

2. Канель Г. И. Применение манганиновых датчиков для измерения давления ударного сжатия конденсированных сред. Препринт, Ин-т хим. физики АН СССР, Черногловка, 1973.
3. Степанов Г. В. О методике регистрации упругоэластических волн напряжений в твердых телах с помощью диэлектрического датчика.— «Проблемы прочности», 1972, № 10.
4. Иванов А. Г., Новиков С. А. Метод емкостного датчика для регистрации мгновенной скорости движущейся поверхности.— «Приборы и техника эксперимента», 1963, № 1.
5. Альтшулер Л. В. Применение ударных волн в физике высоких давлений.— «Усп. физ. наук», 1965, т. 85, вып. 2.
6. Астанин В. В., Степанов Г. В. Пневмопороховой копер для исследования поведения конструкционных материалов в плоской волне нагрузки.— «Проблемы прочности», 1973, № 12.
7. Христофоров Б. Д., Голлер Е. Э., Сидорин А. Я., Лившиц Л. Д. Манганиновый датчик для измерения давления ударных волн в твердом теле.— ФГВ, 1971, № 4.
8. Koshiro O. Transient response of bonded strain gages.— «Exp. Mech.», 1966, vol. 9, N 6, p. 463.
9. Дремин А. И., Канель Г. И. Зависимость электросопротивления манганина МНМц 3—12 и константана МНМц 40—1,5 от давления при ударном сжатии.— ФГВ, 1972, № 1.

УДК 539.63

**МЕТОД НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИИ
СКОРОСТИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ
В ПОРИСТЫХ МЕТАЛЛАХ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ЗВУКА
В РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Ю. Л. Алексеев, В. П. Ратников

(Челябинск)

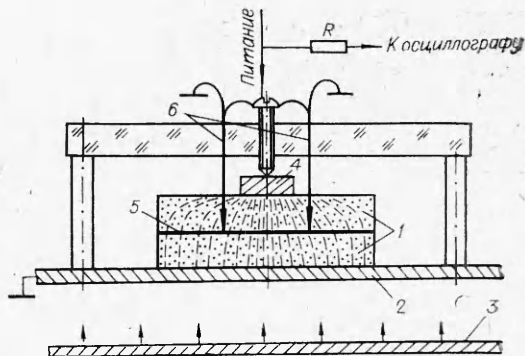
Для определения механических параметров ударной волны при исследовании различных материалов в настоящее время регистрируют моменты прохождения волной заданных точек и определяют среднюю скорость ударной волны между этими точками. При исследовании ударной сжимаемости пористых металлов гораздо больше информации можно получить, если регистрировать положение ударной волны непрерывно.

Исследуемый пористый образец, отпрессованный из металлического порошка, состоит из зерен металла, в несжатом состоянии имеет конечное, неравное нулю сопротивление, складывающееся из переходных сопротивлений между зернами. При распространении ударной волны по такому образцу уменьшается толщина его несжатой части, соответственно изменяется его сопротивление. Пропуская постоянный по величине ток в направлении, перпендикулярном фронту волны, и регистрируя с помощью осциллографа падение напряжения на образце, можно получать в (x, t) -координатах непрерывную запись, представляющую траекторию движения фронта ударной волны по образцу.

На фиг. 1 показана схема постановки опыта. Пористый образец 1 помещен на металлический экран 2, являющийся одновременно электродом. Ударная волна создается ударом летящей пластины 3. На торцевой поверхности пористого образца расположен второй электрод 4, края ко-

того не должны выступать в зону, подверженную действию боковой разгрузки.

Геометрия электрического поля в образце в общем случае не будет одномерной. С помощью электролитической модели определено положение линий тока. На фиг. 1 они показаны штрихом. Величина сопротивления образца определяется в основном сопротивлением в его центральной части (под электродом 4). В эксперименте, чтобы не вносить поправку на ту часть



Ф и г. 1

поля, где линии тока направлены, образец выполнялся из двух частей: основной, расположенной на экране, в которой производится измерение, и следующей — вспомогательной. Для отделения записи движения ударной волны по основной части от записи по вспомогательной на их границу нанесен слой другого пористого металла 5 с меньшим удельным сопротивлением (например, на медь—порошок никеля), либо поставлены электрические контакты 6 из проволоки ПЭВ-2 $\varnothing 0,2$ мм, обычные для электроконтактной методики [1]. Контакты соединены с электродами. При выходе ударной волны на границу между составными частями образца в первом случае изменяется плавность записи, появляется горизонтальный участок, а во втором — пробой контактов и срыв плавной записи. Типичные осциллограммы приведены на фиг. 2.

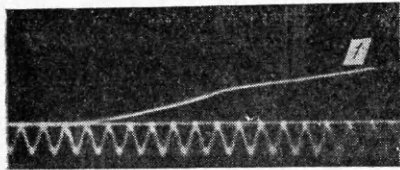
Когда образцы однородны по плотности, а скорость ударной волны постоянна, то в системе (x, t) -координат траектория движения фронта ударной волны по образцу прямолинейна. Если взять достаточно тонкий ударник, то волна разгрузки, распространяющаяся с тыльной стороны ударника со скоростью звука, догонит фронт ударной волны в пористом образце. В точке догона нарушится прямолинейность записи траектории движения фронта. На фиг. 3 показана осциллограмма опыта, где волна разгрузки догоняет фронт ударной волны в точке B , после чего скорость ударной волны начинает уменьшаться. По координатам полученной точки несложно рассчитать скорость звука в пористом металле по методу догоняющей разгрузки [2].

Координаты точек достижения фронта ударной волны волной разрежения в пористом металле можно использовать для расчета скорости звука в материале экрана в условиях ударного сжатия.

Рассмотрим (x, t) -диаграмму на фиг. 4. В исследуемом экране создается ударная волна D_2 при ударе пластины. Первая характеристика $c_2 + u_2$ волны разрежения, идущей с тыльной поверхности ударника, догнала бы ударную волну D_2 при достаточно большой толщине экрана в



Ф и г. 2



Ф и г. 3

точке A . Знание координат точки A позволяет рассчитать скорость звука c_2 в материале экрана. Обычно координаты этой точки определяют измерением скорости свободной поверхности W в зависимости от толщины исследуемого материала электроконтактным методом в большой серии опытов [2].

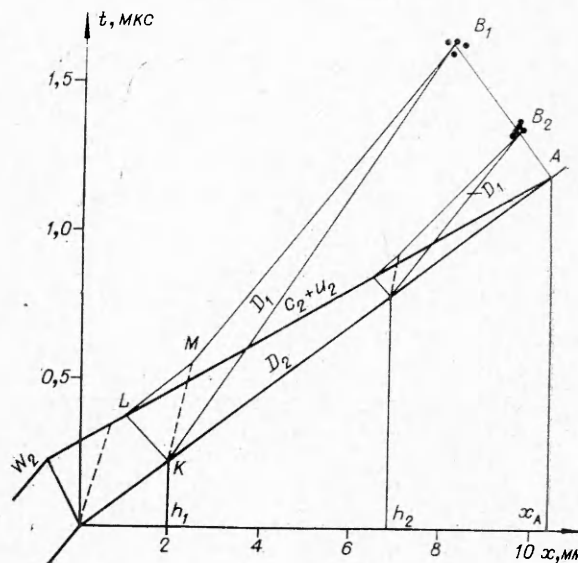
Покажем, как решается та же задача с помощью пористого металла. Ограничим толщину экрана некоторой величиной $h < x_A$ и поместим на его поверхность образец из пористого металла, как описано выше. При выходе ударной волны D_2 на контактную границу экрана и пористого металла происходит распад разрыва, в результате по пористому металлу идет ударная волна D_1 . Теперь волна разгрузки догоняет фронт ударной волны в пористом металле в точке B . На фиг. 4 показаны два положения точек B (B_1 и B_2), соответствующие постановке опытов, когда толщина экранов h_1 и h_2 .

Точки B_i находятся в вершине фигур $KLMB$, образованных волновыми лучами. В постановке опытов, когда изменением амплитуды ударной волны до прихода разгрузки с тыльной стороны ударника можно пренебречь (что достигается подбором толщины ударника и экрана), эти фигуры геометрически подобны. В силу того, что стороны этих фигур параллельны, а часть вершин расположена на прямых, пересекающихся в точке A , то и вершины B_i расположены на прямой BA , т. е. предельным положением точек B при увеличении толщины экрана до x_A является точка A . Для знания координат точки A достаточно получить координаты двух точек B_1 и B_2 .

Покажем практическое применение предлагаемого способа определения скорости звука. Определим скорость звука при высоком давлении в ранее хорошо изученном в этом отношении материале — алюминии. Ударник толщиной 2 мм из алюминия имеет скорость 5,60 км/с и ударяет по экрану из алюминия. Измерения траектории фронта ударной волны в образцах пористой меди производим на экранах толщиной $h_1 = 2$ мм и $h_2 = 7$ мм. Состояние в экране ($p = 692$ кбар, $D_2 = 9,03$ км/с, $u_2 = 2,80$ км/с) определено по методу отражения с использованием результатов работы [3].

Результаты проведенных измерений представлены в таблице и на фиг. 4. Полученное значение скорости звука совпадает с результатом для тех же условий из [2].

Рассмотренный пример применения предложенного метода указывает на возможность замены метода измерения скорости звука по зависимости ($W - x$). Точность измере-



Ф и г. 4

Толщина экрана, мм	Толщина ударника, мм	Образец пористой меди		Координаты точки достижения фронта		Скорость звука в материале экрана, км/с	
		толщина, мм	плотность, г/см ³	x, мм	t, мкс	измеряемая	по результатам работы [2]
1,98	1,98	9,92	2,95	8,29	1,610	9,15 ± 0,02	9,15
2,00	1,96	9,83	2,98	8,64	1,593		
1,99	1,99	9,94	2,94	8,33	1,561		
2,00	1,96	9,94	2,94	8,42	1,604		
6,97	2,01	4,89	2,97	9,70	1,307		
6,92	2,00	4,88	3,00	9,83	1,317		
6,98	1,98	4,92	2,97	9,81	1,327		
6,98	1,97	4,87	3,00	9,84	1,345		
6,96	1,96	4,88	2,99	9,91	1,317		

ния при этом не ниже, чем при применении прежнего метода, а объем экспериментальной работы сокращается.

Поступила 23 XII 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшулер Л. В., Павловский М. Н., Кулешова Л. В., Симаков Г. В. Исследования галогенидов щелочных металлов при высоких давлениях и температурах ударного сжатия.— ФТТ, 1963, т. 5, вып. 1.
2. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Бражник М. И., Владимиров Л. А., Сперанская Н. П., Фунтиков А. И. Изэнтропическая сжимаемость алюминия, меди, свинца и железа при высоких давлениях.— ЖЭТФ, 1960, т. 38, с. 1061.
3. Альтшулер Л. В., Кормер С. Б., Баканова А. А., Трунин Р. Ф. Уравнения состояния алюминия, меди и свинца для области высоких давлений.— ЖЭТФ, 1960, т. 38, с. 790.

УДК 534. 222. 2

ОБ УСТАНОВИВШЕМСЯ ДЕФОРМИРОВАНИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Ю. И. Фадеевко

(Новосибирск)

В исследованиях по механике пластически деформируемого твердого тела используется понятие динамического предела текучести σ_d . При этом подразумевается, что при достаточно больших значениях пластической деформации γ процесс деформирования некоторым образом устанавливается и напряжение, при котором происходит дальнейшее деформиро-

8*