

$$\tau_{xz}(x,0) = -\frac{2}{\pi} m_{12} x \frac{\Psi(a)}{\sqrt{a^2 - x^2}} + \frac{2}{\pi} m_{12} x \int_a^{\infty} \frac{\Psi'(t)}{\sqrt{t^2 - x^2}} dt +$$

$$+ \frac{2}{\pi} x \sum_{k=1}^2 \frac{b_k^*}{t_k} \left[\int_0^b \frac{\varphi_1(r)}{\left(\frac{x^2}{t_k^2} + r^2\right)^{3/2}} dr + \int_b^{\infty} \frac{r[\varphi_2(r) + F^a(r)]}{\left(\frac{x^2}{t_k^2} + r^2\right)^{3/2}} dr \right], \quad 0 < x < a.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Тоноян В.С., Мелкумян С.А. Симметричная контактная задача для ортотропной полуплоскости с вертикальным полубесконечным разрезом // Симпозиум: Современные проблемы механики контактных взаимодействий. 22-25 ноября, 1992 г., Ереван.
2. Кристенсен Р. Введение в механику композитов. - М.: Мир, 1982. - 334 с.
3. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. - М.: Наука, 1971. - 2108 с.
4. Мелкумян С.А. Контактная задача для полуплоскости с вертикальным конечным разрезом // ДАН АрмССР. - 1972. - № 2. - С. 82-93.
5. Тоноян В.С., Мелкумян С.А. Контактная задача для полуплоскости с вертикальным разрезом // ДАН АрмССР. - Т. 1, 1970. - № 3. С. 144-149.
6. Уфлянд Я.С. Метод парных уравнений в задачах математической физики. - Л.: Наука, 1977. - 220 с.

И-т механики НАН РА

15.X.1995

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 3, 1995, с. 150-156

УДК 539.3:534.1

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.М. САРГСЯН, А.С. ХАЧИКЯН

ВЛИЯНИЕ СВЯЗАННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КУСОЧНО-ОДНОРОДНОМ ТЕЛЕ

Էլեկտրաառաձգականության գծային տեսության դրվածքով ուսումնասիրված է կտոր առ կտոր համասեռ սեպի տեսք ունեցող լայնական կտրվածքով պրիզմայաձև մարմնի լարվածային-դեֆորացիոն վիճակը:

Ցույց է տրված, որ էլեկտրական և մեխանիկական դաշտերի կապակցվածությունն առաձգական լարումների վրա ունի որակական ազդեցություն բաղադրյալ մարմնի միազման մակերևույթի եզրի շրջակայքում:

В постановке линейной теории электроупругости изучено напряженно-деформированное состояние призматического тела с поперечным сечением в виде кусочно-однородного клина. На гранях призматического тела заданы перемещения и электростатические потенциалы.

Показано, что связность механических и электрических полей оказывает качественное влияние на поведение упругих напряжений в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного тела.

Ил. 4. Библиогр.: 10 назв.

The stressed and distorted state of the prismatic body with a cross-section in the form of a piece-homogeneous wedge has been studied in connection with linear theory of electrical elasticity. The displacements and electrostatic potentials are given on the faces of the prismatic body. It is shown that mechanical and electrical field bonding qualitatively influences the elastic stress behaviour in the vicinity of the contact surface edge in a piece-homogeneous body.

Ил. 4. Ref. 10.

Поведение несвязанных стационарных физических полей (тепловых, диффузионных, электрических и магнитных, упругих напряжений при кручении и продольном сдвиге и т.д.) в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного тела изучено в [1-3].

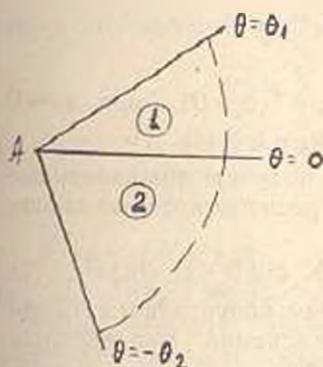


Рис. 1

С целью выяснения влияния связности физических полей на поведение их характеристик (поток тепла и вещества, напряженности электрических и магнитных полей, упругие напряжения и т.д.) в данной работе в качестве примера рассмотрена антиплоская задача электроупругости для составного призматического тела с поперечным сечением в виде кусочно-однородного клина, изготовленного из пьезокристаллов класса 4 мм, 6 мм и т.д. с различными электроупругими свойствами (рис. 1). Главная ось симметрии пьезокристалла (ось z) перпендикулярна плоскости поперечного сечения призматического тела и проходит через вершину составного клина.

В цилиндрической системе координат решение антиплоской задачи электроупругости для составного призматического тела приводится к интегрированию дифференциальных уравнений [4]:

$$\Delta u_j(r, \theta) = 0, \quad \Delta \Phi_j(r, \theta) = 0, \quad j = 1, 2 \quad (1)$$

со следующими граничными

$$u_1(r, \theta_1) = f_1(r), \quad \Phi_1(r, \theta_1) = \psi_1(r) \quad (2)$$

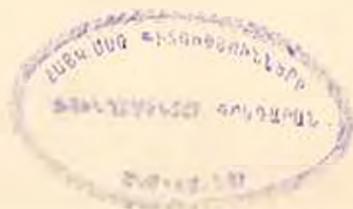
$$u_2(r, -\theta_2) = f_2(r), \quad \Phi_2(r, -\theta_2) = \psi_2(r) \quad (3)$$

и идеальными электроупругими контактными условиями при $\theta = 0$:

$$u_1(r, 0) = u_2(r, 0), \quad \Phi_1(r, 0) = \Phi_2(r, 0) \quad (4)$$

$$c_{44}^{(1)} \frac{\partial u_1}{\partial \theta} + c_{15}^{(1)} \frac{\partial \Phi_1}{\partial \theta} = c_{44}^{(2)} \frac{\partial u_2}{\partial \theta} + c_{15}^{(2)} \frac{\partial \Phi_2}{\partial \theta} \quad (5)$$

$$c_{15}^{(1)} \frac{\partial u_1}{\partial \theta} - \epsilon_1 \frac{\partial \Phi_1}{\partial \theta} = c_{15}^{(2)} \frac{\partial u_2}{\partial \theta} - \epsilon_2 \frac{\partial \Phi_2}{\partial \theta} \quad (6)$$



В (1) - (6) u_j — упругие перемещения; Φ_j — электростатические потенциалы, Δ — двумерный оператор Лапласа; $c_{44}^{(j)}$, $e_{15}^{(j)}$, ϵ_j — модули упругости, пьезомодули, диэлектрические проницаемости пьезоматериалов; $f_j(r)$ и $\psi_j(r)$ — заданные функции.

Условия (5) и (6) получаются из уравнений состояния [4]:

$$\begin{aligned} \tau_{\theta z}^{(j)} &= c_{44}^{(j)} \gamma_{\theta z}^{(j)} - e_{15}^{(j)} E_{\theta}^{(j)}, \quad \tau_{rz}^{(j)} = c_{44}^{(j)} \gamma_{rz}^{(j)} - e_{15}^{(j)} E_r^{(j)}, \\ D_{\theta}^{(j)} &= e_{15}^{(j)} \gamma_{\theta z}^{(j)} + \epsilon_j E_{\theta}^{(j)}, \quad D_r^{(j)} = c_{15}^{(j)} \gamma_{rz}^{(j)} + \epsilon_j E_r^{(j)}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\gamma_{\theta z}^{(j)} = \frac{\partial u_j}{r \partial \theta}, \quad \gamma_{rz}^{(j)} = \frac{\partial u_j}{\partial r}, \quad E_{\theta}^{(j)} = -\frac{\partial \Phi_j}{r \partial \theta}, \quad E_r = -\frac{\partial \Phi_j}{\partial r},$$

где $\tau_{\theta z}$, τ_{rz} , $\gamma_{\theta z}$ и γ_{rz} — компоненты упругих напряжений и деформаций; D_{θ} , D_r , E_{θ} и E_r — компоненты векторов электрической индукции и напряженности электрического поля.

К краевой задаче (1)-(6) применяется преобразование Мелина:

$$\bar{\varphi}(p) = \int_0^{\infty} \varphi(r) r^{p-1} dr, \quad \varphi(r) = \frac{1}{2\pi i} \int_L \bar{\varphi}(p) r^{-p} dp. \quad (8)$$

Если при $r \rightarrow \infty$ функция $\varphi(r)$ исчезает как $r^{-\delta}$ ($\delta > 0$), а при $r \rightarrow 0$ остается ограниченной, то L лежит в полосе $0 < \text{Re } p < \delta$ [5].

Применяя преобразования Мелина к (1), получим обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка, решения которых имеют вид

$$u_j(p, \theta) = A_j \cos p\theta + B_j \sin p\theta, \quad \Phi_j(p, \theta) = K_j \cos \theta + D_j \sin p\theta. \quad (9)$$

Удовлетворяя гранично-контактным условиям, полученным из (2)-(6) после преобразования Мелина, для определения неизвестных коэффициентов A_j , B_j , K_j и D_j получим систему алгебраических уравнений. Определяя A_j , B_j , K_j , D_j , подставляя их в (9) и возвращаясь к оригиналу, для $\tau_{\theta z}$ и τ_{rz} будем иметь

$$\begin{aligned} \tau_{\theta z} &= \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{F_{1j}(p, \theta)}{\Delta_1(p)} r^{-p-1} p dp, \\ \tau_{rz} &= \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{F_{2j}(p, \theta)}{\Delta_1(p)} r^{-p-1} p dp, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$F_{1j}(p, \theta) = [c_{44}^{(j)} B_j' + e_{15}^{(j)} D_j'] \cos p\theta - [c_{44}^{(j)} A_j' + e_{15}^{(j)} K_j'] \sin p\theta,$$

$$F_{2j}(p, \theta) = [c_{44}^{(j)} A_j' + e_{15}^{(j)} K_j'] \cos p\theta + [c_{44}^{(j)} B_j' + e_{15}^{(j)} D_j'] \sin p\theta,$$

$$\Delta_1(p) = Q_- \sin^2 p\theta_- + Q_0 \sin^2 p\theta_0 + Q_+ \sin p\theta_+ \sin p\theta_-.$$

$$Q_{\pm} = a_{\pm}^2 \epsilon_{\pm}^2 + a_0 e_{\pm}^2, \quad Q_0 = a_- \epsilon_- + a_+ \epsilon_+ + 2a_0 e_+ e_-.$$

$$\begin{aligned}
a_{\pm} &= a \pm 1, \quad \epsilon_{\pm} = \epsilon \pm 1, \quad e_{\pm} = e \pm 1, \quad \theta_{\pm} = \theta_1 + \theta_2, \quad C_j = \cos p\theta_j, \\
a &= c_{44}^{(2)} / c_{44}^{(1)}, \quad \epsilon = \epsilon_2' / \epsilon_1, \quad e = e_{15}^{(2)} / e_{15}^{(1)}, \quad a_0 = c_{15}^{(1)} \cdot c_{15}^{(1)} / c_{44}^{(1)} \epsilon_1, \\
(A_j', B_j', K_j', D_j') &= (A_j, B_j, K_j, D_j) \Delta_1(p), \quad S_j = \sin p\theta_j, \\
A_j' &= \bar{f}_1(p) [(1 + a_0) C_1 S + (\epsilon + a_0 e) S_1 C_2] S_2 + \bar{f}_2(p), \\
[(a + a_0 e) C_1 S_2 + (a \epsilon + a_0 e^2) S_1 C_2] S_1 - a_0 \epsilon (e_{15}^{(1)})^{-1} (e - \epsilon), \\
&[\bar{\Psi}_1(p) C_2 - \bar{\Psi}_2(p) \cdot C_1] S_1 S_2.
\end{aligned} \tag{11}$$

Величины B_j', K_j', D_j' имеют аналогичный вид.

Для исследования поведения упругих напряжений в окрестности края поверхности контакта составного тела (точка А на рис. 1) дополним прямую L влево некоторым полукругом и применим теорему о вычетах. Если полюсами подынтегральных функций в (10) являются только корни уравнения

$$\Delta_1(p) = 0 \tag{12}$$

и все они просты, будем иметь

$$\begin{aligned}
\tau_{\theta_2}^{(j)} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_{1j}(-p_n, \theta)}{\Delta_1'(p_n)} p_n \Gamma^{p_n-1}, \\
\tau_{r_2}^{(j)} &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_{2j}(-p_n, \theta)}{\Delta_1'(p_n)} p_n \Gamma^{p_n-1},
\end{aligned} \tag{13}$$

где $\Delta_1'(p) = d\Delta(p)/dp$, $-p_n$ — корни уравнения (12), причем $\text{Re } p_n > 0$, $\text{Re } p_1 < \text{Re } p_2 < \dots$ ($n = 1, 2, 3, \dots$).

На основании (13) заключаем, что около края поверхности контакта характер напряженного состояния определяется величиной действительной части первого корня $p_1 = \xi_1 + i\eta_1$. Если $\xi_1 > 1$, то в окрестности точки А имеет место нулевое напряженное состояние (малонапряженное). При $\xi_1 < 1$ в окрестности угловой точки А напряжения неограниченно возрастают (концентрационное состояние). В случае $\xi_1 = 1$ напряжения в окрестности угловой точки конечны и вообще отличны от нуля (предельное состояние).

Уравнение (12) записывается в виде

$$\begin{aligned}
(\sin p\theta_+ - y_1 \cdot \sin p\theta_-)(\sin p\theta_+ - y_2 \cdot \sin p\theta_-) &= 0, \\
y_{1,2} &= (-Q_3 \pm \sqrt{Q_3^2 - 4Q_4 Q_2}) / 2Q_4.
\end{aligned} \tag{14}$$

Не накладывая ограничений на электроупругие характеристики материалов, рассмотрим случай $\theta_1 = \theta_2$. Из (12) или (14) легко получить, что $p_1 = \pi / 2\theta_1$, т.е. поведение упругих напряжений около угловой точки А не зависит от электромеханических свойств соединяемых пар (пьезоэффект не проявляется).

В другом частном случае $a = e = 1$, $\epsilon \neq 1$ уравнение (14) принимает следующий вид:

$$\sin p\theta_+ \cdot (\sin p\theta_+ - \epsilon \cdot \sin p\theta_-) = 0, \quad \epsilon_{\pm} = (\epsilon - 1) / (\epsilon + 1 + a_0).$$

корни которого действительны и просты [1, 2]. Соответствующие различным значениям ϵ предельные кривые (на которых $\text{Re } p_1 = 1$), разделяющие в плоскости углов растворов однородных клиньев θ_1, θ_2 области малонапряженности ($\text{Re } p_1 > 1$) и концентрации напряжений ($\text{Re } p_1 < 1$), имеют вид, приведенный на рис. 2а и 2б. Области малонапряженности на рис. 2а и 2б заштрихованы. Для однородного клина ($a = 1, e = 1, \epsilon = 1$) предельная кривая представляет собой отрезок прямой $\theta_1 + \theta_2 = \pi$.

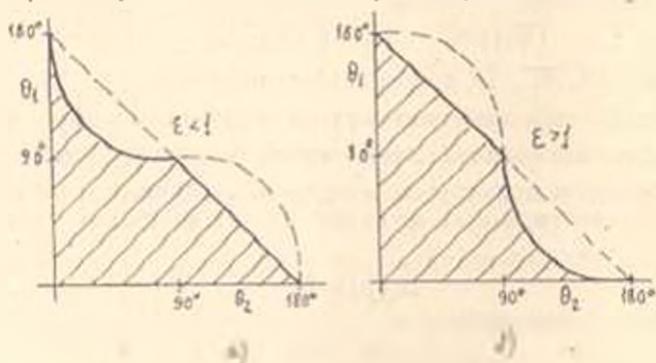


Рис. 2

Как показано в [1, 2], корни уравнения (14) действительны и просты, если только $-1 < y_1 < 1$. В случаях $|y_1| > 1$ или $y_1 = \alpha \pm i\beta$ уравнение (14) может иметь и комплексные корни.

Для соединяемых пар ЦТСЧ-ZnO, ЦТСЧ-CdS, ЦТС19-CdS, ZnO-CdS y_1 и y_2 оказались действительными и меньше единицы, а для пары ЦТСЧ-ЦТС19 — комплексно сопряженными. Материалы соединяемых пар и их свойства заимствованы из [6]. Соответствующие предельные кривые представлены на рис. 3. Там же пунктиром показана предельная кривая для ЦТСЧ-ZnO без учета пьезоэффекта.

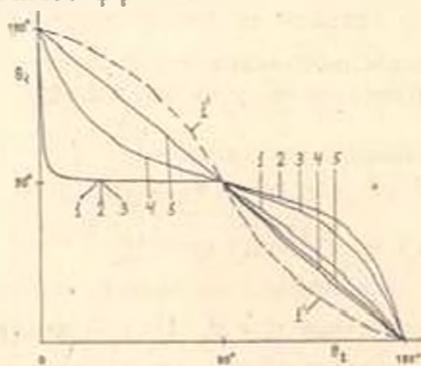


Рис. 3.

Как следует из рис. 2 и 3, связность электрических и механических полей оказывает существенное влияние на поведение упругих напряжений в окрестности края поверхности контакта составного тела. Сравнение кривых 1 и 1' показывает, что в интервале $0 < \theta_2 < \pi/2$ область

малонапряженности уменьшается, а при $\pi/2 < \theta_2 < \pi$ — увеличивается. Аналогичная ситуация имеет место и для других рассмотренных пар.

Все сказанное выше о поведении упругих напряжений справедливо также для компонентов векторов электрической индукции и напряженности электрического поля.

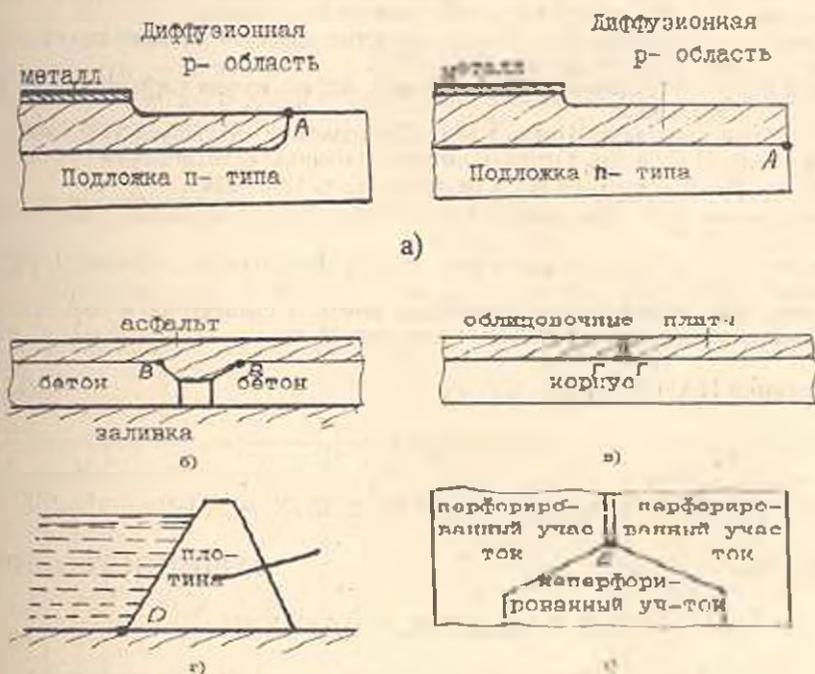


Рис. 4.

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты, а также положения и выводы работ [1, 2] открывают широкие возможности для создания принципиально новых приборов, устройств и технологий, в основе которых лежит принцип целенаправленного изменения поведений характеристик связанных и несвязанных полей в однородных и неоднородных средах. В частности, кроме повышения прочности неразъемных соединений [1, 10], появляется возможность для: устранения причин, приводящих к поверхностному пробою в местах выхода р-п-перехода в силовых полупроводниковых приборах [7] (точка А на рис. 4 а); регулирования диффузионными процессами на границе раздела фаз; устранения трещинообразования в автомобильных дорогах в местах стыка асфальт-бетон [8] (рис. 4 б); устранения причин, приводящих к отслаиванию облицовочных плит (рис. 4 в); регулирования процесса фильтрации на границе раздела сред [9] (рис. 4 г); устранения возникновения трещин в корпусах парогенераторов АЭС в окрестностях угловых точек грани раздела перфорированной и неперфорированной зон (рис. 4 д) и т.д. Область возможных применений результатов данной работы и предшествующих исследований достаточно обширна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чобанян К.С. Напряжения в составных упругих телах. - Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1987. - 338 с.
2. Саргсян А.М., Хачикян А.С. Поведение некоторых физических полей в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного тела // Докл. АН АрмССР. - 1988. - № 4. - С. 161-165.
3. Аксентян О.К., Луцник О.Н. Об условиях ограниченности напряжений у ребра составного клина // Изв. АН СССР. МТТ. - 1978. № 5. С. 102-108.
4. Партон В.З., Кудрявцев Б.А. Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. - М.: Наука, 1988. - 472 с.
5. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости. - М.: Изд-во АН СССР, 1963. - 367 с.
6. Акустические кристаллы /Под ред. М.П. Шаскольской. - М.: Наука, 1982. - 632 с.
7. Агаларзаде П.С. и др. Основы конструирования и технологии обработки поверхности р - п - перехода. -М.: Советское радио, 1978, -224 с.
8. Бугославский А.М. Дорожные асфальто-бетонные покрытия. - М.: Высшая школа, 1965. - 115 с.
9. Прусов И.А. Двумерные краевые задачи фильтрации. - Минск: Изд-во "Университетское", 1987. - 182 с.
10. Давидян Д.Б., Ширинян Р.А. Прочность клеевых наклепочных соединений и явление малонапряженности // Изв. АН Армении. Механика. - 1992. - № 1-2. - С. 69-73.

И-т механики НАН Армении

9. VI.1994

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, № 3, 1995, с. 156-161

УДК 621.937

МАШИНОСТРОЕНИЕ

М.В. КАСЬЯН, Ф.А. ПАРИКЯН

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВЫХ СРЕД НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Նետազոտված է զազային միջավայրի ազդեցությունը կտրման գործընթացի որոշ բնութագրերի, հատկապես մշակված մակերևույթի անհարթությունների, մակերևութային շերտի ամրացման և դիսլոկացիաների խտության վրա: Դիտարկված են մետաղների կտրման ժամանակ զազային միջավայրի ազդեցության և ներթափանցման մեխանիզմները պլաստիկ դեֆորմացման տեղամասում:

Проведено исследование влияния газовых сред на некоторые характеристики процесса резания: на шероховатость обработанной поверхности, упрочнение поверхностного слоя и плотность дислокаций. Рассмотрены механизмы проникновения и влияния газовых сред на процесс пластической деформации при резании металлов.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.

A study of gas medium effect on the cutting process characteristics: roughness of machined surface, hardening of surface layer and dislocation of density has been carried out. Penetration mechanisms and gas medium effect on the plastic deformation process during metal cutting are considered.

Ил. 2. Tables 2. Ref. 3.

В процессе резания в результате воздействия высоких температур, упруго-пластических деформаций, а также физико-химического взаимодействия газовой среды с пластически деформируемыми слоями