

И. С. ГУЗЬ

## О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН С КРАЕВЫМИ ТРЕЩИНАМИ

(Представлено академиком Ю. Н. Работновым 10 VII 1972)

Поведение твердых тел при динамическом нагружении в значительной мере определяется взаимодействием волн напряжений с дефектами материала. Однократные и многократные импульсные воздействия при определенных условиях сопровождаются возбуждением в среде не только объемных, но и поверхностных волн (волн Рэлея), характерной особенностью которых является локализация переносимой энергии в тонком поверхностном слое. Имеющиеся исследования о возбуждении поверхностных волн (<sup>1-3</sup>) предполагают, что поверхность, ограничивающая рассматриваемое тело является сплошной. Вместе с тем большой интерес представляют задачи о возбуждении и распространении рэлеевских волн с учетом возможных нарушений сплошности поверхности, поскольку разрушение твердых тел преимущественно начинается с поверхности. В этой связи чрезвычайно важно знать, как влияют поверхностные волны на развитие краевых трещин.

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению взаимодействия рэлеевских волн со стационарной краевой трещиной различной глубины. Исследования выполнены с помощью поляризационно-оптического метода в сочетании со скоростной киносъемкой на образцах из плексигласа размером  $400 \times 300 \times 20$  мм<sup>3</sup>. Возбуждение рэлеевских волн осуществлялось путем точечного микровзрыва на торец образца. Микрозаряд устанавливался на расстоянии 150 мм от трещины. Такое расстояние выбиралось из условия, что к моменту выхода рэлеевской волны к трещине произойдет ее разделение с поперечной волной. Трещина зарождалась легким ударом ножа на глубину 40 мм по нормали к плоскости распространения волны. Изменение глубины осуществлялось через 5 мм срезом поверхности образца. Интенсивность рэлеевской волны выбиралась такой, чтобы ее воздействие не вызывало роста трещины. Кинофильмирование осуществлялось синхронно с моментом выхода поверхностной волны в исследуемую область. Функциональная схема, поясняющая методику исследования, опубликована в работе (<sup>4</sup>).

Кинограммы взаимодействия рэлеевской волны с трещиной, полученные при скорости съемки  $10^6$  кадров в секунду, представлены на рис. 1. Они показывают, что в результате точечного взрыва вдоль полупространства распространяются три волны: продольная, поперечная и рэлеевская. Рэлеевская волна, являясь неоднородной (смещение частиц в ее фронте происходит по эллипсу), содержит две розетки напряжений. Согласно (<sup>5</sup>), розетка, расположенная в непосредственной близости к поверхности, обусловлена деформацией вдоль, а другая — деформацией по нормали к полупространству. Это обстоятельство оказывает существенное влияние на формирование поля напряжений у вершины трещины. При подходе к трещине волна частично дифрагирует и частично отражается. Вначале дифракция происходит на двугранном угле, образованном плоскостью трещины и полупространства. Заметное влияние на прохождение волны оказывает глубина трещины.



Рис. 1. Кинограммы взаимодействия рэлеевской волны с трещинами различной длины:  $a - l/\lambda = 1,3$ ;  $б - l/\lambda = 2,6$ ;  $в - l/\lambda = 3,9$ ;  $г - l/\lambda = 5,2$

На рис. 2 показана зависимость коэффициента дифракции от длины трещины. Значение  $K_{тр}$  определялось как отношение величины упругой энергии, прошедшей через трещину, к ее запасу в волне до взаимодействия с трещиной. Величина энергии определялась по методике, описанной в работе (4). Из приведенной зависимости видно, что трещина, длиной менее 6 мм, оказывает слабое влияние на прохождение волны; при длине больше этого значения наблюдается резкое уменьшение коэффициента дифракции. Это объясняется тем, что в рэлеевской волне максимум переносимой энергии находится на некоторой глубине, которая в нашем случае составляла 6—7 мм. Поскольку значение глубины максимума переносимой энергии определяется параметрами рэлеевской волны, то для удобства сравнения волн с разными параметрами уместно пользоваться отношением  $l/\lambda$ , где  $l$  — длина трещины,  $\lambda$  — глубина максимума энергии в рэлеевской волне.

Дальнейший анализ кинограмм показывает, что при  $l/\lambda < 1$  с трещиной взаимодействует лишь приповерхностная розетка напряжений, основное возмущение легко дифрагирует через ее вершину. При  $l/\lambda > 1$  наблюдается дифракция как приповерхностной розетки, так и основного возмущения. Характер распределения поля напряжений у вершины трещины изменяется.

При некоторых размерах трещины  $l > 18$  мм наблюдается разделение рэлеевской волны на две поверхностные. Это обусловлено тем, что приповерхностная розетка напряжений, дифрагировав на двугранном угле и распространяясь по берегу трещины, отстает от основного возмущения, которое сразу проходит через вершину трещины. Характерно, что максимальная концентрация в окрестности вершины трещины возникает от приповерхностного возмущения, следовательно, оно содержит наиболее опасную компоненту деформации. Представляло интерес найти распределение напряжений в рэлеевском импульсе вдоль полупространства. Для этого производилась запись формы нагрузки (рис. 3), с помощью которой возбуждались рэлеевские волны. Расчеты производились на основе работы (2). Расчетное распределение напряжений в рэлеевской волне вдоль полупространства показано на рис. 4. Из графика видно, что при рас-

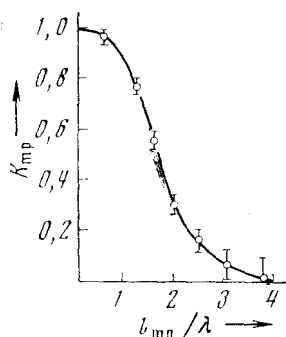


Рис. 2. Зависимость коэффициента прохождения поверхностной волны от размера трещины

пространении рэлеевской волны вдоль полупространства возникают растягивающие напряжения.

Таким образом, если на поверхности распространения рэлеевской волны имеет место нарушение сплошности, которое не оказывает заметного влияния на прохождение волны, то распространение волны своим распределением напряжений вдоль поверхности будет способствовать их развитию. При размерах трещины  $l/\lambda \gg 1$  в результате распространения рэлеевской волны по одному из берегов трещины в ее вершине создаются растягивающие напряжения, под действием которых возможен рост трещины по нормали к ее первоначальному положению.

Для проверки этого предположения проводились эксперименты по взаимодействию мощных рэлеевских волн со стационарной трещиной, которые их подтвердили. В результате выхода приповерхностной розетки напряжений на вершину трещины происходит формирование мощного напряженного состояния в ее окрестности, под действием которого развивается трещина под углом  $75-80^\circ$  к первоначальному положению со стороны распространения рэлеевской волны.

Для более полного понимания наблюдаемых физических явлений важно произвести расшифровку напряженного состояния в рэлеевской волне. В таких случаях часто пользуются методом численного интегрирования (7), определяя предварительно распределение изохром и изоклин. Метод удобен при решении статических задач. В случае динамических задач уравнение равновесия дополняется, что существенно усложняет решение задачи.

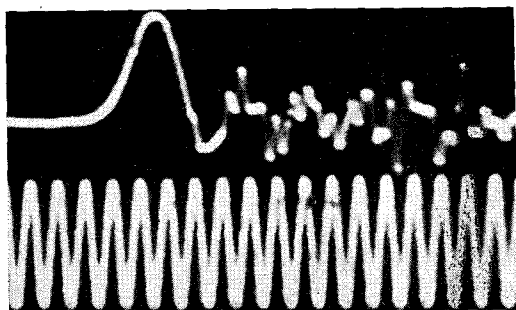


Рис. 3. Осциллограмма импульса давления при  $\nu = 200$  кг/с

Частично рассмотреть эту задачу, т. е. найти лишь ориентацию главных площадок в приповерхностной и основной розетках, нам удалось следующим образом.

Учитывая, что рэлеевская волна слабо затухает с расстоянием, а характер распределения напряжений в волне сохраняется при ее движении, было решено рассматривать задачу как квазистатическую. Регистрация распределения изохром и изоклин производилась при распространении волны. Для этого в кинематографируемую область устанавливались четыре плоских и один круговой поляризаторы вдоль полупространства. Плоские поляризаторы устанавливались так, чтобы регистрировались изоклины с параметрами 0,15, 30 и 45°. Изучение полученных кинограмм показало, что расположение изоклин во время движения волны не изменяется и не зависит от ее интенсивности. Это можно легко показать и аналитически. Согласно (6), угол  $\theta_1$  — параметр изоклины — определяется как

$$\theta_1 = \arctg \frac{2\tau_{xz}}{\sigma_x - \sigma_z}.$$

Значения для  $\sigma_x$ ,  $\sigma_z$  и  $\tau_{xz}$  в случае единичного импульса получены в работе (2). Учитывая результаты (2), можно показать, что для произвольной амплитуды волны

$$\theta_{1A} = \arctg \frac{2A\tau_{xz}}{A(\sigma_x - \sigma_z)} = \theta_1.$$

Определение угла наклона главных площадок показало, что в приповерхностной розетке он близок к 0, а в основной составляет 45°. Этим можно объяснить различный характер формирования поля напряжений в вершине трещины.

Сибирский металлургический институт  
им. С. Орджоникидзе  
Новокузнецк

Поступило  
21 VI 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Г. И. Петрашень, Г. И. Марчук, К. И. Огурцов, Уч. зап. Ленингр. ун-в., № 135 (1950). <sup>2</sup> Д. Н. Климова, К. И. Огурцов, Сборн. Исслед. по упругости и пластичности, № 5, Л., 1966. <sup>3</sup> В. С. Никофоровский, Е. И. Шемякин, Журн. прикл. мех. и техн. физ., № 3, 89 (1962). <sup>4</sup> В. М. Финкель, И. С. Гузь и др., Сборн. Высокоскоростная деформация, «Наука», 1971. <sup>5</sup> И. С. Гузь, Кандидатская диссертация, Сиб. металлургич. инст., Новокузнецк, 1971. <sup>6</sup> М. М. Филоненко-Бородич, Теория упругости, М., 1959. <sup>7</sup> А. Дюрелли, У. Райли, Введение в фотомеханику, М., 1970.

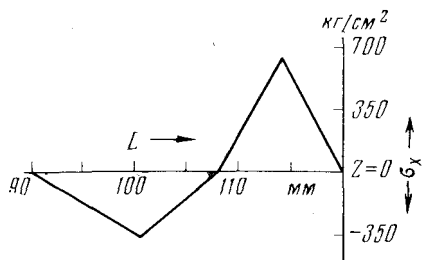


Рис. 4. Распределение  $\sigma_x$  на поверхности полупространства в рэлеевском импульсе,  $t = 100$  мсек.,  $L$  — расстояние от места взрыва