

**ПРУЖНА ТА ГРАНИЧНА РІВНОВАГА ПЛАСТИНЧАСТОГО
ЕЛЕМЕНТУ КОНСТРУКЦІЇ З КРИВОЛІНІЙНИМ ОТВОРОМ**

Досліджено пружно-рівноважний стан пластинчастого елемента, який знаходиться під дією різноманітних силових факторів, послабленого криволінійним отвором. Отримані формули комплексних потенціалів, за якими визначена концентрація та інтенсивність напружень.

Doc. O.I. Dumanskij; assist. B.O. Bekas – USUFWT

**Elastic and limiting balance of the lamellar element of the design
with the curvilinear aperture**

The offered operation is dedicated to research of tight – equilibrium state of a flap-type unit, loosened curvilinear hole, which one is under an operation of the different power factors. The formulas of complex potentials are obtained, from which one it is possible to define density and intensity of efforts.

Актуальність досліджень

Часто, з практичних потреб, необхідно порушувати суцільність пластинчастих елементів тонкостінних конструкцій вирізами, надрізами, щілинами тощо. Наприклад, з метою полегшення конструкції, утворення проходів для інших деталей, кабелів і т.д. Взагалі, внаслідок експлуатації конструкції можуть утворюватись різної форми дефекти і часто, в більшості випадків, вони можуть мати тріщиноподібний вигляд, тобто вигляд гострокінцевих дефектів (розкритої тріщини). У таких випадках, досить мала за розмірами тріщина може за певних умов, спонтанно розвиваючись призвести до руйнування конструкції.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій, яким присвячена
означена стаття**

У фундаментальних наукових роботах та монографіях М.І. Мусхелішвілі, Г.М. Савіна, В.В. Панасюка, О.С. Космодам'янського, А.А. Камінського, М.П. Саврука, Г.П. Черепанова та інших представлений широкий спектр досліджень пружного та гранично-рівноважного стану пластинчастих та оболонкових елементів, підданих дії різноманітних силових або температурних факторів, тобто, необхідність та доцільність цього напрямку досліджень в механіці суцільного деформівного середовища не викликає сумніву. У більшості із цих задач розглядається пружно-деформівний стан пластинчастих або оболонкових елементів конструкцій з простою геометричною конфігурацією криволінійних отворів, тріщин, надрізів та ін. Але часто у проектуванні конструкцій потрібні отвори складнішої конфігурації, утворюються тріщини різного напрямку, їх різноманітні напрямки розгалужень тощо. Дослідження, проведені у працях [1-4], присвячені гранично-рівноважному стану пластинчастих елементів, послаблених тріщинами у вигляді математичних розрізів (віддаль між берегами тріщини дорівнює нулю). Широкий набір задач та методика їх розв'язання наведено у монографії [5], стосовно пружної та граничної рівноваги анізотропних пластинок з отворами та тріщинами.

У цій роботі наведено дослідження пружного та гранично-рівноважного стану пластинчастого елемента конструкції при дії певних силових факторів, послабленого криволінійним отвором із заокругленими (досліджується концентрація напружень) або гострокінцевими вершинами – розкрита тріщина (розглядається інтенсивність розподілу напружень). Дослідження мають більш загальний характер, порівняно із проведеними іншими авторами, оскільки розглядається концентрація розподілу напружень вздовж гладкого криволінійного контуру та знайдено інтенсивність напружень у вершині гострокінцевого отвору – розкритої тріщини.

Основний матеріал дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Розглядається пружний ізотропний пластинчастий елемент конструкції, який послаблений криволінійним отвором, контур якого описується такими параметричними рівняннями:

$$\begin{cases} x(\theta) = A \cos \theta \left(1 + \frac{m(1-t)}{1-2t \cos 2\theta + t^2} \right), \\ y(\theta) = A \sin \theta \left(1 - \frac{m(1+t)}{1-2t \cos 2\theta + t^2} \right), \end{cases} \quad (1)$$

де: $0 \leq \theta \leq 2\pi, \varepsilon = b/a, 0 \leq \varepsilon \leq 1; \quad m = \frac{(1-\varepsilon)(1-t^2)}{(1-t) + (1+t)\varepsilon}; \quad A = \frac{a}{2}[1-t + (1+t)\varepsilon];$

$a = x(0)$ – віддаль від центру отвору до найбільш віддаленої точки отвору; b – радіус вписаного кола в отвір; t – параметр, який обчислюється за такою формулою:

$$t = \frac{r_0/a(1-2\varepsilon) + \varepsilon(2-\varepsilon) - 2\sqrt{r_0/a(1-r_0/a)(1-\varepsilon^2)}}{(2-\varepsilon)^2 - r_0/a(5+4\varepsilon)}$$

і приймає значення ($|t| \leq 1$), r_0 – радіус заокруглення вершин отвору. Якщо $\varepsilon=0.5$ і $r_0/a=0.5$, то параметричні рівняння (1) опишуть криволінійний контур з паралельними берегами (рис. 1); при $\varepsilon=0.2$ і $r_0/a=0.5$ маємо криволінійний отвір з симетричними берегами (рис. 2).

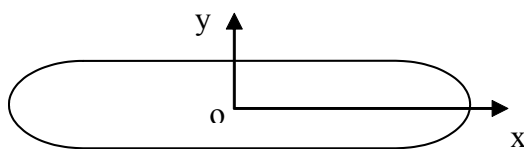


Рис. 1. Криволінійний контур отвору з паралельними берегами

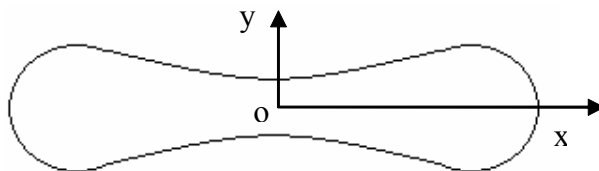


Рис. 2. Криволінійний контур отвору з симетричними берегами

Зокрема, при $r_0=0$ і $0 \leq \varepsilon \leq 1$ маємо криволінійний отвір (тріщиноподібний) з двома гострокінцевими вершинами із певною віддаллю d між берегами тріщини, тобто розкрити тріщину (рис. 3).

Віднесемо цей елемент до прямокутної системи декартових координат xOy так, що початок координат збігається з центром отвору, площина xOy – із серединною поверхнею пластини, а вісь Ox проходить через одну із його

вершин. Пластинчастий елемент підданий дії у нескінченно віддалених його точках розтягу або стиску зовнішніми зусиллями p і q , які діють у взаємно перпендикулярних напрямках, причому так, що зусилля p напрямлені під кутом α до осі Ox або зсувним зусиллям τ . На контурі отвору діють рівномірно розподілений тиск до його берегів інтенсивності p_1 або дотичні зусилля T . Потрібно визначити концентрацію напружень, що виникає навколо отвору, якщо його границя є гладкою лінією або розподіл інтенсивності напружень при гострокінцевому контурі отвору.

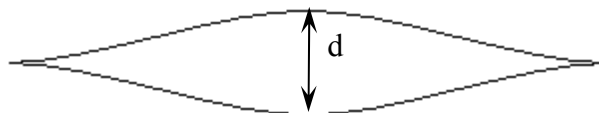


Рис. 3. Криволінійний контур отвору (тріщиноподібний) з двома гострокінцевими вершинами

Зауважимо, що при $t=0$ рівняння (1) опишуть контур еліптичного отвору, а при $m=0$ – круговий отвір.

Дослідимо напружено-деформівний стан пластинчастого елемента, послабленого криволінійним отвором, який описується параметричними рівняннями (1). Для розв'язання поставленої задачі скористаємося методом М.І. Мусхелішвілі [6] з використанням конформно перетворюючої функції

$$z = \omega(\zeta) = A \left(\zeta + \frac{m\zeta}{\zeta^2 - t} \right), \quad (2)$$

яка перетворює область пластичного елемента з криволінійним контуром, описаним рівнянням (1) на зовнішність кругового отвору $|\zeta| \geq 1$, тобто, розв'язання задачі зводиться до знаходження двох регулярних у площині $|\zeta| \geq 1$ функцій $\phi(\zeta)$ і $\psi(\zeta)$, які знаходимо із контурної умови [6]:

$$\phi(\sigma) + \frac{\omega(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \overline{\phi'(\sigma) + \psi(\sigma)} = f(\sigma), \quad \sigma \in \gamma. \quad (3)$$

Залежно від заданого типу навантаження, надаємо функціям $\phi(\zeta)$ і $\psi(\zeta)$ такий вигляд:

$$\begin{aligned} \phi(\zeta) &= \Gamma \omega(\zeta) - \frac{X + iY}{2\pi(1 + \chi)} \ln[\omega(\zeta) - \omega(\zeta_0)] + \phi_0(\zeta), \\ \psi(\zeta) &= (\Gamma' + i\tau)\omega(\zeta) + \frac{\chi(X - iY)}{2\pi(1 + \chi)} \ln[\omega(\zeta) - \omega(\zeta_0)] + \\ &+ \left[\frac{iM_0}{2\pi} + \frac{\omega(\zeta_0)}{2\pi(1 + \chi)} (X + iY) \right] \frac{1}{\omega(\zeta) - \omega(\zeta_0)} + \psi_0(\zeta), \\ f(\sigma) &= -p_1\omega(\sigma), \end{aligned} \quad (4)$$

де: X, Y – компоненти зосередженої сили P і пара сил з моментом M_0 , прикладених у точці ζ_0 ; Γ і Γ' – постійні, які виражаються через напруження в нескінченно віддалених точках наступними формулами: $\Gamma = 1/4(p + q)$, $\Gamma' = -1/2(p - q)e^{-2i\theta}$; τ – інтенсивність дотичних напружень на нескінченності, p_1 – інтенсивність

рівномірно розподіленого навантаження на контурі отвору, $\varphi_0(\zeta)$ і $\psi_0(\zeta)$ – регулярні в області ζ функції, включаючи нескінченно віддалену точку. З контурної умови (3) визначаємо комплексні потенціали залежно від дії певного силового фактору.

Оскільки, розподіл напружень вздовж границі отвору виражається згідно з формулою [7]

$$\sigma_\theta = 4 \operatorname{Re} \left[\frac{\varphi'(\sigma)}{\omega'(\sigma)} \right], \quad (5)$$

то обмежимося записом виразу знайденого комплексного потенціалу $\varphi(\zeta)$, конкретизуючи його вигляд, при дії різноманітних силових факторів.

1. При дії рівномірно розподілених зусиль інтенсивності p і q під кута α до горизонтальної осі отвору в нескінченно віддалених точках елементу

$$\varphi(\zeta) = \frac{Ap}{4(\zeta^2 - t)} \left\{ (1 + \eta_0)(\zeta^2 - t - C_1) + 2(1 - \eta_0)e^{2i\alpha} \left[\frac{\zeta^2 - t}{\zeta} - C_2\zeta^3 e^{-4i\alpha} - C_3\zeta \right] \right\}, \quad (6)$$

де:
$$C_1 = \frac{m(1-t^2)^2}{(1-t^2)^2 - 2mt(1+t^2)}; \quad C_2 = \frac{1}{h} m(1-t^2)^2 \left[(1-t^2)^2 - mt(1+t^2) \right];$$

$$C_3 = \frac{1}{h} m^2 (1-t^2)^2 (1+t^2); \quad h = (1+t^2)(1+3t^2)m^2 - ((1-t^2)^2 - mt(1+t^2)), \quad \eta_0 = q/p.$$

2. Пластинчастий елемент знаходиться під дією зсувних зусиль інтенсивності τ :

$$\varphi(\zeta) = iA\tau \left(\frac{1}{\zeta} + \frac{C_2\zeta^3 - C_3\zeta}{\zeta^2 - t} \right). \quad (7)$$

Пластинчастий елемент знаходиться під дією рівномірного тиску інтенсивності p_1 і дотичних (зсувних) зусиль інтенсивності T на береги контуру отвору:

$$\varphi(\zeta) = -\frac{p_1 Am}{\zeta^2 - t}; \quad \varphi(\zeta) = -\frac{TAmi}{\zeta^2 - t}. \quad (8)$$

Якщо у формулі (6) прийняти $\eta_0 = 1$ або $\alpha = \pi/2$, $\eta_0 = 0$, або $\alpha = 0$, $\eta_0 = 0$, то одержимо вирази комплексних потенціалів при усесторонньому і односторонніх діях розтягуючи зусиль, відповідно впоперек або вздовж горизонтальної осі отвору.

Напружено-деформівний стан пластинчастого елементу

Згідно з формулою (5), обчислимо концентрацію напружень вздовж контуру отвору при дії:

а) розтягу зусиллями p і q під кутом α до горизонтальної осі отвору

$$\sigma_\theta = p \frac{a_1 a_2 + b_1 b_2}{a_2^2 + b_2^2}, \quad (9)$$

де:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (1 + \eta_0) [(\cos 2\theta - t)^2 - \sin^2 2\theta] - 2(1 - \eta_0) [(\cos 2\theta - t)^2 - \sin^2 2\theta] \cos 2(\alpha - \theta) + 4(1 - \eta_0) \times \\
 &\quad \times \sin 2(\alpha - \theta) \sin 2\theta (\cos 2\theta - t) + (1 + \eta_0) C_1 [\cos 2\theta + t] + 2C_3 (1 - \eta_0) [\cos 2(\alpha + 3\theta) + \\
 &\quad + t \cos(2\alpha)] + 2(1 - \eta_0) C_2 [3t \cos 2(\alpha - \theta) - \cos 2(\alpha - 2\theta)] ; \\
 b_1 &= 2(1 + \eta_0) \sin 2\theta (\cos 2\theta - t) - 2(1 - \eta_0) [2 \sin 2\theta (\cos 2\theta - t) \cos 2(\alpha - \theta) + \sin 2(\alpha - \theta) \times \\
 &\quad \times (\cos 2\theta - t)^2 - \sin^2 2\theta \sin 2(\alpha - \theta)] + (1 + \eta_0) C_1 \sin 2\theta + 2(1 - \eta_0) C_3 [\sin 2(\alpha + \theta) + \\
 &\quad + t \sin(2\alpha)] - 2C_2 (1 - \eta_0) [3t \sin 2(\alpha - \theta) - \sin 2(\alpha + 2\theta) +] ; \\
 a_2 &= (\cos \theta - t)^2 - \sin^2 2\theta - mt - m \cos 2\theta ; \\
 b_2 &= \sin 2\theta [2(\cos 2\theta - t) - m], \quad \eta_0 = q / p .
 \end{aligned}$$

Коефіцієнти C_1, C_2, C_3 мають аналогічні значення, як і у формулах (6).

Якщо у формулі (9) теж покласти $\eta_0 = 1$ або $\alpha = \pi/2$, $\eta_0 = 0$, або $\alpha = 0$, $\eta_0 = 0$, то обчислимо значення концентрації напружень вздовж контуру отвору при усесторонньому і односторонніх діях розтягуючи зусиль відповідно впоперек або вздовж горизонтальної осі отвору.

б) зсувних зусиль інтенсивності τ :

$$\sigma_\theta = 4\tau \frac{a'_1 \cdot a_2 - b'_1 \cdot b_2}{a_1^2 + b_2^2}, \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 \text{де } a'_1 &= [(\cos 2\theta - t)^2 - \sin^2 2\theta] \sin 2\theta + 2 \cos 2\theta \sin 2\theta (\cos 2\theta - t) - C_3 \sin 6\theta - \\
 &\quad + C_2 [3t \sin 2\theta - \sin 8\theta] ;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b'_1 &= 2 \sin 2\theta (\cos \theta - t) \sin 2\theta + \cos 2\theta (\cos 2\theta - t)^2 - C_3 (\cos 2\theta + \\
 &\quad - t) - C_2 [3t \sin 2\theta - \cos 8\theta + 3t \cos 2\theta].
 \end{aligned}$$

Коефіцієнти a_2 і b_2 мають аналогічний вираз, як і у попередніх формулах.

в) на контур отвору рівномірно розподілених і зсувних зусиль інтенсивності p_1 та T :

$$\sigma_\theta = 8p_1 m \frac{A'_1}{B'_1}, \quad \sigma_\theta = 8Tm \frac{A''_1}{B'_1}, \quad (11)$$

$$\text{де: } A'_1 = \cos 3\theta - 2t \cos 2\theta + t^2 \cos \theta - 2m, \quad A''_1 = \sin 3\theta + 2t \sin \theta - t^2 \sin \theta ;$$

$$\begin{aligned}
 B'_1 &= (1 + t^2)^2 + 4t^2 \cos 2\theta (1 - t \cos 2\theta) - 4m (\cos 3\theta - 2t \cos \theta + t^2 \cos \theta) + \\
 &\quad + 4m^2 - 4t \cos 2\theta .
 \end{aligned}$$

Оскільки, максимальні значення концентрації напружень будуть у вершинах отвору при будь-якій дії силових факторів, за винятком зсувних зусиль на торцях пластини та контурі отвору, то прийнявши у виразах (9), (10) $\theta=0$, одержимо формули для обчислення коефіцієнта концентрації напружень K у вершинах отворів залежно від радіуса заокруглення вершин, при різних величинах розкриття отвору ε та орієнтуванні прикладених зовнішніх зусиль, у вигляді:

- усесторонній розтяг зусиллями інтенсивності p ($\eta_0=1$)

$$K = \frac{(1-t)^2 + (1+t)d}{(1-t)^2 - m(1+t)}, \quad d = \frac{m(1-t^2)^2}{(1-t^2)^2 - 2tm(1+t^2)}, \quad m = \frac{(1-\varepsilon)(1-t^2)}{(1-t)+(1+t)\varepsilon}; \quad (12)$$

- односторонній розтяг зусиллями інтенсивності p впоперек горизонтальної осі отвору ($\eta_0=0, \alpha=\pi/2$)

$$K = \frac{3(1-t)^2 + (1+t)(1+2t)d}{(1-t)^2 - m(1+t)}; \quad (13)$$

- односторонній розтяг зусиллями інтенсивності p вздовж горизонтальної осі отвору ($\eta_0=0, \alpha=0$)

$$K = \frac{(1-t)^2 - d(1-t-2t^2)}{(1-t)^2 - m(1+t)}; \quad (14)$$

- рівномірний тиск інтенсивності p_1 на контурі отвору

$$K = \frac{(1-t)^2 - 2m}{(1+t^2)^2 + 4(1-t)(t^2 - m(1+t))}. \quad (15)$$

Значення коефіцієнта концентрації напружень $K=0$ у вершинах отвору при дії зсувних зусиль інтенсивності τ на торцях пластинчастого елемента або T на контурі отвору.

Прийнявши у формулах значень коефіцієнтів концентрації напружень K відповідно $t=0$, одержимо значення K для еліптичного отвору, а далі і $m=0$ – для кругового отвору.

Гранично-рівноважений стан пластинчастого елемента

У випадку гострокінцевого криволінійного отвору ($r_0/a=0$) – маємо тріщиноподібний дефект. За визначеними комплексними потенціалами (6-12), залежно від типу силового навантаження знаходимо інтенсивність розподілу напружень у вершинах дефекту, які виражаються через коефіцієнти інтенсивності напружень [8].

Наприклад, значення коефіцієнтів інтенсивності розподілу напружень, при дії рівномірно розподілених зусиль інтенсивності p і q у взаємно перпендикулярних напрямках і при напрямленні зусилля p під кутом α до горизонтальної осі дефекту мають такий вигляд:

$$k_1 = \frac{p\sqrt{a}}{2(2-\varepsilon)} \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \left[(1+\eta_0) \frac{(2-\varepsilon)(2+\varepsilon^2)}{2(1+\varepsilon)(1+\varepsilon^2)+\varepsilon^3} - 2(1-\eta_0) \frac{4-\varepsilon(2-\varepsilon)(2-2\varepsilon+\varepsilon^2)}{(2-\varepsilon)[2-\varepsilon(2-2\varepsilon+\varepsilon^2)]} \cos 2\alpha \right], \quad (16)$$

$$k_2 = \frac{2p\sqrt{a}(1+\varepsilon)}{(2-\varepsilon)^2} (1-\eta_0) \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \sin 2\alpha, \quad \text{де } \eta_0 = q/p.$$

Отримаємо значення коефіцієнтів інтенсивності напружень, розглядаючи частинні випадки орієнтації розтягуючих зусиль відносно тріщини при розтягуванні пластинчастого елемента:

- при усесторонньому розтягуванні ($\eta_0=1$)

$$k_1 = \frac{p\sqrt{a}}{(2-\varepsilon)} \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \left[\frac{(2-\varepsilon)(2+\varepsilon^2)}{2(1+\varepsilon)(1+\varepsilon^2)+\varepsilon^3} \right]; \quad k_2 = 0; \quad (17)$$

- при односторонньому розтягуванні (впоперек горизонтальної осі тріщини $\eta_0=0$ і $\alpha=\pi/2$)

$$k_1 = \frac{p\sqrt{a}}{2(2-\varepsilon)} \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \left[\frac{(2-\varepsilon)(2+\varepsilon^2)}{2(1+\varepsilon)(1+\varepsilon^2)+\varepsilon^3} + 2 \frac{4-\varepsilon(2-\varepsilon)(2-2\varepsilon+\varepsilon^2)}{(2-\varepsilon)[2-\varepsilon(2-2\varepsilon+\varepsilon^2)]} \right]; k_2 = 0; \quad (18)$$

- при односторонньому розтягуванні (вдovж горизонтальної осі тріщини $\eta_0=0$ і $\alpha=0$)

$$k_1 = \frac{p\sqrt{a}}{2(2-\varepsilon)} \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}} \left[\frac{(2-\varepsilon)(2+\varepsilon^2)}{2(1+\varepsilon)(1+\varepsilon^2)+\varepsilon^3} - 2 \frac{4-\varepsilon(2-\varepsilon)(2-2\varepsilon+\varepsilon^2)}{(2-\varepsilon)[2-\varepsilon(2-2\varepsilon+\varepsilon^2)]} \right]; k_2 = 0; \quad (19)$$

- при дії зсувних зусиль інтенсивності τ

$$k_1 = 0; \quad k_2 = \frac{4\tau\sqrt{a}(1+\varepsilon)}{(2-\varepsilon)^2} \sqrt{\frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}}. \quad (20)$$

Прийнявши у формулах (17-20) значень коефіцієнтів інтенсивності напружень параметр $\varepsilon=0$, отримаємо їх значення для прямолінійної тріщини (задача Гріффітса).

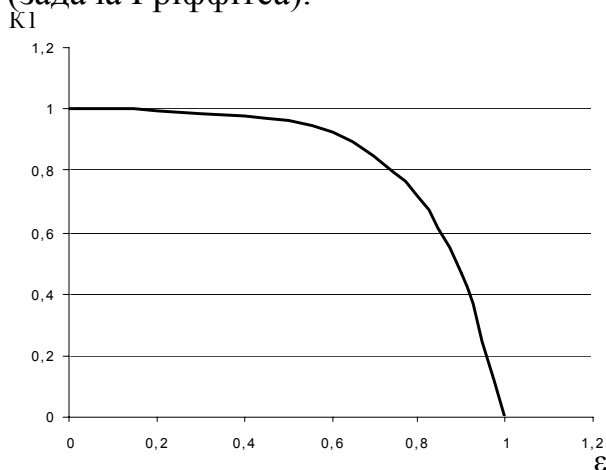


Рис. 4. K_1 при розтягуванні впоперек лінії отвору

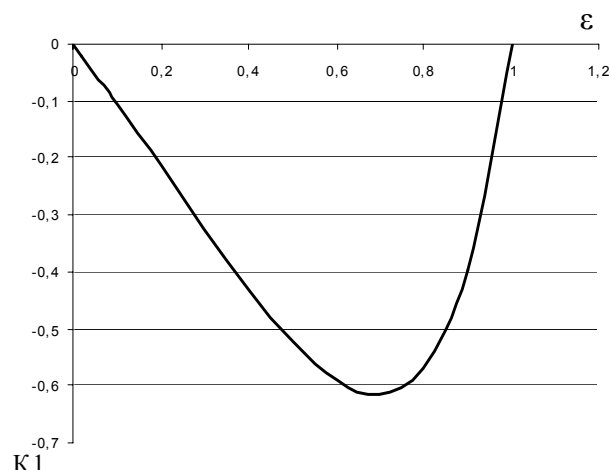


Рис. 5. K_1 при розтягуванні вздовж лінії отвору

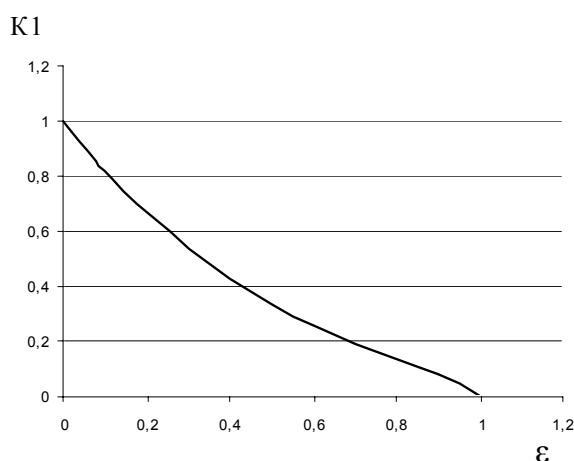


Рис. 6. K_1 при устесторонньому розтягуванні

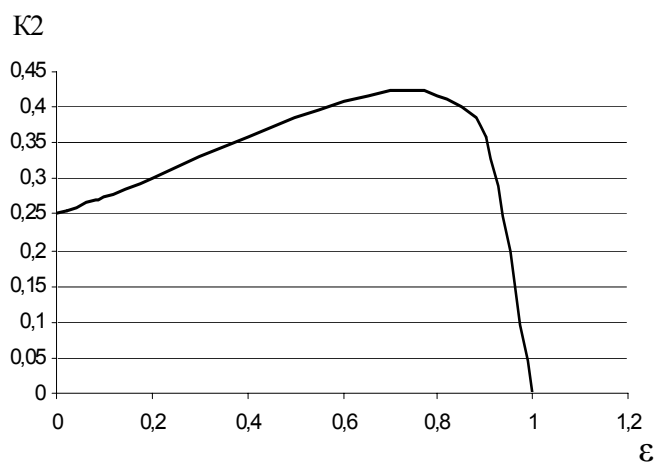


Рис. 7. K_2 при зсуві

На рис. 4-6 наведено графіки зміни значень коефіцієнта інтенсивності напружень K_1 у вершині тріщини при дії розтягуючих, а на рис. 7 – при дії зсувних зусиль, обчислених, згідно з формулами (17-20).

Висновки

При зміні параметра ε і r_0/a можемо змінювати геометричну конфігурацію контуру криволінійного отвору (від кругового до отворів типу рис. 1, рис. 2 або інші), тобто проводити розрахунки розподілу концентрації напружень у випадку заокруглених вершин отвору та інтенсивності напружень – при гострокінцевих вершинах для різноманітної системи отворів. Як бачимо із рисунка та таблиці, значення коефіцієнтів концентрації напружень є досить великими, наприклад, порівняно із круговим ($k=3$) або еліптичним ($k=1+2\cdot a/b$, a, b – відповідно велика і мала півосі еліпса) отворами.

Література

1. Саврук М.П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. – К.: Наук. думка, 1981. – 324 с.
2. Саврук М.П. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами. – К.: Наук. думка, 1988. – 620 с.
3. Саврук М.П., Осив П.Н., Прокопчук И.В. Численный анализ в плоских задачах теории трещин. – К.: Наук. думка, 1989. – 248 с.
4. Стащук Н.Г. Задачи механики упругих тел с трещиноподобными дефектами. – К.: Наук. думка, 1993. – 359 с.
5. Божедарнік В.В., Максимович О.В. Пружна та гранична рівновага анізотропних пластинок з отворами і тріщинами. – Луцьк: ЛДТУ, 2003. – 240 с.
6. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. – М.: Наука, 1966. – 707 с.
7. Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. – К.: Наук. думка, 1968. – 887 с.
8. Панасюк В.В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. – К.: Наук. думка, 1968. – 248 с.

УДК 502.5.(477.86)

*Доц. Б.І. Хархаліс¹, канд. техн. наук – УкрДЛТУ;
студ. М.Б. Хархаліс² – НУ "Львівська політехніка";
студ. М.П. Гожельник³; студ. О.В. Янчук³ – УкрДЛТУ*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ МАЛИХ МІСТ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

З метою формування основних засад управління малими містами досліджено екологічний стан трьох міст Львівської області: Самбора, Золочева, Новояворівська. У результаті досліджень сформовано основні принципи управління екосистемами малих міст.

Ключові слова: мале місто, управління, екологічний стан, система

*Doc. B.I. Harhalis – USUFWT; stud. M.B. Harhalis – NU "L'viv's'ka
politekhnikha"; stud. M.P. Godzelnik; stud. O.V. Yanchook – USUFWT*

Research of the ecological state of the Lviv region littlest towns

To create the basis of the management little town system research of the ecological state the three towns of the Lviv region: Sambir, Zolochiv, Novoyavorivsk. As a result of that the principles of the management system have been created.

Keywords: Little town, management, ecological state, system.

¹ кафедра екології Українського державного лісотехнічного університету (УкрДЛТУ), 79053, м.Львів, а/с 433, т. 230-14-22;

² Національний університет "Львівська політехніка" (НУ "ЛП"), 79053, м.Львів, а/с 433 т. 320-14-22;

³ Український державний лісотехнічний університет (УкрДЛТУ), 79005, м.Львів, вул. О.Кобилянської, 1, т. 72-57-92