

Кинетические параметры на начальной стадии распада хорошо согласуются с величинами, полученными для октогена манометрическим методом.

Поступила в редакцию
4/VII 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Я. Максимов. — В сб.: Теория взрывчатых веществ. М., Высшая школа, 1967.
2. J. N. Mauser, V. R. Paiverneker. Explosivstoffe, 1969, 17, 5.
3. R. N. Rogers, E. D. Morris. Anal. Chem., 1966, 38, 412.
4. В. Л. Збарский, Ю. Я. Максимов, Е. Ю. Орлова. — В сб.: Теория взрывчатых веществ. М., Высшая школа, 1967.

ПЬЕЗОЭФФЕКТ В ЭЛЕКТРЕТИРОВАННОМ ВИНИЛПЛАСТЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЯХ

А. В. Черкашин
(Киев)

При измерении параметров ударно-волновых процессов широкое распространение получили обладающие высокой чувствительностью пьезокерамические датчики давления. Однако в пьезокерамике может происходить целый ряд релаксационных процессов. Так, в работе [1] показано, что время наиболее выраженного релаксационного процесса для пьезокерамики ЦТС-19 составляет 40 мкс. Это сильно осложняет сравнение процессов различной длительности. Эталонным пьезочувствительным материалом является кварц, который в широком диапазоне времен нарастания нагрузки практически безынерционен, но он теряет пьезоэффект при гидростатическом сжатии.

В ряде случаев для измерения динамических давлений в быстропотекающих процессах могут быть полезны датчики давления с чувствительными элементами из электретов, обладающих пьезоэффектом. В работе исследовался пьезоэффект электретированного винилпласта при различных условиях нагружения (ударная труба, копер, гидропресс). Выбор материала основывался на данных работ [2, 3], в соответствии с которыми поливинилхлорид обладает наибольшим пьезоэффектом, а его величина не менялась в течение 2 лет.

Схема экспериментальной сборки для работы на копере и гидропрессе приведена на рис. 1. При работе на ударной трубе электретный диск согласовывался акустическим волноводом из диэлектрика, который располагался в латунном корпусе. Во всех случаях осуществлялся режим нагружения при зажатой боковой поверхности. Сила удара F , развиваемая копром, рассчитывалась из соотношения

$$\int_0^{\tau} F dt = m (u_1 + u_2),$$

где скорости u_1 падающего и u_2 отраженного груза массой m измерялись, а интеграл определялся осциллограммой импульса давления. При этом длительность τ и качественно форма импульса контролировались с помощью пьезокерамической пластинки, помещенной в аналогичные условия. При ударно-волновом нагружении давление за фронтом ударной волны рассчитывалось по кинематическим параметрам волны.

Давление и время нарастания давления соответственно составляли: ударная труба — 0,1—5 МПа, 0,7 мкс; копер — 2—150 МПа, 20 мкс; копер — 2—220 МПа, 500 мкс; гидропресс — 20—80 МПа, 20000 мкс.

Электретный диск согласовывался с регистрирующим осциллографом с помощью истокового повторителя с входным сопротивлением 100 МОм. Заряд, генерируемый на торцах диска при сжатии, определялся произведением

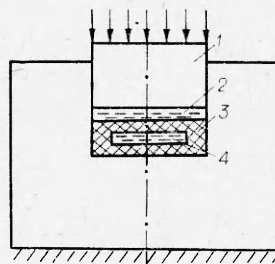


Рис. 1. Схема экспериментальной сборки для копра и гидропресса.

1 — поршень; 2 — масло; 3 — эпоксидная смола; 4 — электрет.

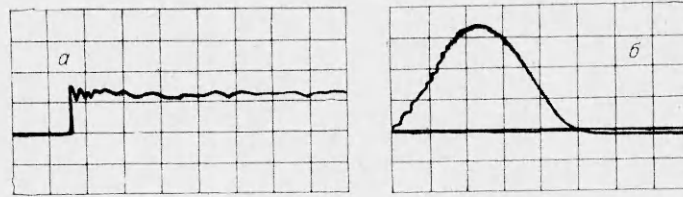


Рис. 2. Типичные осциллограммы импульсов давления.
а) ударная волна, $\Delta p=4$ МПа, развертка 50 мкс/дел; б) копер, $\Delta p=140$ МПа, развертка 250 мкс/дел.

напряжения на значение емкости, подключенной ко входу повторителя с учетом коэффициента передачи. При этом емкость в зависимости от уровня давления менялась в пределах 0,4—47 пФ. В опытах использовались диски диаметром 10—15 и толщиной 0,5—1 мм, на которые наносились электроды из меди вакуумным напылением. Различные марки винипласта при одинаковых режимах поляризации давали одинаковые значения пьезомодуля. Полученное в работе наибольшее среднее значение пьезомодуля при одностороннем осевом нагружении $0,44 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н относится к режиму поляризации: $T=398$ К, $E=2,1 \cdot 10^7$ В/м, время выдержки — 4 ч. Для сравнения укажем, что пьезомодуль x -среза кварца составляет $2,1 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н.

Осциллограммы (рис. 2) иллюстрируют работу электретных датчиков давления при различных уровнях давления и временах воздействия. Результаты обработки осциллограмм (рис. 3) показывают, что электретные датчики обладают высокой степенью линейности и безынерционны при временах воздействия, больших $7 \cdot 10^{-7}$ с. Максимальное отклонение экспериментальных точек от среднего значения лежит в пределах погрешности эксперимента. Кроме того, электретные датчики из винипласта многократно регистрировали импульсы давления величиной более 200 МПа без каких-либо изменений.

Ответственна за возникновение пьезоэффекта в электретированном полярном диэлектрике внутренняя остаточная поляризация, образованная системой диполей, имеющих преимущественную ориентацию в направлении приложенного поля и свободный заряд. Свободный заряд, располагающийся в поверхностном слое торцов диска, можно рассматривать как макродиполь. Предполагая равномерное распределение диполей с дипольным моментом $q\vec{l}$ по объему диска V , запишем общее выражение для вектора поляризации

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^{i=r} q_i \vec{l}_i}{V}.$$

Тогда приращение эффективного поверхностного заряда Q электретного диска толщиной z определится выражением

$$\partial Q = -V_0 P_0 \cdot \partial z / z^2, \quad (1)$$

где V_0 и P_0 — начальный объем и начальная компонента вектора поляризации P_z . В (1) знак указывает на увеличение эффективного поверхностного заряда при сжатии, что соответствует опытным результатам: сигнал положительной полярности снимается с электрода, обращенного при поляризации к электроду отрицательной полярности. Постоянство величины P_0 предполагает как неизменность момента отдельного диполя (недеформируемость самих диполей), так и неизменность их ориентации.

Анализ результатов работы [4] показывает, что для условий опытов, описанных выше, можно предположить простейшую, не содержащую время связь между давлением и деформацией, считая, что модуль упругости почти полностью определяется своим мгновенным значением. Из (1) и закона односторонней осевой деформации с модулем упругости K

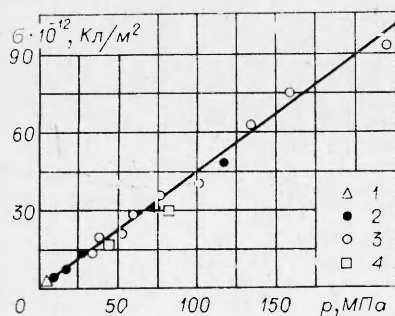


Рис. 3. Зависимость поверхностной плотности генерируемого при сжатии заряда электрета от приложенного давления при временах нарастания нагрузки, мкм:

1 — 0,7; 2 — 20; 3 — 500; 4 — 20000.

$$\partial z = -z_0 \cdot \partial p / K$$

следует выражение для приращения заряда

$$\partial Q = S_0 \Pi_0 / K \cdot \partial p / (1 - p/K)^2,$$

откуда для пьезомодуля

$$d'_{33} = \frac{1}{S_0} \left(\frac{\partial Q}{\partial p} \right)_E = \frac{\Pi_0}{K} \frac{1}{(1 - p/K)^2}.$$

Для электрического поля в опытах выполнялось условие $E \approx 0$. При $p/K \ll 1$ $d'_{33} \approx \Pi_0/K$. При других способах нагружения (всестороннее сжатие, сжатие при боковой разгрузке) значение пьезомодуля будет отличаться модулем упругости.

Приведем некоторые оценки. Рассматривая разогретый диэлектрик как поляризованную жидкость, рассчитаем относительную диэлектрическую проницаемость ϵ' по формуле Онзагера [5]

$$\frac{(\epsilon' - n^2)(2\epsilon' + n^2)}{\epsilon'(n^2 + 2)^2} = \frac{N\mu_0^2}{\epsilon_0 9kT},$$

где n — показатель преломления; N — количество молекул в единице объема; μ_0 — начальный дипольный момент молекулы; k — постоянная Больцмана. Получаем $\epsilon' = 7$. Значение поляризации найдем из общего соотношения

$$\Pi_0 = (\epsilon' - 1)\epsilon_0 E = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Кл/м}^2.$$

Принимая значение модуля упругости $4,2 \cdot 10^9$ Па, получим $d'_{33} = 0,27 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н, что мало отличается от измеренного значения $0,44 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. Здесь уместно отметить, что формула Онзагера дает несколько заниженное значение диэлектрической проницаемости.

При дипольном моменте молекулы винилхлорида $5 \cdot 10^{-30}$ Кл·м средний дипольный момент μ_c по формуле [5]

$$\mu_c = \frac{\mu_0^2}{3kT} E$$

дает значение $4 \cdot 10^{-32}$ Кл·м. Это показывает, что полученное электретное состояние далеко от насыщения, которое не может быть достигнуто простым термоэлектретированием: необходимые для этого напряженности электрического поля на два порядка больше пробивных. Нахождение способов поляризации, позволяющих ориентировать большее число диполей, по-видимому, позволило бы существенно увеличить чувствительность. Но и при полученной чувствительности применение тонких электретированных диэлектрических пленок позволяет создавать простые конструкции датчиков давления с высокой степенью линейности и малым временем разрешения.

Таким образом, обладая относительно низкой чувствительностью, электретированный винилпласт является безынерционным прибором при временах воздействия, больших $7 \cdot 10^{-7}$ с, отличается высокой степенью линейности в области до 200 МПа и, будучи способным работать в условиях всестороннего сжатия, имеет преимущество как перед пьезокерамикой, так и перед кварцем.

Поступила в редакцию
6/VI 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. П. Хохлов, В. Н. Минсеев и др. ФГВ, 1978, 14, 4.
2. Г. А. Лучейкин. Полимерные электреты. М., Химия, 1966.
3. Н. М. Кочарян, Х. Б. Пачаджян. Изв. АН АрмССР. Серия физическая, 1966, 1, 4.
4. Г. М. Бартнев. Релаксационные явления в полимерах. Л., Химия, 1972.
5. Г. И. Сканава. Физика диэлектриков (область слабых полей). М.—Л., ГИТТЛ, 1949.