

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 534.222:539.3

© 1992 г. В.И. Ерофеев, В.М. Родюшкин

НАБЛЮДЕНИЕ ДИСПЕРСИИ УПРУГИХ ВОЛН В ЗЕРНИСТОМ КОМПОЗИТЕ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ЕЕ ОПИСАНИЯ

Конструкционным материалам, являющимся микронеоднородными средами [1], присущи как временная, так и пространственная дисперсии скорости звука. Временная дисперсия может быть обусловлена, например, релаксационными или тепловыми механизмами [2-5]. Пространственная дисперсия является следствием когерентного рассеяния упругих волн на зернах материала [2, 6].

Научиться правильно понимать и описывать динамическое поведение материалов со сложной структурой нередко помогают искусственные среды [7]. Для этого они создаются с определенными однозначными свойствами.

Авторами был изготовлен зернистый композит: гранулы вольфрама круглой формы (дробь диаметром  $0,02 \leq d \leq 0,2$  мм) в эпоксидном компаунде. Для удобства исследования его акустических свойств форма образца выбрана в виде цилиндра диаметром  $D = 20$  мм и длиной  $L = 177$  мм. Торцы цилиндра обработаны таким образом, чтобы они были строго параллельны.

Поставленная цель – определить значения скорости распространения продольных упругих волн в таком материале на разных частотах – достигалась с помощью стандартной методики. Она заключалась в измерении времени пробега ультразвукового импульса в образце и вычислении искомой скорости.

Результаты измерений по десяти наблюдениям, которые проводились на установке, условно изображенной на рисунке, приведены ниже.

$f = \omega/2\pi$ , кГц	$L$ , мм	$\bar{t}$ , мкс	$\Delta t$ , мкс	$c = L/\bar{t}$ , м/с
60	177	83,09	0,19	2130,2
100	177	82,65	0,10	2141,6

Различие в скоростях импульсов на частотах 60 и 100 кГц составило 0,5%, что не объясняется в рамках уравнений теории упругости, где скорость волн не зависит от их частоты [8].

Наблюдаемая дисперсия ультразвука может быть описана уравнениями моментной теории упругости [6, 9]:

$$\rho \ddot{u}_i - (\lambda + \mu) u_{i,ii} - \mu u_{i,kk} + 4\mu M^2 (u_{i,kk} + \nu u_{k,ik})_{ii} = 0, \tag{1}$$

где  $u_i$  – компоненты вектора перемещений;  $\rho$  – плотность материала;  $\lambda, \mu$  – константы Ламе;  $M, \nu$  – константы, характеризующие микроструктуру материала.

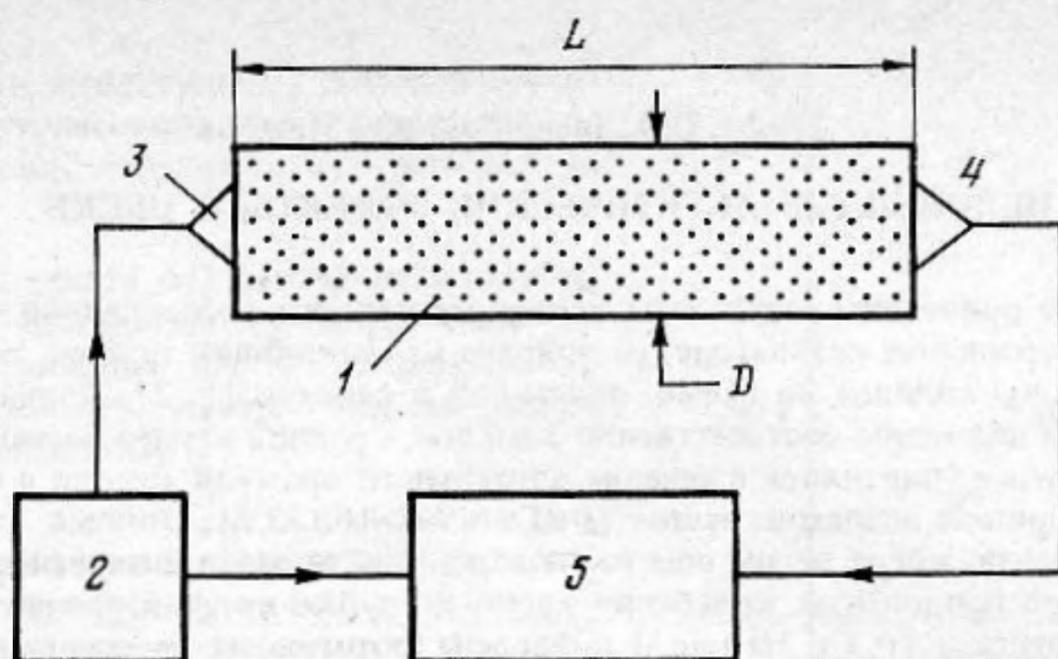
Частота ( $\omega$ ) и волновое число ( $k$ ) плоской продольной волны, согласно (1), связаны соотношением

$$\omega = c_l k (1 + 4M^2 \text{sign} M k^2 c_l^2 / c_T^2)^{1/2}, \tag{2}$$

где  $c_l = \{(\lambda + 2\mu)/\rho\}^{1/2}$ ,  $c_T = (\mu/\rho)^{1/2}$  – характерные скорости продольной и сдвиговой волн, соответственно.

Из (2) видно, что полученные экспериментальные данные не противоречат предложенной модели описания процесса распространения упругих волн в средах с микроструктурой. Более того, исходя из соотношения (2) можно вычислить неизвестную величину  $M$ , являющуюся некой интегральной размерной характеристикой пространственной структуры

$$M^2 \text{sign} M = \frac{c_l^2 - c_T^2}{4c_T^2} \cdot \frac{1}{k_1^2 - k_2^2}, \tag{3}$$



Установка для измерения времени пробега ультразвукового импульса в образце. 1 – образец; 2 – генератор импульсов напряжения; 3, 4 – излучатель и приемник ультразвуковых колебаний; 5 – измеритель временных интервалов

Для этого следует знать две пары чисел  $c_1, k_1$  и  $c_2, k_2$ , т.е. необходимо произвести два измерения скорости. В данном  $M \approx 4,5 \cdot 10^{-4}$  м.

Заметим, что описываемый в работе волновой эффект, наблюдаемый в искусственной среде, может быть положен в основу неразрушающего метода измерения размерной характеристики пространственной структуры зернистых композитов, используемых на практике.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. М.: Наука, 1977. 399 с.
2. Чабан И.А. Пространственная дисперсия скорости звука в эмульсиях // Акуст. журн. 1973. Т. 19. № 6. С. 926–929.
3. Потанов А.И., Солдатов И.Н. Квазиоптическое приближение для пучка сдвиговых волн в нелинейной наследственной среде // Журн. прикл. механики и техн. физики. 1986, № 1. С. 144–147.
4. Потанов А.И., Семерикова Н.П. Нелинейные продольные волны в стержне с учетом взаимодействия полей деформации и температуры // Журн. прикл. механики и техн. физики. 1988. № 1. С. 57–61.
5. Ерофеев В.И. Нелинейные сдвиговые волны в упругих и вязкоупругих средах с моментными напряжениями // Волновые задачи механики: Сб. науч. трудов. Нижний Новгород: Нф ИМАШ АН СССР, 1991. С. 130–138.
6. Савин Г.Н., Лукашев А.А., Лыско Е.М. Распространение упругих волн в твердом теле с микроструктурой // Прикл. механика. 1970. Т. 6. № 7. С. 48–52.
7. Gauthier R.D., Jashman W.E. A quest for micropolar elastic constants // Arch. mech. 1981. V. 33. No. 5. P. 717–737.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 248 с.
9. Ерофеев В.И., Потанов А.И. Нелинейные продольные волны в упругих средах с моментными напряжениями // Акуст. журн. 1991. Т. 37. № 3. С. 477–483.

Нижегородский филиал  
института машиноведения  
Российской академии наук

Поступило в редакцию  
06.12.91