

Рис. 3. Характер разрушения трубы при локальном нагружении.

Для определения коэффициента k_1 проведены специальные эксперименты. Их постановка заключалась в том, что в поперечном сечении труб разных размеров подрывались заряды ВВ в виде диска, инициируемого по центру плоского основания капсулем-детонатром. Физико-механические характеристики зарядов аналогичны зарядам из [1]. В опытах регистрировался профиль остаточной деформации стенки труб. Характеристики опытов приведены в таблице. Графически экспериментальные результаты представлены на рис. 2.

Аппроксимирующая экспериментальные значения кривая выражается зависимостью

$$e_0 = 6 \cdot 10^{-3} (\rho_T D^2 / 2\sigma_s) \cdot \lambda^2 - \sigma_s / E. \quad (6)$$

Из сопоставлений уравнений (4), (6) находим $k_1 = 5,5 \cdot 10^{-2}$ и, подставляя это значение в уравнение (5), получим граничное значение λ , которое совместно с уравнениями (2), (3) связывает параметры трубы с параметрами заряда ВВ и решает поставленную задачу.

Как следует из рис. 2, результаты подавляющего большинства опытов удовлетворительно аппроксимируются уравнением (6), что подтверждает обоснованность развитого выше подхода к описанию реакции трубы на подрыв в ней дискового заряда ВВ. Выпадают из общей закономерности результаты опытов, в которых $h/r \approx 1$ либо $h/(R-r) > 0,5$ при $h/r \ll 1$. В первом случае, по-видимому, становится существенным отклонение от схемы мгновенного осевого инициирования заряда, принятой при выводе формулы (5) (опыты 28, 39), а во втором, возможно, сказывается эффект эрозии материала трубы напротив цилиндрической поверхности заряда. Аналогичное явление (эрозия материала) обнаружено в [4] и объяснено развитием неустойчивости на границе ПВ — ударная волна, которая и приводит к эрозии стенки трубы.

В некоторых опытах с $\lambda \geq 10^{-1}$ происходило разрушение труб. Характер разрушения показан на рис. 3. Трещины вдоль образующей не выходят существенно за пределы той области, где происходит основное поглощение энергии взрыва.

Таким образом, в работе получено полумпирическое соотношение, определяющее максимальную остаточную деформацию стенки трубы при подрыве в ней заряда ВВ в виде диска.

Поступила в редакцию
29/V 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Могилев, А. Г. Иванов и др. ФГВ, 1981, 17, 2.
2. Ю. Н. Работнов. ПМТФ, 1968, 3.
3. G. R. Hoggar, R. F. Recht. Exp. Mech., 1969, 10, 441.
4. В. И. Цыпкин, В. Н. Минеев и др. ЖТФ, 1975, 45, 3, 624.

ПРИМЕНЕНИЕ КВАРЦЕВЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

С. И. Бодренко, Н. Н. Гердюков, Ю. А. Крысанов,

С. А. Новиков

(Москва)

Кристаллический кварц отличается от других пьезоэлектриков стабильностью коэффициента преобразования механического напряжения в электрический сигнал в широком диапазоне температур, независимостью его от скорости нарастания и величины напряжения в диапазоне давлений до 2 ГПа [1]. В [2] описана конструкция

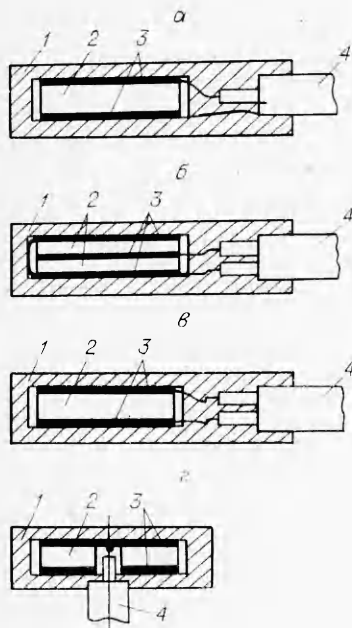


Рис. 1. Конструкции датчиков 2, 5, 6 (а), 3 (б), 4 (в) и 7 (г).

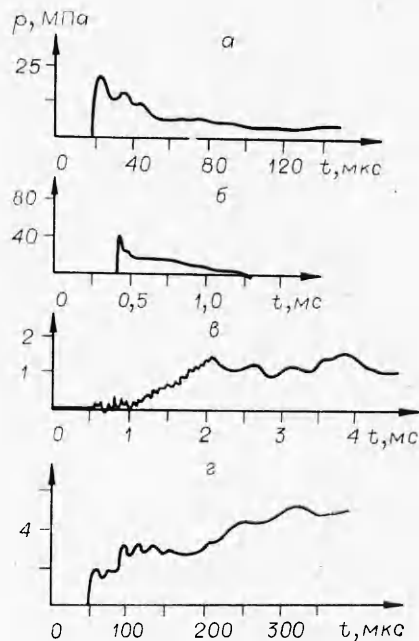


Рис. 2. Осциллограммы давления.

пьезоэлектрического датчика давления с преобразованием давления в электрический сигнал из кварца для исследования параметров ударных волн с давлением до 500 МПа в различных материалах. В настоящей работе описываются последующие модификации этого датчика и представлены некоторые результаты их применения во взрывных экспериментах для регистрации профиля ударных волн в воздухе, воде и пористых материалах.

Основные конструктивные элементы датчиков показаны на рис. 1, а их характеристики приведены в таблице. Датчики отличаются размерами преобразователя давления 1, материалом и конструкцией корпуса 2. Латунные электроды 3 приклеиваются к X-средам кварцевого преобразователя давления токопроводящим клеем, выводы 4 с электродов на коаксиальный разъем выполнены из провода МГТФ-0,07 или АВКТ-4 (при использовании двухпроводной схемы). При изготовлении датчиков все зазоры, кроме бокового, заливались эпоксидным компаундом, а поверхность покрывалась влагостойким лаком.

В датчике 3 увеличения чувствительности преобразователь давления изготовлен из двух пластинок кварца, керамический корпус датчика металлизирован. Датчики 4 и 7 имеют металлические корпуса. Для работы в условиях сильных электромагнитных помех выводы датчиков 3 и 4 выполнены по двухпроводной схеме, экранирующий металлический рукав выводов соединен с корпусом 4 и серебряным покрытием корпуса 3. Емкость датчика (200—250 пФ) определяется главным образом емкостью соединительных проводов (длина их обычно равна 2—2,5 м).

Основные характеристики пьезоэлектрических датчиков давления

Тип датчика	Размеры датчика и преобразователя*, мм		Материал корпуса	Расчетное k , пКл/МПа
	диаметр	высота		
2	12(10)	3,2(2)	Пластмасса АГ-4	180
3	13(10)	3,8(1+1)	Ультрафарфор	400
4	12,5(10)	3,2(2)	Алюминий АМг-6	200
5	12(10)	2,1(1)	Пластмасса АГ-4	180
6	7(5)	1,6(0,5)	»	45
7	13(10)	4,2(2)	Титан ТВ-1	250

Примечание. Размеры преобразователя даны в скобках.

Регистрация сигнала с преобразователя давления проводится по схеме усиления заряда с использованием согласующего устройства с входным сопротивлением ≥ 100 МОм. Максимальное значение давления в УВ, регистрируемое датчиком, определяется главным образом прочностью материала корпуса и равно 500 МПа, минимальное значение давления определяется соотношением сигнал/шум и равно 1 МПа.

Наилучшее временное разрешение параметров фронта УВ достигается при ориентации датчика таким образом, чтобы нормаль к его плоскости совпадала с направлением распространения УВ. При этом величина искажения фронта УВ («завал фронта»), определяемая временем прохождения УВ по датчику, зависит от его конструкции, но не превышает 1 мкс. Максимальное время регистрации определяется главным образом внутренним сопротивлением датчика и не превышает 100 мс.

Калибровка проводится динамическим методом, заключающимся в быстром сбросе известного давления сжатого воздуха в специальной камере с калибруемым датчиком. Давление в камере изменяется от 1 до 30 МПа и измеряется образцовым манометром. Погрешность определения величины коэффициента преобразования k не более 7% при доверительной вероятности 95%.

Разработан ударный метод калибровки в диапазоне давления 1–70 МПа. Исследуемые датчики (их количество может достигать несколько десятков) закрепляются на металлическом основании и через демпфер из пенополистирола нагружаются ударом разгоняемой взрывом слоя ВВ пластины, при этом импульс давления, регистрируемого датчиками, имеет вид прямоугольника, а величина давления определяется плотностью пенополистирола [3]. С помощью кино съемки движения свободно подвешенного основания определяется величина полного импульса, и по известному времени действия импульса определяется величина приложенного давления. Эксперименты показали, что величина коэффициента k при ударном нагружении давлением от 1 до 70 МПа не зависит от величины давления и в пределах ошибки калибровки совпадает с результатами динамической калибровки. Суммарная погрешность измерения амплитуды давления с помощью разработанных датчиков равна 15% при надежности 95%.

Датчики типа 2 использовались для измерения давления действующего на стенку сферического сосуда при взрыве внутри заряда ВВ. Одним из торцов датчик приклеивался к алюминиевому стержню для устранения возмущений, связанных с выходом УВ на обратную сторону датчика. Система датчик — акустический стержень изолировалась от стенок сосуда слоем воска. Типичная осциллограмма давления приведена на рис. 2, а. Запись давления во времени может быть использована для расчета деформации и напряжения в сосуде при взрыве внутри заряда ВВ.

При исследовании взаимодействия сильных воздушных ударных волн с преградами использовался датчик 7. Осциллограмма записи давления на поверхности преграды при взаимодействии с вызванной взрывом воздушной УВ при числе Маха $M=7$ приведена на рис. 2, б.

Датчик 7 использовался для исследования взаимодействия ударной волны со стенками сосуда, заполненного водой. На осциллограмме рис. 2, в видны пульсации давления, связанные с радиальными колебаниями стенок сосуда.

Описанные датчики давления широко применялись для изучения процессов ударного сжатия различных пористых веществ. Типичная осциллограмма в опытах с пенополистиролом плотностью 130 кг/м^3 приведена рис. 2, г. Использование датчиков давления позволило выявить сложную структуру ударной волны сжатия. Показано, что по пенополистиролу распространяются три ударные волны, из которых первая (упругий предвестник) движется со скоростью, в 1,5–2 раза меньшей скорости распространения продольных ультразвуковых колебаний, а давление совпадает со статическим пределом прочности пенополистирола.

Поступила в редакцию
21/V1980

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Graham. J. Appl. Phys., 1962, 33, 1755.
2. С. И. Бодренко, Н. И. Гердюков и др. Тез. докл. II Всес. симпозиума по импульсному давлению. М., ВНИИФТРИ, 1976.
3. Ю. В. Батюков, С. И. Бодренко и др. Докл. I Всес. симпозиума по импульсному давлению. Т. 1. М., ВНИИФТРИ, 1974.