

Л. ВАНИЕК, К. КЛИМА, Я. КОЗАК, О. ШАМИНА

ИЗУЧЕНИЕ ШЛИРЕН-МЕТОДОМ УПРУГИХ ВОЛН, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ОБЛАСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ

(Представлено академиком М. А. Садовским 31 VII 1972)

1. Кинематические и динамические параметры сейсмических волн, распространяющихся в напряженной среде, чувствительны к величине напряжения и могут поэтому служить индикатором приближающегося разрушения⁽¹⁾. В связи с этим в последнее время начали разрабатываться методы прогнозирования сильных землетрясений, основанные на просвечивании предполагаемой области подготовки землетрясения сейсмическими волнами, вызванными слабыми землетрясениями или взрывами^(2, 4).

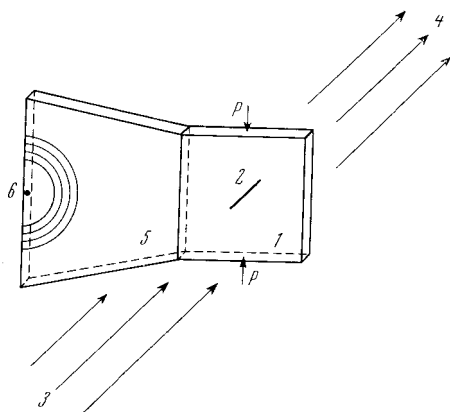


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 — модель, 2 — щель, 3 — параллельные лучи, выходящие из коллиматора шлирен-прибора, 4 — лучи, идущие к фокусирующему устройству шлирен-прибора, 5 — волноводная пластина, 6 — источник упругих волн, P — давление

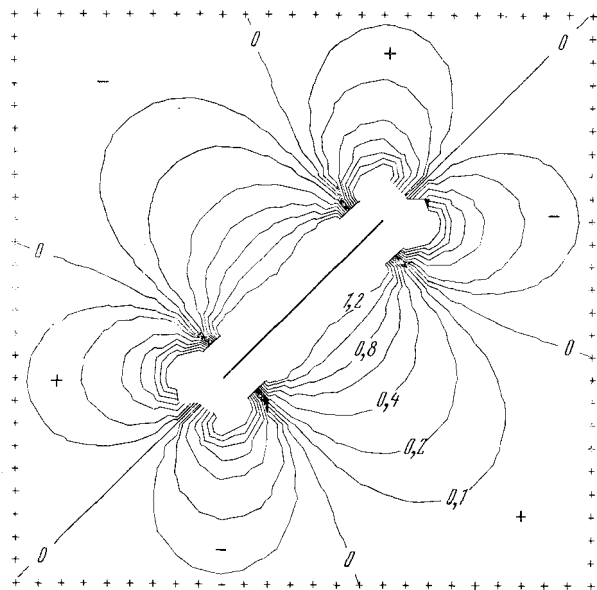
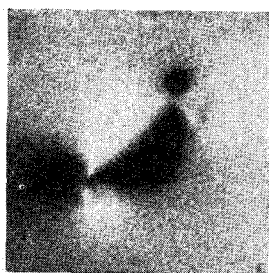
Для правильной интерпретации наблюдаемых результатов целесообразно пользоваться существующими методами сейсмического моделирования. Ультразвуковые измерения на двух- и трехмерных моделях, содержащих дефекты, которые вызывают концентрацию напряжения^(5, 6), проводились до сих пор на твердых непрозрачных средах. Методически новый путь для изучения волновых явлений в напряженной среде представляет собой модельные исследования с помощью шлирен-метода. Этот метод в течение последних лет разрабатывался для количественного анализа динамических свойств полей продольных волн^(7, 8). В нашей работе приведен пример модельных измерений шлирен-методом, которые позволяют изучать детальную структуру волнового поля внутри прозрачных моделей.

2. Основная схема проведенных опытов показана на рис. 1. Сейсмическая модель представляет собой квадратную пластинку из плексигласа 1 с узкой диагональной щелью 2. Размеры пластинки $50 \times 50 \times 4$ мм³ или $80 \times 80 \times 8$ мм³, длина щели 15 мм или 30 мм. Пластинки подвергались одноосному сжатию винтовым прессом в диапазоне давлений $P = 0-200$ кг/см²; давление измерялось механическим динамометром. Области объемных деформаций в пластинке наблюдались с помощью шлирен-прибора ИАБ-451 3, 4, работающего с пучком параллельных лучей. Детонирующая проволочка 6 служила источником упругих волн в волноводной пластинке 5. Акустический контакт между пластинами 1 и 5 был осуществлен высоковязким маслом.

Статические шпирен-картины фотографировались обыкновенным фотоаппаратом; для исследования упругих волн в модели была использована скоростная камера СФР-2. Все детали, касающиеся аппаратуры и методики шпирен-измерений, подробно описаны в (7, 8).

3. При изучении волновых явлений в напряженной среде надо прежде всего определить зависимость шпирен-изображения объемных деформаций

Рис. 2. Распределение объемных деформаций в нагруженной модели. Слева — шпирен-картина модели под нагрузкой 70 кг/см², справа — теоретически рассчитанное поле объемных деформаций в модели. Изолинии $\partial P / \partial x$ в нормализованных значениях



испытуемой модели от величины давления. Серия проведенных опытов с пластинкой плексигласа позволила определить эту зависимость с высокой степенью точности. На рис. 2а представлен шпирен-кадр поля деформаций, вызванных дефектом (щелью) для определенного давления. В проведенных опытах шпирен-прибор работал с непрозрачным линейным шпирен-пожом. Поэтому полученные картины характеризуют только одну составляющую объемных деформаций образца, т. е. ту, которая перпендикулярна воздействию давлению.

Результаты опытов сопоставлялись с теоретическими расчетами поля деформаций для изучаемого типа дефекта. Задача решена Б. В. Костровым для двумерной, неограниченной, идеально упругой пластины, в которой щель длины l ориентирована под углом 45° к направлению приложения нагрузки. Начало координат находится в середине щели, ось Y совпадает с направлением P .

Градиент напряжения в направлении оси X выражается формулой

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{2s - \Delta}{\Delta^3} \sqrt{s + \Delta} \operatorname{sgn}(x - y), \quad s = l^2 - 2xy, \quad \Delta = \sqrt{[s^2 + (x^2 + y^2)^2]}.$$

Все расчеты и графическое изображение изолиний $\partial P / \partial x$ сделаны на ЭВМ Минск-22, результат показан на рис. 2б. Величины соответствующих составляющих деформаций были вычислены для всех точек квадратной сетки с шагом 0,2 длины щели в диапазоне координат от $-2,5$ до $+2,5$.

Совпадение экспериментальных и теоретических результатов подтвердило правильность разработанной методики измерений и показало новые возможности шпирен-метода для изучения полей деформаций в напряженной среде.

4. Прохождение упругих волн через области неоднородного распределения напряжения изучалось в описанной выше установке с помощью высо-

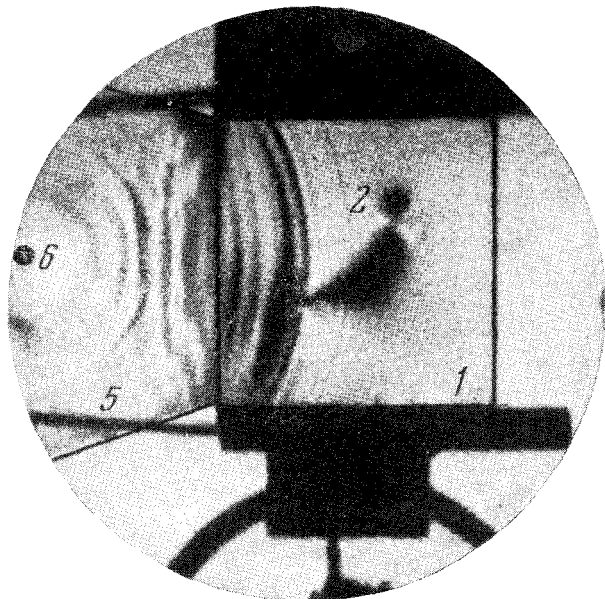


Рис. 3. Шлиреп-кадр — запись скоростной фотокамерой, иллюстрирующей характер волнового поля в нагруженной плексигласовой модели с диагональной щелью. Обозначения соответствуют рис. 1

коскоростной фотографии. На рис. 3 приведен один из 30 кадров скоростной фотосъемки при скорости $2 \cdot 10^6$ кадров в 1 сек. Хорошо видны прямые упругие волны, проходящие через образец 1. Пользуясь волноводной пластиной 5, можно наблюдать чистое волновое поле в модели.

Прохождение упругих волн через ненагруженную и нагруженную модель показывает рис. 4 (промежуток времени между отдельными кадрами 4 мсек, скорость продольных волн в модели 2,65 км/сек, длина проходящей волны 8,0 мм). Очевидны изменения динамических свойств прямой волны, проходящей через нагруженную модель, в то время как распространяющиеся через ненагруженную модель практически не изменяются (рис. 4, см. вкл. к стр. 321).

Серия аналогичных опытов, проведенных при различных нагрузках, позволяет заключить, что наибольшие изменения сейсмических волн в результате прохождения через области повышенного напряжения будут заключаться в изменении их динамических свойств.

5. Предложенную работу надо считать первым этапом, целью которого была прежде всего разработка методики измерений. Предполагается, что в будущем в сотрудничестве между Институтом физики Земли АН СССР и Геофизическим институтом АН ЧССР будут решены более конкретные задачи с целью подробного кинематического и динамического анализа исследуемых волновых полей.

Авторы благодарны акад. М. А. Садовскому за поддержку работы и за помощь в ее развитии.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва
Геофизический институт
Академии наук ЧССР
Прага

Поступило
9 VI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. В. Ризниченко, О. И. Силаева и др., Тр. Геофиз. инст. АН СССР, № 34 (1956). ² А. М. Кондратенко, И. Я. Нерсесов, Тр. Инст. физики Земли АН СССР, № 25 (192), 130 (1962). ³ J. Hasegawa, S. Jizuka, Bull. Geol. Surv. Japan, 20, № 4 (1969). ⁴ О. Г. Шамина, А. А. Павлов, Ю. Ф. Коппичев, Физика Земли, № 8 (1973). ⁵ О. G. Shamina, Zs. Geophys., 38, № 3, 111 (1972). ⁶ J. Kozak, Trav. Inst. Géophys. Tchécosl. Acad. Sci., 19, № 354 (1971). ⁷ J. Kozak, L. Waniek, Zs. Geophys., 36, № 2, 175 (1970).