

А. А. Закиров, П. Ю. Лысенко, Е. Б. Черепецкая (Москва, МГТУ). **Теоретическая оценка параметров оптико-акустических сигналов, возбуждаемых в композитах.**

Наличие надежной информации о структуре, свойствах и состоянии композиционных материалов позволяет оценивать их остаточный ресурс и продлить срок эксплуатации. В настоящий момент для диагностики параметров композитов применяются такие методы, как акустическая эмиссия [1], ультразвуковой контроль [2] и др. Перспективным является лазерный ультразвуковой метод, основанный на возбуждении в исследуемой среде коротких мощных импульсов упругих волн.

В работе, представленной данным докладом, предлагается оценка основных параметров импульсов продольных и сдвиговых волн, возбуждаемых в композитах. Процесс возбуждения оптико-акустических сигналов в изотропных твердых телах описывается системой уравнений [3, 4]:

$$c_l^{-2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \Delta \varphi = -\beta \left(1 - \frac{4 c_t^2}{3 c_l^2} \right) \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\alpha}{\rho_0 c_p} I_0 H(\bar{r}_\perp) e^{-\alpha z} f(t), \quad (1)$$

$$c_t^{-2} \frac{\partial^2 \bar{\psi}}{\partial t^2} - \Delta \bar{\psi} = 0, \quad (2)$$

φ — скалярный потенциал, $\bar{\psi}$ — векторный потенциал, β — коэффициент объемного расширения, c_l, c_t — скорость, соответственно, продольных и сдвиговых волн, ρ_0 — плотность композита, $f(t)$ — временная зависимость огибающей оптического пучка с пиковым значением интенсивности I_0 , $H(\bar{r}_\perp) = H(x, y)$ есть поперечное распределение интенсивности оптического пучка, α — коэффициент поглощения света, c_p — теплоемкость.

После введения функции $\Phi = \partial \psi_y / \partial x - \partial \psi_x / \partial y$ и условия калибровки $\text{div } \bar{\psi} = 0$ уравнение (2) примет вид

$$c_t^{-2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - \Delta \Phi = 0. \quad (3)$$

Решение системы (1), (3) будем искать в виде разложения функций φ и Φ в интеграл Фурье по времени t и по $\bar{r}_\perp = \{x, y\}$:

$$\begin{aligned} \varphi(\bar{r}, t) &= \int \int_{-\infty}^{\infty} d\bar{k}_\perp \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \hat{\varphi}(\omega, \bar{k}_\perp, z) e^{-i(\omega t - \bar{k}_\perp \bar{r}_\perp)}, \\ \Phi(\bar{r}, t) &= \int \int_{-\infty}^{\infty} d\bar{k}_\perp \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \hat{\Phi}(\omega, \bar{k}_\perp, z) e^{-i(\omega t - \bar{k}_\perp \bar{r}_\perp)}, \end{aligned}$$

где $\bar{k}_\perp \bar{r}_\perp = k_x x + k_y y$. Соответственно,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\alpha I_0 e^{-\alpha z}}{\rho_0 c_p} \int \int_{-\infty}^{\infty} d\bar{k}_\perp \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \hat{H}(\bar{k}_\perp) \hat{f}(\omega) e^{-i(\omega t - \bar{k}_\perp \bar{r}_\perp)},$$

Дополняя систему (1), (3) граничными условиями на свободной границе ($\sigma_{iz} = 0$, $i = 1, 2, 3$) и учитывая условия излучения (при $z \rightarrow \infty$ должны распространяться только волны, бегущие вглубь исследуемой среды), получим выражения для Фурье-образа $\widehat{\Phi}$ компоненты векторного потенциала, описывающего скорости частиц \bar{u}_i в сдвиговой волне:

$$\widehat{\Phi} = NB^{-1} \left[\left(\frac{k_t^2}{2} - k_\perp^2 \right)^2 + k_\perp^2 \gamma \alpha \right] e^{-\gamma z}, \text{ где } N = \frac{\beta \alpha I_0}{\rho_0 c_p} \widehat{H}(\bar{k}_\perp) f(\omega),$$

$$B = (\alpha^2 - k_t^2 - k_\perp^2) \left[\left(\frac{k_t^2}{2} - k_\perp^2 \right)^2 + k_\perp^2 \gamma \chi \right], \quad \gamma = \sqrt{k_\perp^2 - k_i^2}, \quad \chi = \sqrt{k_\perp^2 - k_i^2}.$$

Выражение для Фурье-образа $\widehat{\varphi}$ скалярного потенциала, описывающего скорости частиц \bar{u}_i в продольной волне, имеет вид $\widehat{\varphi} = B^{-1} N k_\perp^2 (k_t^2/2 - k_\perp^2) (\alpha - \gamma) e^{-\chi z}$.

По данным выражениям для Гауссова пучка были рассчитаны временные профили продольных и сдвиговых волн, возбуждаемых оптическим излучением в композитах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ржевкин В. Р., Нарзуллаев Г. Х.* Определение прочностных параметров пучка волокон по данным акустической эмиссии. — В сб.: Акустическая эмиссия гетерогенных материалов. Л.: ФТИ, 1986, с. 73–76.
2. *Геллер А. Б., Славинский С. Г., Игнатов В. М.* Неразрушающие методы контроля композиционных материалов на основе волокнистых структур. Обзор. М.: НИИ ТЭХИМ, 1989, 40 с.
3. *Карабутов А. А., Макаров В. А., Черепецкая Е. Б., Шкуратник В. Л.* Лазерно-ультразвуковая спектроскопия горных пород. М.: Изд-во МГГУ, «Горная книга», 2008, 198 с.
4. *Закиров А. А.* Оценка нарушенности внутренней структуры облицовочных плит методом лазерно-ультразвуковой спектроскопии. — Обозрение прикл. и промышл. матем., 2009, т. 16, в. 4, с. 654–655.