

ОРТОТРОПНА ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНА ЗАМКНУТА ЦИЛІНДРИЧНА ОБОЛОНКА З ДВОМА ПОПЕРЕЧНИМИ ПОВЕРХНЕВИМИ ТРІЩИНАМИ

Пружно-пластичну задачу про напружений стан ортотропної циліндричної оболонки з поверхневими тріщинами заданих розмірів зведено до задачі про пружну рівновагу такої ж оболонки з наскрізними тріщинами невідомої довжини, а останню – до розв'язування системи інтегральних рівнянь з невідомими межами інтегрування. Побудовано числовий розв'язок отриманої системи і досліджено вплив анізотропії та геометричних параметрів оболонки на взаємодію двох поверхневих тріщин.

Вступ. Міцність реальних твердих тіл залежить не тільки від їх фізико-хімічної природи, а й істотно – від дефектності їх структури. Розв'язати проблему руйнування матеріалів можна успішно, врахувавши дефекти, що містяться в тілі (мікро- та макротріщини, різного походження порожнини та включення, межі блоків і зерен структури тощо), а також конструктивні розрізи і включення. Під час деформації твердого тіла в околі таких концентраторів зростає інтенсивність напружень, що веде до пластичного течіння матеріалу, утворення та поширення тріщин, тобто локального чи повного руйнування тіла [2, 4]. Науково-технічний прогрес ставить високі вимоги до міцності конструкційних матеріалів, які певною мірою задовольняють нові композиційні матеріали, зокрема армовані надміцними волокнами пластики. Їм притаманна низка специфічних механічних властивостей – анізотропія деформативних та міцнісних властивостей, порівняно низька зсувна жорсткість. Ефективне конструювання виробів з таких матеріалів можливе лише за врахування та правильного використання таких характеристик. Так як високоміцні матеріали схильні до крихкого та квазікрихкого руйнування, то дефекти, особливо гострокінцеві, суттєво впливають на міцність конструкцій. Щоб оцінити їх вплив на напружений стан і граничну рівновагу тіла, доцільно дослідити концентратори напружень, наприклад, наскрізні та поверхневі тріщини, які є найнебезпечнішими для руйнування [3].

Формулювання задачі. Розглянемо ортотропну безмежну замкнуту циліндричну оболонку, віднесену до циліндричної системи координат $\alpha\beta\gamma$. Оболонка ослаблена двома співвісними поперечними поверхневими тріщинами однакової довжини $2l_0$ і глибини $2d$, віддаль між центрами яких $2d_1$ (рис. 1). Тріщини розміщені вздовж координатної лінії $\alpha = 0$; початок координат у центрі відрізка, що з'єднує вершини тріщин. Вважатимемо, що оболонка і береги тріщин завантажені лише симетричними відносно площин тріщин зусиллями та моментами. Під час деформації береги тріщин не контактують. Обмежимося розглядом досить глибоких тріщин ($d \geq 0,4h$, $2h$ – товщина оболонки), які можуть виходити як на зовнішню, так і на внутрішню поверхню оболонки. Розміри тріщин, рівень зовнішнього навантаження та властивості матеріалу передбачаємо такими, що біля тріщин по всій товщині оболонки вузькою смугою розвиваються пластичні деформації. Тепер, згідно з аналогом δ_c -моделі [2], зони пластичних деформацій замінимо поверхнями розриву пружних переміщень і кутів повороту, а реакцію матеріалу пластичної зони на пружну – відповідними зусиллями та моментами. Вважатимемо, що на продовженні тріщин в глибину до зовнішньої чи внутрішньої поверхонь оболонки, тобто відповідно в області $\beta \in]-\beta_d - \beta_0; -\beta_d + \beta_0[$ \mathbf{U} $\beta_d - \beta_0; \beta_d + \beta_0[$, $\gamma \in [-h; h - 2d]$ для тріщин, що виходять на внутрішню поверхню оболонки, чи для тріщин, що виходять на

її зовнішню поверхню ($\beta_0 = l_0 / l_1$; $\beta_d = d_1 / l_1$; γ – нормальна до середньої поверхні координата), діють постійні напруження $\sigma^0 = (\sigma_{B1} + \sigma_{T1}) / 2$, де σ_{B1} – границя міцності, а σ_{T1} – поріг текучості матеріалу оболонки в головних напрямках ортотропії. У пластичних зонах на продовженні тріщин по довжині, тобто в областях $\gamma \in [-h; h]$, $\beta \in]-\beta_d - \beta_0 - \beta_p; -\beta_d + \beta_0[$ та $]\beta_d - \beta_0; \beta_d + \beta_0 + \beta_p[$, діють невідомі нормальне зусилля N_p та згинний момент M_p , а в областях $\gamma \in [-h; h]$, $\beta \in]-\beta_d - \beta_0 - \beta^p; -\beta_d + \beta_0 + \beta^p[$ та $]\beta_d - \beta_0 - \beta^p; \beta_d - \beta_0 + \beta^p[$ – нормальне зусилля N^p та згинний момент M^p , де β_p – віднесена до l_1 довжина пластичних зон біля дальніх (відносно початку координат) вершин тріщин, а β^p – ця ж величина біля ближніх вершин тріщин, $\beta_d = d_1 / l_1$. N_p ; M_p та N^p протидіють розкриттю тріщини та задовольняють певну умову пластичності тонких оболонок [5].

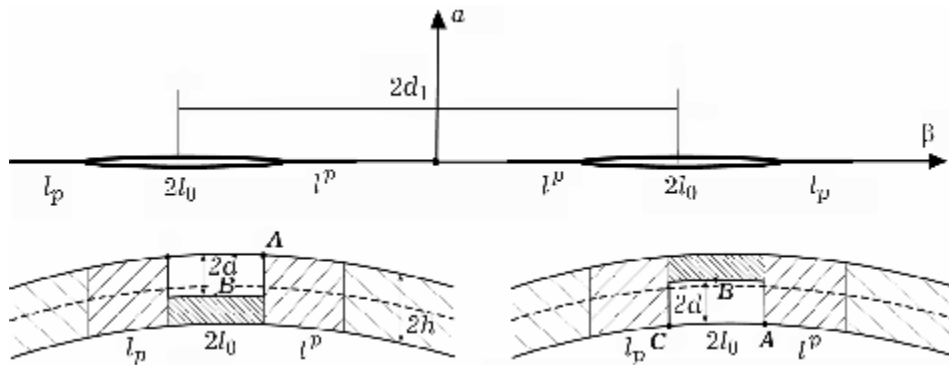


Рис. 1.

Таким чином, за прийнятим аналогом δ_c -моделі пружно-пластичну задачу про граничну рівновагу оболонки з поверхневими тріщинами заданої довжини $2l_0$ зведено до задачі про пружну рівновагу такої ж оболонки з фіктивними наскрізними тріщинами невідомої довжини $2l_1 = 2l_0 + l_p + l^p$, ($l_p = \beta_p l_1$, $l^p = \beta^p l_1$), на берегах якої виконуються умови

$$f_1(\beta) = \begin{cases} N_1^{(1)} + N^l - N_1^0, & \beta_d - \beta_0 < \beta < \beta_d + \beta_0; \\ -N_1^0 + N^p, & \beta_d - \beta_0 - \beta^p < \beta < \beta_d - \beta_0; \\ -N_1^0 + N_p, & \beta_d - \beta_0 < \beta < \beta_d + \beta_0 + \beta_p; \end{cases}$$

$$f_2(\beta) = \begin{cases} M_1^{(1)} + M^l - M_1^0, & \beta_d - \beta_0 < \beta < \beta_d + \beta_0; \\ -M_1^0 + M^p, & \beta_d - \beta_0 - \beta^p < \beta < \beta_d - \beta_0; \\ -M_1^0 + M_p, & \beta_d - \beta_0 < \beta < \beta_d + \beta_0 + \beta_p. \end{cases} \quad (1)$$

Тут $N_2^{(1)}$, $M_2^{(1)}$ – зусилля та момент, прикладені до берегів реальних тріщин; N_2^0 , M_2^0 – ці ж параметри на лінії тріщин у суцільній оболонці, зумовлені зовнішнім навантаженням; N^l , M^l – нормальне зусилля та згинний момент, які є реакцією матеріалу на розрив внутрішніх зв'язків над чи під поверхневою тріщиною та які згідно з прийнятими припущеннями про напруження в цих зонах визначають за формулами

$$N' = 2(h + d)\sigma^0, \quad M' = \pm 2d(h - d)\sigma^0, \quad (2)$$

знак "+" відповідає ненаскрізній тріщині, що виходить на внутрішню поверхню оболонки, а знак "-" – на зовнішню. Умови (1) записані для правої (відносно початку координат) тріщини. Аналогічні умови для лівої тріщини.

Основні співвідношення анізотропної циліндричної оболонки з тріщинами. В межах уточненої теорії оболонок типу Тимошенка систему десятого порядку п'яти диференціальних ключових рівнянь, що враховують тріщини, запишемо в матричному вигляді [2, 6]:

$$L^* \bar{u} = RM_1^{*T} \bar{\varepsilon}_1^0 + c_1^2 R^2 M_2^{*T} \bar{\varepsilon}_2^0, \quad (3)$$

де

$$L^* = N_1^* M_1^* + c_1^2 N_2^* M_2^*; \quad c_1^2 = h^2 / (3R^2); \quad M_j^* = CN_j^{*T};$$

$$N_1^* = \begin{pmatrix} \partial_1 & \partial_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \partial_1 & \partial_2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -\partial_1 & -\partial_2 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}; \quad N_2^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \partial_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \partial_1 & \partial_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \partial_1 & \partial_2 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$C = \begin{pmatrix} C_1 & 0 \\ 0 & C_2 \end{pmatrix}; \quad C_1 = \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & c_{12} \\ 0 & c_{66} & 0 \\ c_{12} & 0 & c_{22} \end{pmatrix}; \quad C_2 = K' \begin{pmatrix} c_{44} & 0 \\ 0 & c_{55} \end{pmatrix}; \quad 0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\bar{u} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ w \\ \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{pmatrix}; \quad \bar{\varepsilon}_1^0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11}^0 \\ \varepsilon_{12}^0 \\ \varepsilon_{22}^0 \\ \varepsilon_{13}^0 \\ \varepsilon_{23}^0 \end{pmatrix}; \quad \bar{\varepsilon}_2^0 = \begin{pmatrix} \chi_{11}^0 \\ 2\chi_{12}^0 \\ \chi_{22}^0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Тут верхнім індексом „T” позначено транспоновану матрицю до даної; $K' = 5/6$ – введений у теорії оболонок типу Тимошенка коефіцієнт зсуву для перерізальних сил; пружні сталі матеріалу оболонки c_{ij} визначаємо через технічні сталі за співвідношеннями

$$c_{11} = \frac{2E_1 h}{1 - \nu_1 \nu_2}; \quad c_{22} = \frac{2E_2 h}{1 - \nu_1 \nu_2}; \quad c_{12} = \frac{2hE_1 \nu_2}{1 - \nu_1 \nu_2}$$

$$c_{44} = 2hG_{23}; \quad c_{55} = 2hG_{13}; \quad c_{66} = 2hG_{12}; \quad E_1 \nu_2 = E_2 \nu_1;$$

$E_i, \nu_i (i = 1, 2)$ – відповідно модулі пружності та коефіцієнти Пуассона в напрямках α, β ; G_{12} – модуль зсуву між напрямками α і β ; G_{13} – модуль зсуву між напрямками α або β та γ ; u, v, w – компоненти переміщення серединної поверхні оболонки; γ_1, γ_2 – кути повороту між нормаллю до серединної поверхні та координатними лініями α, β ; $\varepsilon_{ij}^0, \kappa_{ij}^0$ – деформації, виражені через стрибки переміщень і кутів повороту.

Розв'язок системи (2) шукаємо у вигляді

$$\bar{u} = RL^{*-1}(M_1^{*T} \bar{\varphi}_1 + c_1^2 M_2^{*T} \bar{\varphi}_2). \quad (4)$$

Тут L^{*-1} – матриця алгебричних доповнень до матриці L^* , тому

$$L^* L^{*-1} = D^* E; \quad D^* = \det L^*; \quad E^{-1} = E; \quad (5)$$

$\bar{\varphi}_1 = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5)$; $\bar{\varphi}_2 = (\psi_1, \psi_2, \psi_3, 0, 0)$ – вектори ключових функцій, які задовольняють рівняння

$$D^* \bar{\varphi}_i = \bar{\varepsilon}_i^{(0)} \quad (i = 1, 2). \quad (6)$$

Рівняння (5) з урахуванням (6) називатимемо ключовим або розв'язувальним рівнянням теорії анізотропних циліндричних оболонок типу Тимошенка, а функції $\bar{\varphi}_i (i = 1, 2)$ – ключовими (розв'язувальними).

Вирази для знаходження зусиль і моментів через ключові функції $\bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2$ мають вигляд

$$\begin{aligned} \bar{n}_1 &= c_1^2 \Omega_1 (N_1^1 \bar{\varphi}_1 + c_1^2 R N_2^1 \bar{\varphi}_2), \\ \bar{n}_2 &= c_1^2 \Omega_1 R (N_1^2 \bar{\varphi}_1 + c_1^2 R N_2^2 \bar{\varphi}_2), \end{aligned} \quad (7)$$

де

$$\begin{aligned} N_1^1 &= M_1^* L^{*-1} M_1^{*T} - D^* C, \quad N_2^2 = c_1^2 M_2^* L^{*-1} M_2^{*T} - D^* C; \\ N_i^j &= M_i^* L^{*-1} M_j^{*T} \quad (i, j = 1, 2; i \neq j), \quad \Omega_1 = \det C. \end{aligned}$$

З (4) випливає:

$$N_i^j = (N_j^i)^T; \quad N_i^j = (N_j^i)^T \quad (i, j = 1, 2; i \neq j).$$

Ключові функції $\bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2$ подамо у вигляді інтеграла згортки по серединній поверхні оболонки, вважаючи, що компоненти деформації $\bar{\varepsilon}_1^{(0)}, \bar{\varepsilon}_2^{(0)}$ є інтегрованими функціями на серединній поверхні оболонки:

$$\begin{pmatrix} \bar{\varphi}_1 \\ \bar{\varphi}_2 \end{pmatrix} (\alpha, \beta) = \frac{1}{c_1^2 \Omega} \iint \begin{pmatrix} \varepsilon_1^{(0)} \\ \varepsilon_2^{(0)} \end{pmatrix} (\xi_1, \xi_2) g(\alpha - \xi_1, \beta - \xi_2) d\xi_1 d\xi_2. \quad (8)$$

Тут $g(\alpha, \beta)$ – фундаментальний розв'язок рівняння

$$D^* g(\alpha, \beta) = \delta(\alpha) \delta_T(\beta), \quad (9)$$

де $\delta(\alpha), \delta_T(\beta)$ – дельта-функції Дірака (нижній індекс T показує, що вказана функція T -періодична), $\Omega = \det C_1$.

Враховуючи симетричність навантаження, розміщення тріщин, а також те, що переміщення й кути повороту за переходу через тріщину мають стрибок, а зусилля й моменти – неперервні функції, поле деформацій $\bar{\varepsilon}_1^0, \bar{\varepsilon}_2^0$ запишемо так:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11}^0(\alpha, \beta) &= R^{-1} [u(\beta)] \delta(\alpha); \quad \kappa_{11}^{(0)}(\alpha, \beta) = R^{-1} [\gamma_1(\beta)] \delta(\alpha); \\ \varepsilon_{22}^0 &= \varepsilon_{12}^0 = \varepsilon_{13}^0 = \varepsilon_{23}^0 = \kappa_{12}^0 = \kappa_{22}^0 = 0, \end{aligned} \quad (10)$$

$[f(\beta)]$ – стрибок узагальнених переміщень.

Інтегральні рівняння задачі. З допомогою фундаментального розв'язку рівняння (10) та операції згортки побудовано інтегральні подання ключових функцій $\bar{\varphi}_i (i = 1, 2)$, а також зусиль та моментів для замкнутої ортоотропної циліндричної оболонки. Вимагаючи тепер, щоб на берегах обох фіктивних тріщин виконувались умови типу (1), отримуємо систему двох сингулярних інтегральних рівнянь

$$\sum_{j=1}^2 \int_{-1}^1 F_j(\theta) \left[\frac{a_{ij}}{\theta - x} + \mathcal{K}_{ij}(\theta, x) \right] d\theta = b_i f_i(x), \quad (11)$$

де $F_1 = \frac{d}{d\theta}[u_1(\theta)]$; $F_2 = \frac{d}{d\theta}[\theta_1(\theta)]$; $f_i(x)$ задані співвідношеннями (1), тобто ці функції розривні:

$$K_{ij}^0(\theta, x) = \frac{a_{ij}}{\theta + x + 2\beta_c} + K_{ij}^0(x - \theta) + K_{ij}^0(x + \theta + 2\beta_c).$$

Ядра $K_{ij}(z)$ – неперервні функції на проміжку $z \in [-1; 1]$, $K_{ij}^0(z)$ подано в [2] і відповідають ядрам для оболонки, ослабленої однією наскрізною поперечною тріщиною.

Розв'язки системи сингулярних інтегральних рівнянь (11) повинні задовольняти умови

$$\int_{-\alpha_1}^{\alpha_1} F_m(\xi) d\xi = 0, \quad m = 1, 2, \quad (12)$$

які забезпечують неперервність переміщень u_2 та кута повороту θ_2 у вершинах тріщини і випливають із співвідношень (4).

Відповідно до моделі в системі (11) невідомі розміри зон пластичних деформацій l^p та l_p , а також зусилля N^p , N_p та моменти M^p , M_p , що відповідають реакції пластичних зон на пружний об'єм і задовольняють певну умову пластичності тонких оболонок. Наприклад, умову Треска у вигляді пластичного поверхневого шару

$$\frac{N^i}{2h\sigma_T} + \frac{3|M_i|}{2h^2\sigma_T} = 1, \quad (i = 1, 2) \quad (13)$$

або пластичного шарніра

$$\left(\frac{N^i}{2h\sigma_T}\right)^2 + \frac{|M_i|}{h^2\sigma_T} = 1, \quad (N^1 = N^p, N^2 = N_p, M^1 = M^p, M^2 = M_p). \quad (14)$$

Умови пластичності (13), (14) використовуємо для визначення довжин пластичних зон l^p та l_p . Для знаходження невідомих N^p , N_p та M^p , M_p застосуємо умови скінченності напружень біля вершин фіктивних тріщин. Для цього достатньо, щоб коефіцієнти інтенсивності нормальних зусиль та згинних моментів дорівнювали нулю в обох вершинах тріщин, тобто

$$K_N^{(1)} = K_N^{(2)} = K_M^{(1)} = K_M^{(2)} = 0. \quad (15)$$

Таким чином, задачу про граничну рівновагу ортотропної пружно-пластичної циліндричної оболонки з двома поверхневими тріщинами зведено до сумісного розв'язання системи інтегральних рівнянь (11), умов (12), умов пластичності (13) або (14) та умов обмеженості напружень (15).

Інтегруючи розв'язок системи (11), розкриття тріщини $\delta(\alpha, \gamma)$ у довільній її точці визначаємо за формулою

$$\delta(\alpha, \gamma) = [u_2(\alpha)] + \gamma[\theta_2(\alpha)], \quad |\alpha| < \alpha_1, \quad |\gamma| \leq h.$$

Числові результати. Числовий аналіз виконували для оболонок з таких матеріалів [1]:

I – композиційний матеріал на епоксидній основі, армованій однонаправленими графітними волокнами:

$$E_1 = 14,9 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad E_2 = 0,6 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$G_{12} = 0,4 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad \nu_1 = 0,31;$$

II – композиційний матеріал на епоксидній основі, армованій однонаправленими волокнами з S-скла:

$$E_1 = 6,25 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad E_2 = 2,12 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$G_{12} = 0,9 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad \nu_1 = 0,25;$$

III – борепоксидний композит:

$$E_1 = 40 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad E_2 = 4 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

$$G_{12} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ МПа}; \quad \nu_1 = 0,25;$$

Для всіх матеріалів приймали $\nu = 0,3$.

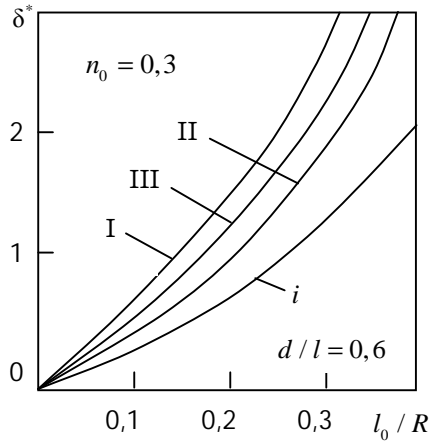


Рис. 2.

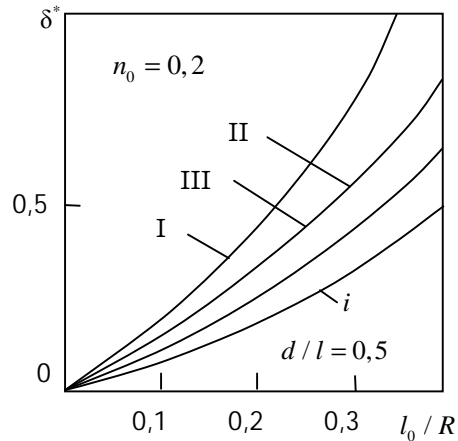


Рис. 3.

Алгоритм числового розв'язування реалізований для оболонки, що рівномірно розтягується на нескінченності зусиллями, армувальні волокна направлені вздовж напрямної. На рис. 2 і 3 побудовано залежності відносного розкриття вершини тріщини на серединній поверхні $\delta^* = \delta(0, l_0 / R) E_1 / (l_0 \sigma_{T\alpha})$ від відносної довжини реальної тріщини l_0 / R для параметра тонкостінності $h / R = 0,01$; $n^0 = N_1^0 / (2h\sigma_{T\alpha})$ – приведенне зовнішнє навантаження; віддалі між центрами тріщин $d_1 = 3l_0$, тобто тріщини не взаємодіють. Армувальні волокна паралельні лінії тріщин. Криві I–III відповідають оболонкам, які виготовлені з відповідного ортотропного матеріалу; буквою *i* позначено результат для ізотропної оболонки. Результати числового аналізу свідчать, що зі збільшенням навантаження та довжини тріщини параметр δ^* зростає для оболонки із всіх розглянутих ортотропних матеріалів; з ростом відношення E_1 / E_2 відносно розкриття вершини тріщини збільшується.

На рис. 4 побудовано залежність розкриття δ^* від віддалі між тріщинами, що виходять на зовнішню поверхню. Суцільні лінії відповідають точці А (ближня вершина), а штрихові – точці С. Розкриття тріщини визначали і в точці В. Залежність його від навантаження та геометричних параметрів має такий самий якісний характер, але його значення на 25 % більше, ніж в точці С. Розкриття обчислювали для

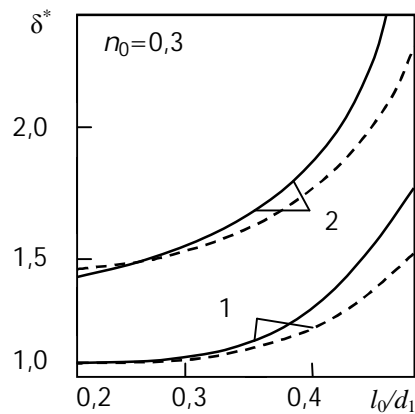


Рис. 4.

оболонки, виготовленої із борепоксидного композиту, для якої $R = 150$ мм ; $h = 1,5$ мм ; $d / h = 0,5$. Інші параметри такі ж, як і на рис. 2 і 3. Криві 1 відповідають випадку $E_1 > E_2$, а криві 2 – випадку $E_2 > E_1$ (поздовжнє і поперечне армування).

Висновки. Встановлено, що початок взаємодії тріщин залежить як від їх довжини чи віддалі між ними, так і від рівня зовнішнього навантаження. На початку взаємодії для поперечного армування ($E_2 > E_1$), як і в ізотропній оболонці з двома наскрізними тріщинами [2], розкриття ближніх вершин дещо зменшується, але стрімко зростає зі зближенням тріщин. Для $E_1 > E_2$ такого зменшення на початку взаємодії тріщин не зафіксовано. Якщо за критерій руйнування обрати критерій критичного розкриття фронту тріщини, то руйнування оболонки для розглянутих випадків розпочнеться в точці В. Числовий аналіз показав, що вибір умови пластичності (із двох розглянутих) мало впливає на розкриття тріщин.

1. Ашкенази Е. К., Ганов Э. В. Анизотропия конструкционных материалов: Справ. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
2. Кушнір Р. М., Николишин М. М., Осадчук В. А. Пружний та пружно-пластичний граничний стан оболонок з дефектами. – Львів: СПОЛЛОМ, 2003. – 320 с.
3. МР 108.7-86. Расчеты на прочность: Оборудование энергетическое. – М.: НПО ЦНИИТМАШ, 1986. – 29 с.
4. Панасюк В. В. Механика квазихрупкого разрушения материалов. – К.: Наук. думка, 1991. – 416 с.
5. Прагер В. Проблемы теории пластичности. – М.: Физматгиз, 1958. – 136 с.
6. Прокопович І. Б., Сеньків Л. М. Фундаментальний розв'язок рівнянь рівноваги анізотропної циліндричної оболонки зі скінченною зсувною жорсткістю // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1995. – № 1. – С. 56–61.

ОРТОТРОПНАЯ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ ЗАМКНУТАЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА С ДВУМЯ ПОПЕРЕЧНЫМИ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ТРЕЩИНАМИ

Упругопластическую задачу о напряженном состоянии ортотропной цилиндрической оболочки с поверхностными трещинами заданных размеров сведено к задаче об упругом равновесии такой же оболочки со сквозными трещинами неизвестной длины, а последнюю – к решению нелинейной системы сингулярных интегральных уравнений. Исследовано влияние ортотропии и геометрических параметров на взаимодействие трещин.

ORTHOTROPIC ELASTICO-PLASTIC CLOSED CYLINDRICAL SHELL WITH TWO TRANSVERSE SURFACE CRACKS

The elastico-plastic problem on the stress state of orthotropic cylindrical shell with surface cracks of given sizes has been reduced to the problem on elastic equilibrium of the same shell with through cracks of unknown length and the latter has been reduced to solution of a non-linear system of singular integral equations. The influence of orthotropy and geometric parameters on the crack interaction has been analyzed.