

УДК 539.3

КОЕФІЦІЄНТИ ІНТЕНСИВНОСТІ НАПРУЖЕНЬ ДЛЯ ЛІНЗОПОДІБНОГО ОТВОРУ В АНІЗОТРОПНОМУ ТІЛІ ЗА АНТИПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Михайло Саврук, Любов Онишко, Олексій Кваснюк

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, м Львів

На основі розробленого єдиного підходу до розв'язування плоских та антиплоских задач теорії пружності та механіки руйнування ізотропних та ортотропних тіл з гострими та закругленими кутовими вирізами отримано залежності між коефіцієнтами концентрації напружень (ККН) у закругленій вершині напівнескінченного кутового вирізу та коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН) у відповідній гострій вершині для анізотропного тіла. Побудовано розв'язки задач про концентрацію напружень біля гострокутних отворів в анізотропній площині за поздовжнього зсуву на нескінченності. Розв'язок задач для анізотропної площини, послабленої отворами із закругленими вершинами мало-го радіуса кривини, одержано методом сингулярних інтегральних рівнянь (СІР).

Розглянуто анізотропне тіло з овальним отвором діаметром 2ℓ [1] (рис. 1). Контур L краю отвору складається зі симетричних дуг кола радіуса R , кінці яких гладко з'єднані між собою дугами кола радіуса ρ . Край отвору є вільним від зовнішніх зусиль, а на нескінченності задані зсувні напруження τ . Розв'язок задачі для тіла з двокутним лінзоподібним отвором з гострими вершинами отримано граничним переходом, коли $\rho \rightarrow 0$.

Задачу розв'язували методом суперпозиції, взявши потенціал напружень $\Phi_3(z_3)$, $z_3 = x + \mu_3 y$, $\mu_3 = \hat{\gamma}_3 + i\gamma_3^0$ – комплексний корінь характеристичного рівняння [2], у формі [1]

$$\Phi_3(z_3) = \tau + \frac{1}{\pi} \int_{L_3} \frac{\gamma'(t_3)}{t_3 - z_3} dt_3, \quad (1)$$

де L_3 у площині z_3 відповідає овальному контуру L у площині $z = x + iy$.

Для знаходження $\gamma'(t_3)$ отримали СІР

$$\frac{1}{\pi} \int_{L_3} K(t_3, t'_3) \gamma'(t_3) dt_3 + \frac{1}{\pi \ell} \int_{L_3} \gamma'(t_3) dt_3 = -\tau(t'_3), \quad t'_3 \in L_3,$$

де $t_3 = ((1 - i\mu_3)t + (1 + i\mu_3)\bar{t})/2$, $t_3 \in L_3, t \in L$, $K(t_3, t'_3) = \text{Re}((t_3 - t'_3)^{-1} dt'_3 / ds')$, $\tau(t'_3) = -\tau \text{Re}(dt'_3 / ds')$.

Концентрацію напружень у закругленій вершині A овального отвору L (схема на рис. 1а) знайдемо з використанням (1): $\tau_{sz}(A) = K_{III}^V R_{III}(\beta)(\rho)^{-\lambda_{III}} / \sqrt{2\pi}$. Тут s – дугова абсциса точки $t \in L$, λ_{III} – порядок особливості поля напружень у вершині анізотропного клина, $R_{III}(\beta)$ – коефіцієнт впливу закруглення

кутового вирізу на напруження на контурі L , який також залежить від форми контуру та пружних сталих анізотропного матеріалу, K_{III}^V – коефіцієнт інтенсивності напружень у кутовій вершині лінзоподібного отвору, який визначається за допомогою граничного переходу [1] $K_{III}^V = (\lim_{\rho \rightarrow 0} (\sqrt{2\pi\rho^{\lambda_{III}}} \tau_{sz}(A))) / R_{III}(\beta)$.

Для $\gamma_3^0 = \gamma_3 / \chi$, $\hat{\gamma}_3 = (\gamma_3^2 - 1) \sin 2\alpha / 2\chi$, $\chi = (\gamma_3^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)$, α – кут між віссю овалу та головною віссю ортотропії, $\gamma_3 = \sqrt{G_{13}/G_{23}}$, G_{13}, G_{23} – модулі зсуву, наведено значення $k_A \varepsilon^{\lambda_{III}}$, $k_A = \tau_{sz} / \tau$, $\varepsilon = \rho / \ell$ (рис. 1a) та безрозмірних КІН $F_{III}^V = K_{III}^V / (\tau \ell^{\lambda_{III}} \sqrt{\pi})$ (рис. 1b) у гострих вершинах лінзоподібного отвору для кута розхилу $\beta = \pi / 12$ для різних α .

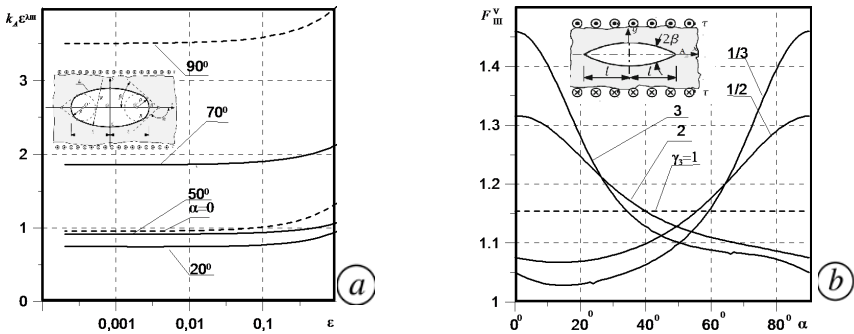


Рис. 1. Залежність $k_A \varepsilon^{\lambda_{III}}$ від відносного радіусу закруглення у вершині овального отвору ε для $\gamma_3 = 3$ за різної орієнтації волокон α (a) та F_{III}^V (b) від α

Штрихові лінії (рис. 1a) відповідають отворах розташованим вздовж головних напрямків ортотропії і добре узгоджуються з відомими даними [2]. Для орієнтації волокон $\alpha = 0$, $\alpha = 90^\circ$ отримаємо відомі значення [2] (рис. 1b). Відзначимо, що спостерігаються кути α , при яких відносні КІН не залежать від характеристик γ_3 .

1. Savruk M.P., Kazberuk A. Stress concentration at notches. – Cham: Springer, 2017. – 516 p.
2. Саврук М.П., Онишко Л.Й., Кваснюк О.І. Розподіл напружень біля кутових вирізів в ортотропній пружній площині за антиплоскої деформації // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2019. – 55, № 3. – С.7–16.

STRESS INTENSITY FACTORS FOR LENS-LIKE HOLE IN AN ANISOTROPIC BODY UNDER ANTIPLANE DEFORMATION

Using the singular integral equation method and the unified approach for problem of stress concentration at the sharp and rounded V-shaped notches the problem on longitudinal shear of anisotropic plane with a lens-like hole are solved. Dimensionless notch stress intensity factors at the tips of lens-like hole with respect to angle α are obtained.