

точек это превышение достигает $5 \div 8$ дб. Средняя величина демпфирования звукового поля составляет 7 дб. Если же учитывать только область пластины, охваченную обратной связью (точки $0 \div 6$), то средний эффект возрастает до 13,4 дб. Интересно отметить, что ослабление звукового поля, сопутствующее максимальному демпфированию вибраций в точках расположения компенсаторов, значительно меньше (пунктирная кривая). Наряду с этим максимальному ослаблению звукового поля (при контроле по полю) сопутствует уменьшение вибраций в точках 2 и 5, равное лишь 2,6 и 4,2 дб.

Таким образом, настройка локальных виброкомпенсаторов в целях уменьшения звукового поля не совпадает с их настройкой, обеспечивающей минимальные вибрации в точках установки. При надлежащем применении локальных виброкомпенсаторов можно ослабить уровень звукового давления вблизи и вдали от пластины, совершающей изгибные колебания примерно на 10 дб в широком диапазоне частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Князев, Б. Д. Тартаковский. Применение электромеханической обратной связи для ослабления вибраций и излучения пластин. Акуст. ж., 1966, 12, 3, 382—384.
2. T. H. Rockwell, J. M. Lawther. Theoretical and experimental results on active vibration dampers. J. Acoust. Soc. America, 1964, 36, 8, 1507—1515.

Акустический институт АН СССР
Москва

Поступило в редакцию
2 марта 1965 г.

УДК 534—8+548

О РАСПРОСТРАНЕНИИ УЛЬТРАЗВУКА В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРАХ

И. И. Перепечко

Одним из параметров кристаллических полимеров, от которого существенно зависят механические свойства, является степень кристалличности $\chi = V_1/V$, где V_1 — объем кристаллической части полимера, V — объем всего полимера. Известная корреляция между скоростью звука и кристалличностью наблюдалась экспериментально [1, 2], однако соответственные аналитические зависимости пока не установлены.

Рассмотрим полимер, который может быть описан обобщенной моделью Кельвина — Фойгта, состоящей из большого числа элементов Кельвина, соединенных последовательно и присоединенной к ним также последовательно пружины (E_q) [3]. Оператор податливости в этом случае имеет вид

$$I = \frac{1}{E_q} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{E_j} \cdot \frac{1}{1 + \tau_j \frac{\partial}{\partial t}}, \quad (1)$$

а диагональный элемент тензора напряжений

$$\sigma_{xx} = I^{-1} \frac{\partial u}{\partial x}, \quad (2)$$

где E_j и τ_j — модуль и время релаксации j -того элемента, u — смещение.

Подставляя выражения (1) и (2) в волновое уравнение и решая его обычным способом, получим следующее дисперсионное уравнение:

$$K^2 = -\rho\omega^2 \left\{ \frac{1}{E_q} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{E_j} \cdot \frac{1}{1 + i\omega\tau_j} \right\}, \quad (3)$$

где $K = \alpha + i \frac{\omega}{c}$ (α — коэффициент поглощения, ω — круговая частота, c — скорость звука).

Полагая, что поглощение на длине волны мало, т. е. $\alpha\lambda / 2\pi \ll 1$, и переходя от дискретного спектра к сплошному, получим выражения для скорости и коэффициента поглощения звука:

$$\frac{1}{\rho c^2} = \frac{1}{E_q} + \int_0^{\infty} \frac{L(\tau) d\tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \rho \omega c \int_0^{\infty} \frac{L(\tau) \omega \tau d\tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (5)$$

где $L(\tau)$ — плотность спектра времен запаздывания. Предполагая, что релаксационные процессы в кристаллическом полимере представляют собой суперпозицию релаксационных процессов в кристаллических и аморфных областях, можно [4] положить

$$L(\tau) = \kappa L_1(\tau) + (1 - \kappa) L_2(\tau), \quad (6)$$

где индексы 1 и 2 относятся соответственно к кристаллическим и аморфным областям.

Предполагая, что не зависящая от частоты податливость $I_q = 1/E_q$ связана с κ соотношением типа (6), получим

$$\frac{1}{\rho c^2} = \frac{\kappa}{\rho_1 c_1^2} + \frac{(1 - \kappa)}{\rho_2 c_2^2} = \frac{\kappa}{E_1} + \frac{(1 - \kappa)}{E_2}, \quad (7)$$

$$\frac{A}{\rho c^2} = \frac{\kappa A_1}{\rho_1 c_1^2} + \frac{(1 - \kappa) A_2}{\rho_2 c_2^2}. \quad (8)$$

Здесь

$$\frac{1}{\rho_i c_i^2} = \frac{1}{E_{iq}} + \int_0^{\infty} \frac{L_i(\tau) d\tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (9)$$

$$A_i = \frac{\alpha_i \lambda_i}{2\pi} = \frac{1}{2} \rho_i c_i^2 \int_0^{\infty} \frac{L_i(\tau) \omega \tau d\tau}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (10)$$

где $i = 1$ или 2 . Из формул (7) и (8) следует, что при $\kappa \rightarrow 0$, $c \rightarrow c_2$ (скорость звука уменьшается), $A \rightarrow A_2$; при $\kappa \rightarrow 1$ (возрастание кристалличности) $c \rightarrow c_1$ и $A \rightarrow A_1$.

Из анализа формул (7), (8) и (9), (10) следуют интересные особенности акустических свойств кристаллических полимеров, находящихся при температуре ниже температуры стеклования T_g . Известно, что стеклообразное состояние полимеров характерно заторможенностью релаксационных процессов. Оно соответствует случаю, когда все $\tau_j \rightarrow \infty$. Тогда второй член правой части равенства (9) обращается в нуль. При этом разность $(E_{1q} - E_{2q}) \rightarrow 0$ ($E_{1q} \approx E_{2q} \approx E_q$) и при достаточно низких температурах (достаточно больших τ_j) $1/\rho c^2 = 1/E_q$, т. е. скорость звука оказывается не зависящей от частоты и кристалличности.

Это объясняет результаты экспериментов работы [2], в которых было обнаружено, что кристалличность влияет на скорость звука лишь при температуре, превышающей температуру стеклования.

Связь между акустическими параметрами и кристалличностью полимера может быть установлена при любой форме оператора модуля или податливости. Например для обобщенной модули Мансвелла — Вихерта получаются следующие соотношения:

$$c^2 = \kappa c_1^2 + (1 - \kappa) c_2^2 \text{ и } A c^2 = \bar{\kappa} A c_1^2 + (1 - \bar{\kappa}),$$

где $\bar{\kappa} = \rho_1 V_1 / \rho V$ — «весовая» степень кристалличности.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. D. Davidse, H. J. Waterman, J. B. Westerdijk. Sound velocity and Yongs modulus in polyethylene. *J. Polymer Sci.*, 1962, 59, 168, 389—400.
2. M. Vaccaredda. La cristallinita degli alti polymeri e le loro proprieta meccaniche. *La Chimica e l'industria*, 1962, 44, 12, 1383—1389.
3. А. Тобольский. Свойства и структура полимеров. М., Химия, 1964.
4. Riichiro Chûjo. Dinamical Degree of Crystallinity of Partially Crystallini polymers. *J. Phys. Soc. Japan*, 1963, 18, 1, 124—131.

Н.-И. институт пластических масс
Москва

Поступило в редакцию
29 декабря 1965 г.