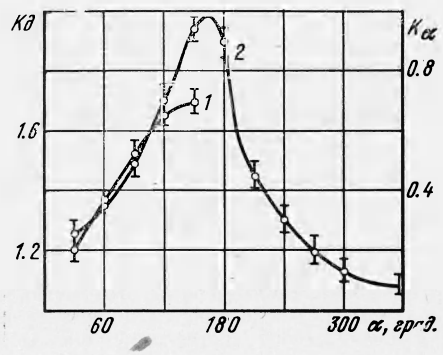
Если угол $\alpha < 90°$, то описанная выше последовательность прохождения волны нарушается. Вначале вершины трещины достигает основная розетка напряжений, а затем происходит дифракция приповерхностной розетки на двугранном угле α, вершине трещины и угле $180° - \alpha$. Временное разделение между этими процессами определяется углом α и размером трещины. Это вызывает разделение рэлеевской волны на две поверхностные, следующие друг за другом. Возбуждение первой поверхностной волны обусловлено изменением напряженного состояния в вершине трещины в результате воздействия основного возмущения.

На кинограммах видно влияние ориентации трещины на распределение и величину максимальных касательных напряжений в ее вершине. Они являются ответственными за дальнейшее поведение трещины, поскольку определяют ее величину и траекторию развития. Рост трещины всегда происходит вдоль градиента касательных напряжений. Если $\alpha = 90°$, то трещина подрастает под углом 80° к ее первоначальному положению, а при $\alpha = 150°$ — под углом 7—8°. Изменение параметров падающей волны сопровождается изменением напряженного состояния по величине и влияет лишь на скорость развития трещины.



Фиг. 1

На основании выполненных исследований можно утверждать о наличии корреляции между величиной упругой энергии, запасенной в вершине перед разрушением, и величиной приращения трещины. Установить строгую зависимость между этими параметрами на основании проведенных экспериментов, к сожалению, не удается, поскольку при изменении ориентации трещины существенно изменяется концентрация напряжений в ее вершине, поэтому воздействие волны не всегда вызывает развитие трещины. Следует заметить, что приращение трещины определяется также длительностью воздействия рэлеевской волны. Изменение концентрации напряжений в вершине трещины при изменении ее ориентации показано на фиг. 2: увеличение угла α от 30 до 100° сопровождается возрастанием динамических напряжений в вершине трещины по линейному закону.



Фиг. 2

Изменение величины упругой энергии в вершине во времени приведено ниже.

t, *мксек*		0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
E_i	90°	0	0.15	0.3	0.48	0.64	0.7	0.64	0.69	0.9	1	0.83
E_{max}	120°	—	—	0.05	0.2	0.4	0.55	0.7	0.67	—	—	—

Здесь E_i — запас упругой энергии — определялся по методике [1]. При ориентации трещины под углом $\alpha = 90°$ наблюдается два экстремума, которые обусловлены дифракцией на трещине соответственно основного и приповерхностного возмущения в рэлеевском импульсе. Этим также объясняется разделение рэлеевской волны на две поверхностные. Поля напряжений, соответствующие этим моментам времени, отличаются расположением градиента максимальных касательных напряжений, в результате происходит изменение траектории роста трещины. При некоторых положениях тре-

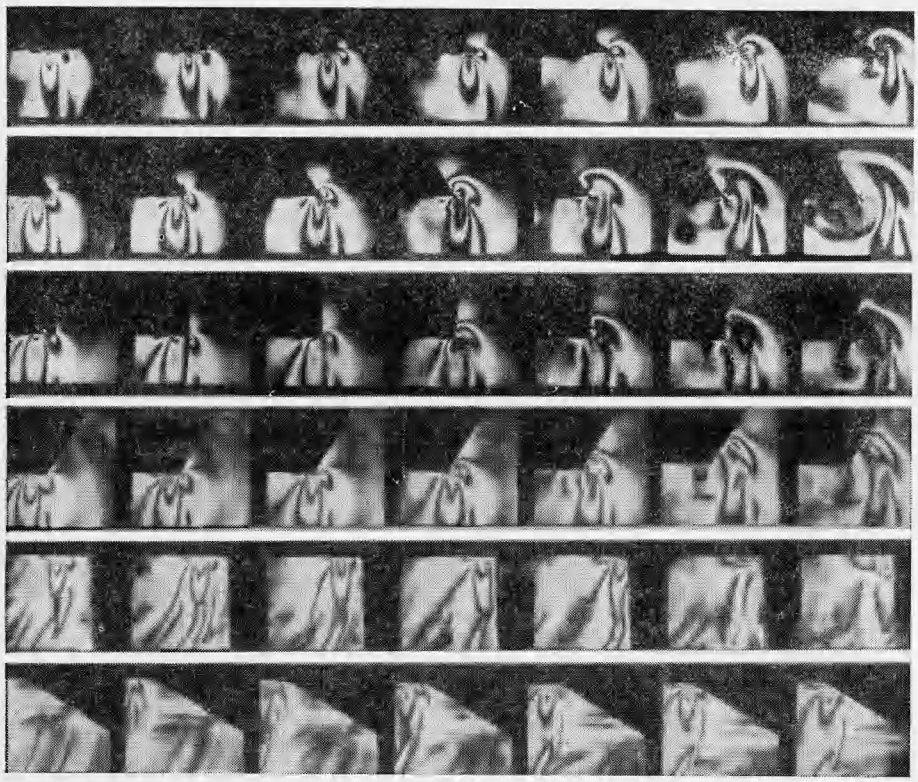
щины эти изменения настолько существенны, что направление развития ее меняется на противоположное. Обработка экспериментальных данных показывает, что не только ориентация, но и размер трещины оказывают влияние на прохождение волны. В таблице даны значения коэффициентов прохождения волны для различных значений l / λ с учетом ориентации трещины.

	$\alpha°$	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
$K_п$	$l/\lambda=1$	0.98	0.97	0.92	0.88	0.84	0.82	0.83	0.84	0.87	0.92	0.95
	$l/\lambda=2$	0.95	0.8	0.58	0.4	0.32	0.28	0.3	0.28	0.3	0.64	0.85
	$l/\lambda=3$	0.7	0.65	0.4	0.25	0.17	0.13	0.15	0.2	0.33	0.52	0.8
$K_п^*$	$l/\lambda=3$	0.71	0.66	0.42	0.27	0.18	0.14	0.17	0.21	0.34	0.54	0.82

$K_п^*$ — расчетное значение.

Максимальное прохождение волны наблюдается при расположении трещины под углом $\alpha = 150$ и 30°, минимальное — при $\alpha = 90°$. Возрастание и уменьшение угла α относительно $\alpha = 90°$ не являются эквивалентными: прохождение значительно уменьшается при $\alpha \to 180°$. Такая зависимость особенно сказывается при $l/\lambda > 1$, где l — длина трещины, λ — глубина максимума переносимой энергии в рэлеевском импульсе.

Коэффициенты прохождения волны могут быть найдены и другим путем. Считая, что проекция трещины на ось z как бы делит рэлеевский импульс на две части, одна из которых содержит энергию $E_z / E_п$, а вторая $1 - E_z / E_п$, где $E_п$ — полная энергия, запасенная в рэлеевском импульсе, а E_z — отсекаемая проекцией трещины, можно



Фиг. 3

определить коэффициент прохождения

$$K_{\text{п}} = \frac{E_z}{E_{\text{п}}} K_\alpha K_T K_{180-\alpha} + \frac{E_{2z} - E_z}{E_{\text{п}}} K_{180+\alpha} K_{180-\alpha} + \frac{E_{\text{п}} - E_{2z}}{E_{\text{п}}}$$

Здесь первое слагаемое учитывает прошедшую часть энергии приповерхностного возмущения, второе получено из предположения, что дифрагирует не вся энергия нижней части рэлеевского импульса, а лишь та, которая успевает вовлечься в процесс дифракции, равная $E_{2z} - E_z$. Остальная часть (третье слагаемое) проходит, не взаимодействуя с трещиной.

Результаты определения коэффициентов прохождения волны, полученные по такой полуэмпирической зависимости для случая $l/\lambda = 3$, представлены в таблице. Наблюдается удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных значений $K_{\text{п}}$.

Для нахождения коэффициентов прохождения волны по приведенной методике необходимо знать коэффициенты прохождения ее через двугранные углы K_α и вершину трещины K_T. Были проведены дополнительные экспериментальные исследования. На фиг. 3 представлены кинограммы прохождения волны через различные углы (скорость съемки — 10^6 кадр./сек), значения коэффициентов показаны на фиг. 2, а для трещины значения K_T приведены ниже

l/λ	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
K_T	0.98	0.93	0.85	0.7	0.4	0.15	0.05	0.01

Поступила 17 X 1972

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гузь И. С., Финкель В. М., Червов Г. А.* Некоторые результаты исследования взаимодействия рэлеевских импульсов с краевыми трещинами. ПМТФ, 1972, № 6.
2. *Финкель В. М., Гузь И. С.* Управление трещинами с помощью упругих волн. Докл. АН СССР, 1972, т. 204, № 5.

УДК 537.523.5

ЗОНДОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КАНАЛЕ МАГНИТНОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ДУГИ

А. И. Бугрова, В. С. Версоцкий, М. А. Красненков

(Москва)

Приведены распределения температуры и концентрации электронов в канале магнитной кольцевой дуги. Измерения выполнены с помощью электрической схемы, разработанной для случая больших зондовых токов.

Магнитная кольцевая дуга описана в работах [1, 2]. Такие дуги находят применение в экспериментальной практике, но происходящие в них явления мало изучены: не исследованы процессы в канале дуги, неизвестны распределения температуры и концентрации электронов вблизи электродов. Эти параметры необходимы для создания физической модели дугового разряда данной геометрии.

В экспериментальной установке дуга горит между полым анодом и катодом. Вольфрамовый анод имел внутренний диаметр 18 *мм*. Катод выполнен в виде петли из вольфрамового провода диаметром 1.5 *мм*. Катод расположен в 5 *мм* от среза анода. Магнитное поле создавалось соленоидом, расположенным соосно с коаксиальными электродами. Рабочий газ подавался через прорези в аноде перпендикулярно к его поверхности в пространство между анодом и катодом, т. е. в канал дуги. Электродная система помещалась в вакуумную камеру, которая откачивалась насосом Н-8Т.

Поджиг дуги осуществлялся предварительным подогревом катода при наличии анодного напряжения. После поджига дуги накал катода отключался и его дальнейший нагрев осуществлялся тепловым потоком из разряда. В исследуемых режимах разряд горел азимутально (по φ) однородно с выносом плазмы за пределы электродной системы.