ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Մեխանիկա XXXIX, № 3, 1986 Механика

УДК 539.3

О ПОДКРЕПЛЕНИИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ, ОСЛАБЛЕННОЙ РАЗРЕЗАМИ, РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМОЙ ТОНКИХ УПРУГИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

ИВАНЕНКО О. А., ФИЛЬШТИНСКИЙ Л. А.

Решение ряда задач о подкреплении анизотропных пластин упругими ребрами или накладками и обзор работ в этом направлении можно найти в книге [1].

Подкрепление анизотропных и изотропных пластин регулярной системой включений рассмотрено в [2]. Аналогичные задачи для пьезокерамической полуплоскости содержатся в [3].

Постановка электрических и механических граничных условий на трещине в пьезоэлектрике обсуждалась в работе [4].

В настоящей статье рассматривается модель кусочно-однородной среды, представляющей собой пьезокерамическую матрицу, армированную регулярной системой ленточных включений. При этом допускается наличие в матрице дефектов типа трещин. На основе решения указанной задачи электроупругости проводится осреднение пьезоупругих свойств такой регулярной структуры.

Приводятся результаты расчетов контактных усилий и усилий во включении, а также коэффициентов интенсивности напряжений и осредненных пьезомодулей.

1. Модель пьезокерамической матрицы с регулярной системой включений. Рассмотрим отнесенную к кристаллофизическим осям координат xyz неограниченную пьезокерамическую матрицу (керамика $PZT-4$, $PZT-5$ [5]), предварительно поляризованную вдоль оси z и армированную двоякопериодической системой одинаковых ленточных включений. Предположим, что включения непрерывно скреплены с матрицей, выполнены из упругого диэлектрика и работают лишь на растяжение-сжатие, а в среде имеют место средние механические напряжения $\langle\sigma_1\rangle$, $\langle\tau_{13}\rangle$, $\langle\sigma_3\rangle$ и электрическое поле, характеризуемое компонентами среднего вектора напряженности $\langle E_1\rangle$, $\langle E_3\rangle$.

В этом случае в матрице возникают сопряженные сингулярные поля электрических и механических величин, которые можно выразить в терминах функции комплексного переменного [3, 4] по формулам

$$\sigma_x = 2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\gamma_k\mu_k^2\Phi_k'(z_k);\quad \varphi = -2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\lambda_k\Phi_k(z_k)$$

$$\sigma_z = 2\,\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\gamma_k\Phi_k'(z_k);\quad \Phi_k'(z_k) = d\Phi_k(z_k)/dz_k$$

$$\tau_{xz}=-2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\gamma_k\mu_k\Phi_k'(z_k);\quad z_k=x+\mu_k z \tag{1.1}$$

$$U=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}p_k\Phi_k(z_k);\quad W=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}q_k\Phi_k(z_k)$$

$$E_x=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\lambda_k\Phi_k'(z_k);\quad E_z=2\,\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\lambda_k\mu_k\Phi_k'(z_k)$$

$$D_x=2\,\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}r_k\mu_k\Phi_k'(z_k);\quad D_z=-2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}r_k\Phi_k'(z_k)$$

Здесь μ_k, γ_k, λ_k, p_k, q_k, r_k определены в [3, 4], $\Phi_k(z_k)$—искомые аналитические функции комплексного переменного z_k.

Условия совместности деформаций системы матрица-включения имеют вид

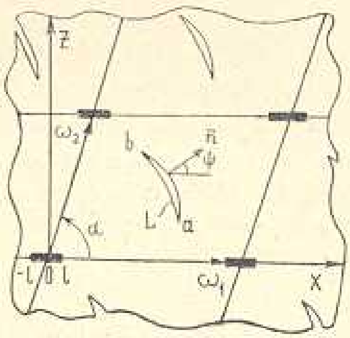
$$0{,}5(\varepsilon_x^+ + \varepsilon_x^-)=\varepsilon_x^0,\quad \varepsilon_x^0=\frac{(1+\mu_0)(1-2\mu_0)}{(1-\mu_0)E_0\delta_0}N \tag{1.2}$$

где N—внутреннее погонное усилие в сечении ленты, перпендикулярном оси Ox; E_0, μ_0, δ_0—соответственно модуль упругости, коэффициент Пуассона и толщина включения.

Решение поставленной задачи (1.2) разыскиваем в виде

$$\Phi_k'(z_k)=B_k+\frac{b_k}{2\pi i}\int_{-l}^{l}g(x)\zeta_k(x-z_k)dx \tag{1.3}$$

Здесь $g(x)$—интенсивность контактных усилий, $\zeta(z_k)$—дзета-функция Вейерштрасса [6], построенная на периодах $\omega_{1k}=\omega_1$, $\omega_{2k}=\mathrm{Re}\,\omega_2+\mu_k\mathrm{Im}\,\omega_2$; ω_k $(k=1,2)$—основные периоды структуры (фиг. 1). Константы b_k определены в [3] при $\omega=0$, $\rho=0$, $P=2\pi$, $A_k=b_k$. B_k определяются из условий, чтобы представления (1.3) обеспечивали существование в структуре заданных средних компонент электрических и механических величин.



Фиг. 1

Условие равновесия включения имеет вид

$$\int_{-l}^{l}g(x)dx=0 \tag{1.4}$$

С учетом (1.4) и свойств дзета-функции Вейерштрасса, можно показать, что представления (1.3) обеспечивают квазипериодичность перемещений и потенциала электрического поля в структуре. Следовательно, условия совместности деформаций (1.2) достаточно выполнить лишь на включении, находящемся в основном параллелограмме периодов.

Можно показать также, что представления (1.3) обеспечивают непрерывную продолжимость через включение перемещений, касательной компоненты вектора напряженности и нормальной составляющей вектора электрической индукции. Касательные напряжения τ_{xz} терпят скачок, определяемый формулой

$$\tau_{xz}^{+}-\tau_{xz}^{-}=-g(x) \tag{1.5}$$

Подставляя предельные значения функций (1.3) в условие совместности деформаций (1.2), приходим к сингулярному интегро-дифференциальному уравнению

$$\int_{-l}^{l}\frac{g(x)dx}{x-x_0}+\int_{-l}^{l}g(x)H(x,x_0)dx+\lambda\int_{x_0}^{l}g(x)dx=M$$

$$aH(x,x_0)=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{b_k}{2\pi i}\left[p_k\zeta(x-x_0)-\frac{p_k}{x-x_0}+xQ_k\right]$$

$$a\lambda=\frac{(1+\mu_0)(1-2\mu_0)}{(1-\mu_0)E_0\delta_0};\quad a=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{p_kb_k}{2\pi i} \tag{1.6}$$

$$aM=-a_{14}\langle\sigma_1\rangle-\frac{a_{12}-S_{44}}{2}\langle\sigma_2\rangle+a_{22}\langle E_2\rangle$$

$$Q_k=\frac{2\pi i(a_{24}\gamma_k\mu_k-a_{22}\lambda_k)}{\omega_1|\omega_2|\sin\alpha}-p_k\frac{\delta_{1k}}{\omega_1}$$

$$\alpha=\arg\omega_2;\quad \delta_{1k}=2\zeta\left(\frac{\omega_{1k}}{2}\right)$$

Здесь a_{ik}, S_{44} определены в [3].

Для фиксации однозначного решения (1.6) в классе h_0 [7] к нему необходимо присоединить дополнительное условие (1.4). На этом построение алгоритма закончено.

2. *Учет дефектов типа трещин в матрице.* Предположим теперь, что матрица ослаблена двоякопериодической системой одинаковых туннельных вдоль оси Oy разрезов L (фиг. 1), на берегах которых заданы компоненты вектора напряжений $X_n^{\pm}$, $Z_n^{\pm}$, одинаковые в конгруентных точках, и также, что главный вектор этих усилий, действующих на обоих берегах разреза, равен нулю.

Кроме условий (1.2) необходимо выполнить краевые условия на берегах разрезов

$$2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\alpha_{nk}[\Phi_k'(t_k)]^{\pm}=W_n^{\pm}\quad(n=1,2)$$

$$2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\alpha_{nk}\{[\Phi_k'(t_k)]^{+}-[\Phi_k'(t_k)]^{-}\}=0\quad(n=3,4) \tag{2.1}$$

где $W_n^{\pm}$ $(n=1,2)$, α_{nk} $(n=1,2,3,4)$ определены в [4], последние два условия в (2.1) вытекают из непрерывной продолжимости касательной составляющей вектора напряженности и нормальной компоненты вектора индукции электрического поля через L.

Искомые функции представим в виде

$$\Phi_k'(z_k) = B_k + \frac{b_k}{2\pi i}\int_{-l}^{l} g(x)\zeta(x - z_k)dx + \frac{1}{2\pi i}\int_L \omega_k(t)\zeta(t_k - z_k)dt_k$$

$$t_k = \mathrm{Re}\, t + \mu_k \mathrm{Im}\, t; \quad t \in L \tag{2.2}$$

Здесь первые два слагаемых соответствуют наличию включений, а последнее—наличию разрезов, $g(x)$, $\omega_k(t)$—искомые функции.

Подставляя предельные значения функций (2.2) в краевые условия (2.1) и равенство (1.2), приходим к смешанной системе интегральных и алгебраических уравнений

$$\int_{-l}^{l}\frac{g(x)dx}{x - x_0} + \int_{-l}^{l} g(x)H(x, x_0)dx + 2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\int_L \omega_k(t)G(t_k, x)dt_k + \lambda\int_{x_0}^{l} g(x)dx = M$$

$$\int_{-l}^{l} g(x)H_n^*(x, t_{k0})dx + 2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{\alpha_{nk}^0}{2\pi i}\int_L \frac{\omega_k(t)dt_k}{t_k - t_{k0}} +$$

$$+ 2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\int_L \omega_k(t)G_n^*(t, t_{k0})dt_k = F_n(t_0) \quad (n = 1, 2)$$

$$2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\alpha_{nk}^0\omega_k(t_0) = W_n(t_0) \quad (n = 1, 2, 3, 4)$$

$$aG(t_k, x_0) = \frac{1}{2\pi i}[p_k\zeta(t_k - x_0) + Q_k t_k]$$

$$H_n^*(x, t_{k0}) = 2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{b_k}{2\pi i}[\alpha_{nk}^0\zeta(x - t_{k0}) - \beta_{nk}^0 x]$$

$$G_n^*(t_k, t_{k0}) = \frac{\alpha_{nk}^0}{2\pi i}\left[\zeta(t_k - t_{k0}) - \frac{1}{t_k - t_{k0}}\right] - \frac{\beta_{nk}^0}{2\pi i}t_k$$

$$\beta_{nk}^0 = \alpha_{nk}^0\frac{\delta_{1k}}{\omega_1} - \gamma_k\mu_k 2\pi i\frac{\cos\psi_0}{H\omega_1}\delta_n^1$$

$$W_1(t) = X_n^+ + X_n^-; \quad W_3(t) = 0 \tag{2.3}$$

$$W_2(t) = -(Z_n^+ + Z_n^-); \quad W_4(t) = 0$$

$$F_1(t) = 0{,}5(X_n^+ - X_n^-) - (\langle\sigma_1\rangle\cos\psi + \langle\tau_{12}\rangle\sin\psi)$$

$$F_2(t) = -0{,}5(Z_n^+ - Z_n^-) + (\langle\tau_{12}\rangle\cos\psi + \langle\sigma_2\rangle\sin\psi)$$

Здесь $\alpha_{nk}^0 = \alpha_{nk}(\psi_0)$; ψ, ψ_0—углы наклона положительной нормали к левому берегу разреза в точках t и t_0 соответственно к оси Ox; δ_n^1—символ Кронекера.

К системе (2.3) добавляем статическое условие на ребре (1.4) и условия однозначности перемещений

$$2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3} p_{nk}\int_{L}\omega_k(t)dt_k=0 \quad (n=1,\ 2)$$

$$p_{1k}=p_k;\ p_{2k}=q_k \quad (k=1,\ 2,\ 3) \tag{2.4}$$

Условия (1.4), (2.4) однозначно фиксируют решение системы (2.3) $\omega_k(t)$, $g(x)$ $(k=1, 2, 3)$ в классе h_0 функций, неограниченных на концах линии интегрирования.

3. Осреднение пьезоэлектрических свойств регулярной пьезокерамической структуры. Следуя работе [2], построим макромодель рассматриваемой структуры. Под этим будем понимать однородную пьезоэлектрическую среду, уравнения состояния которой совпадают с законом связи средних компонент механических напряжений и напряженности электрического поля со средними значениями деформаций и компонент вектора индукции в структуре.

В силу того, что представления (2.2) обеспечивают квазипериодичность полей механических перемещений и потенциала электрического поля в структуре, проблему осреднения заданной структуры можно решить точно.

При переходе от произвольной точки структуры к конгруентной ей механические перемещения получают постоянное приращение, которое, с одной стороны, выражается через средние значения механических деформаций, а с другой—через приращения аналитических функций $\Phi_k(z_k)$. На основании этого имеем

$$\langle\varepsilon_1\rangle=\frac{1}{\omega_1}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}p_k\Delta_1\Phi_k(z_k),\quad \langle\varepsilon_2\rangle=\frac{1}{H}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}q_k\left[\Delta_2\Phi_k(z_k)-\frac{h}{\omega_1}\Delta_1\Phi_k(z_k)\right]$$

$$\langle\gamma_{12}\rangle=\frac{1}{H}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}p_k\left[\Delta_2\Phi_k(z_k)-\frac{h}{\omega_1}\Delta_1\Phi_k(z_k)\right]+\frac{1}{\omega_1}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}q_k\Delta_1\Phi_k(z_k) \tag{3.1}$$

$$\Delta_n\Phi_k(z_k)=\Phi_k(z_k+\omega_{nk})-\Phi_k(z_k) \quad (n=1,\ 2)$$

$$H=|\omega_2|\sin\alpha;\quad h=|\omega_2|\cos\alpha$$

Здесь $\langle\varepsilon_1\rangle$, $\langle\varepsilon_2\rangle$, $\langle\gamma_{12}\rangle$ —средние деформации регулярной структуры.

Введем средние значения вектора индукции электрического поля по формулам

$$\langle D_2\rangle=\frac{1}{\omega_1}\int_{z}^{z+\omega_1}D_2dx \tag{3.2}$$

$$\langle D_n\rangle=\langle D_1\rangle\sin\alpha-\langle D_2\rangle\cos\alpha=\frac{1}{|\omega_2|}\int_{z}^{z+\omega_2}(D_x\sin\alpha-D_z\cos\alpha)dS$$

Используя (1.1), получим

$$\langle D_1\rangle=\frac{1}{H}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}r_k\left[\Delta_2\Phi_k(z_k)-\frac{h}{\omega_1}\Delta_1\Phi_k(z_k)\right]$$

$$\langle D_3\rangle=-\frac{1}{\omega_1}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}r_k\Delta_1\Phi_k(z_k) \tag{3.3}$$

С другой стороны, приращения функций $\Phi_k(z_k)$ находим из (2.2) с учетом свойств сигма-функции Вейерштрасса

$$\Delta_n\Phi_k(z_k)=B_k\omega_{nk}+\Lambda_k\delta_{nk}\quad(n=1,\ 2)$$

$$\Lambda_k=\frac{b_k}{2\pi i}\int_{-l}^{l}xg(x)dx+\frac{1}{2\pi i}\int_{L}t_k\omega_k(t)dt_k \tag{3.4}$$

Здесь функционалы Λ_k построены на решениях уравнений (2.3). Подставляя (3.4) в (3.1) и (3.3), приходим к соотношениям

$$\langle\varepsilon_1\rangle=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}p_kB_k+2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{\delta_{1k}}{\omega_1}p_k\Lambda_k$$

$$\langle\varepsilon_3\rangle=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}q_k\mu_kB_k+2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{\delta_{1k}\mu_kH-2\pi i}{H\omega_1}q_k\Lambda_k$$

$$\langle\gamma_{13}\rangle=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}(p_k\mu_k+q_k)B_k+2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\left(\frac{\delta_{1k}}{\omega_1}q_k+\frac{\delta_{1k}\mu_kH-2\pi i}{H\omega_1}p_k\right)\Lambda_k \tag{3.5}$$

$$\langle D_1\rangle=2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}r_k\mu_kB_k+2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{\delta_{1k}\mu_kH-2\pi i}{H\omega_1}r_k\Lambda_k$$

$$\langle D_3\rangle=-2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}r_kB_k-2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}\frac{\delta_{1k}}{\omega_1}r_k\Lambda_k$$

Учитывая механические и электрические условия на сторонах параллелограмма периодов и вводя стандартные решения системы (2.3) по формулам

$$g(x)=g_1(x)\langle\sigma_1\rangle+g_2(x)\langle\sigma_3\rangle+g_3(x)\langle\tau_{13}\rangle+g_4(x)\langle E_1\rangle+g_5(x)\langle E_3\rangle$$

$$\omega_k(t)=\omega_k^{(1)}(t)\langle\sigma_1\rangle+\omega_k^{(2)}(t)\langle\sigma_3\rangle+\omega_k^{(3)}(t)\langle\tau_{13}\rangle+ \tag{3.6}$$

$$+\omega_k^{(4)}(t)\langle E_1\rangle+\omega_k^{(5)}(t)\langle E_3\rangle$$

получаем уравнения состояния макромодели

$$\langle\varepsilon\rangle=\langle S\rangle\langle\sigma\rangle;\quad\langle S\rangle=\|\langle S_{ij}\rangle\|\quad(i,\ j=1,\ 2,\ \ldots,\ 5)$$

$$\langle\varepsilon\rangle=\begin{bmatrix}\langle\varepsilon_1\rangle\\ \langle\varepsilon_3\rangle\\ \langle\gamma_{13}\rangle\\ \langle E_1\rangle\\ \langle E_3\rangle\end{bmatrix};\quad\langle\sigma\rangle=\begin{bmatrix}\langle\sigma_1\rangle\\ \langle\sigma_3\rangle\\ \langle\tau_{13}\rangle\\ \langle D_1\rangle\\ \langle D_3\rangle\end{bmatrix}$$

$$\langle S_{ij}\rangle=S_{ij}^{*}-\frac{1}{H\omega_1}2\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}B_{ik}\Lambda_k^{(j)}$$

$$B_{1k}=a_{22}\lambda_k-a_{14}\gamma_k\mu_k; \quad B_{2k}=a_{16}\gamma_k\mu_k^{-1}$$

$$\Delta_k^{(j)}=b_k\int\limits_{-l}^{l} xg_j(x)dx+\int\limits_{L} t_k\omega_k^{(j)}(t)dt_k$$

$$S^*_{11}=S_{11}-S^2_{12}S^{-1}_{11}; \quad S^*_{12}=S_{13}-S_{12}S_{13}S^{-1}_{11}$$

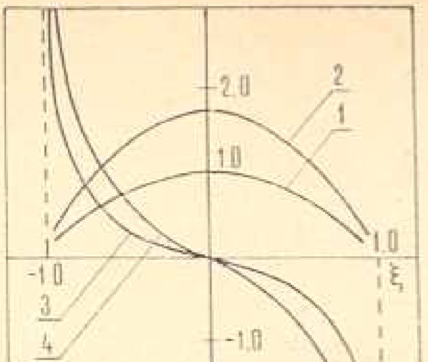
$$S^*_{13}=S^*_{14}=S^*_{23}=S^*_{24}=S^*_{35}=S^*_{45}=0$$

$$S^*_{15}=d_{31}-d_{31}S_{12}S^{-1}_{11}; \quad S^*_{22}=S_{33}-S^2_{13}S^{-1}_{11}$$

$$S^*_{25}=d_{33}-d_{31}S_{13}S^{-1}_{11}; \quad S^*_{33}=S_{44}; \quad S^*_{34}=d_{15}$$

$$S^*_{44}=\varepsilon_{11}; \quad S^*_{55}=\varepsilon_{33}-d^2_{31}S^{-1}_{11}; \quad S^*_{ij}=S^*_{ji}$$

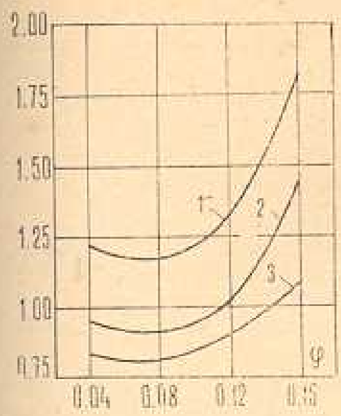
4. *Результаты счета.* Система уравнений (2.3), (1.4), (2.4) была реализована численно по схеме типа Мультоппа. В качестве примера рассматривалась квадратная решетка с периодами $\omega_1=2$, $\omega_2=2l$, с системой прямолинейных включений шириной $2l$, когда в пределах каждой ячейки имеется одна трещина с поперечным сечением в виде дуги окружности $x=10\cos\frac{1+\beta}{2}\varphi-9$, $z=10\sin\frac{1+\beta}{2}\varphi$, $-1\leqslant\beta\leqslant 1$.



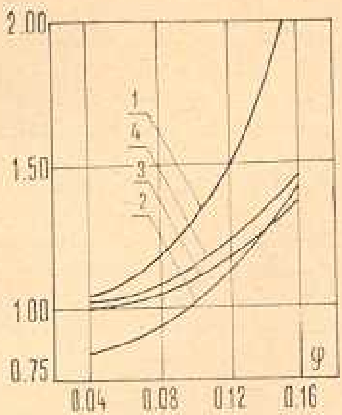
Фиг. 2

На фиг. 2 представлены результаты расчетов относительных усилий в ребре $\langle N\rangle=N/(\langle\sigma_1\rangle l)$ (кривая 1 соответствует $L=0{,}2$, кривая 2 — $L=0{,}8$, $2L$ — длина трещины) и относительного контактного усилия $\langle g(x)\rangle=+g(x)/\langle\sigma_1\rangle$ (кривая 3 соответствует $L=0{,}2$, кривая 4 — $L=0{,}8$) при $\langle\sigma_1\rangle\neq 0$, $\langle\sigma_2\rangle=\langle\tau_{12}\rangle=\langle E_1\rangle=\langle E_3\rangle=0$, $\lambda=0$, $l=0{,}4$; $x=\xi l$, $-1\leqslant\xi\leqslant 1$.

Графики на фиг. 3 иллюстрируют изменение относительных величин $\langle\sigma_n\rangle=\frac{\sigma_n}{\langle\sigma_1\rangle}\sqrt{\frac{2\rho}{L}}$ (кривая 1), $\langle\sigma_S\rangle=\frac{\sigma_S}{\langle\sigma_1\rangle}\sqrt{\frac{2\rho}{L}}$ (кривая 2), $\langle E_S\rangle=\frac{E_S}{\langle\sigma_1\rangle}\sqrt{\frac{2\rho}{L}}\frac{\varepsilon_{11}}{d_{33}}$ (кривая 3) на продолжении за вершину трещины b в функции от параметра φ. Видно, что при увеличении длины трещины, когда перемычка между конгруентными трещинами уменьшается, относительный коэффициент интенсивности $\langle\sigma_n\rangle$ существенно растет, кроме того, кривые на фиг. 3 подтверждают явление разгрузки, обычно имеющее место при взаимном влиянии трещин.



Фиг. 3



Фиг. 4

На фиг. 4 представлены результаты расчетов осредненных параметров структуры. Графики 1, 2 иллюстрируют изменение макропараметра $\langle S_{11}\rangle/S_{11}^*$, графики 3, 4—$\langle S_{33}\rangle/S_{33}^*$. Графики 1, 3, и 2, 4 построены при $l=0{,}2$ и 0,8 соответственно. Остальные макропараметры практически не изменяются. Из результатов видно, что увеличение длины разреза существенно уменьшает жесткость структуры в направлении оси Ox. Это объясняется тем, что при выбранных параметрах разрезы приблизительно прямолинейны и ориентированы вдоль оси Oz.

ԲԱՐԱԿ ԱՌԱՁԳԱԿԱՆ ՆԵՐԴՐԱԿՆԵՐԻ ՌԵԳՈՒԼՅԱՐ ՀԱՄԱԿԱՐԳԸ ՃԵՂՔԵՐՈՎ ԹՈՒԼԱՑՎԱԾ ՊՅԵԶՈԿԵՐԱՄԻԿԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՄԻԱՑՆԵԼՈՒ ՄԱՍԻՆ

Օ. Ա. ԻՎԱՆԵՆԿՈ, Լ. Ա. ՖԻԼՇՏԻՆՍԿԻ

Ամփոփում

Կառուցված է թունելային ճաքերի տիպի դեֆեկտներով թուլացված պյեզոկերամիկական մատրիցայով կոմպոզիցիոն նյութի ժապավենի մոդելը։ Լուծված են այդպիսի կառուցվածքով պյեզոառաձգական հատկությունների միջինացման մասին նոր խնդիրներ։ Բերված են հաշվարկի արդյունքներ։

THE REINFORCEMENT OF PIEZOCERAMIC MATRIX SLACKENED BY SECTIONS BY A REGULAR SYSTEM OF THIN ELASTIC INCLUSIONS

O. A. IVANENKO, L. A. FILSHTINSKY

Summary

A model has been created for a tape-shaped composite material with a matrix attached, the latter being slackened by tunnel crack type defects.

New problems of smoothing the piezoelastic properties of such a structure have been solved and calculation results surveyed.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Саркисян В. С.* Некоторые задачи математической теории упругости анизотропного тела. Ереван: Изд-во Ереванского госуниверситета, 1976. 536 с.
2. *Долгих В. Н., Фильштинский Л. А.* Модель анизотропной среды, армированной тонкими лентами.—ПМ, 1979, т. *15*, № 4, с. 24—30.
3. *Белокопытова Л. В., Иваненко О. А., Фильштинский Л. А.* Передача нагрузки от упругого ребра к полубесконечной пьезокерамической пластинке.—Изв. АН Арм. ССР, Механика, 1981, т. *34*, №5, с. 41—50.
4. *Белокопытова Л. В., Иваненко О. А., Фильштинский Л. А.* Сопряженные электрические и механические поля в пьезоупругих телах с разрезами или включениями. Харьков: Динамика и прочность машин, 1981, вып. 34, с. 16—21.
5. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Физическая акустика. (Под ред. У. Мезона, ч. А, 1). М.: Мир, 1966. 592 с.
6. *Лаврентьев М. А., Шабат Б. В.* Методы теории функций комплексного переменного. М.: Наука, 1973. 736 с.
7. *Мусхелишвили Н. И.* Сингулярные интегральные уравнения. Граничные задачи теории функций и некоторые их приложения к математической физике. М.: Наука, 1968. 511 с.

Сумский филиал Харьковского политехнического института им. В. И. Ленина

Поступила в редакцию 10.VI. 1983.