

УДК 539.3

Н.В. Шинкарчук*Рівненський державний гуманітарний університет***ОДНОСТОРОННИЙ КОНТАКТ ІЗОТРОПНОЇ ПЛАСТИНКИ З КОЛОВИМ ОТВОРОМ І ПРУЖНОГО ДИСКА**

Досліджується напружений стан кусково-однорідної ізотропної пластинки з коловим розрізом по лінії умовного поділу матеріалів пластинки і пружного диска за умови контактування їхніх берегів. Пластинчаста конструкція перебуває в умовах однорідного узагальненого плоского напруженого стану на нескінченності.

Наближений розв'язок системи сингулярних інтегральних рівнянь задачі реалізовано методом механічних квадратур і колокації, яким визначаються положення і розміри зони контакту та напружений стан на контурі отвору пластинки.

Ключові слова: напружений стан, пружний диск, ізотропна пластинка, контактні зусилля, гладкий контакт, береги розрізу.

Рис. 4. Табл. 1. Форм. 13. Літ. 9.

Н. В. Шинкарчук**ОДНОСТОРОННИЙ КОНТАКТ ИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНКИ С КРУГОВЫМ ОТВЕРСТИЕМ И УПРУГОГО ДИСКА**

Исследуется напряженное состояние кусочно-однородной изотропной пластинки с круговым разрезом по линии условного разделения материалов пластинки и упругого диска при контакте их берегов. Пластинчатая конструкция находится в условиях однородного обобщенного плоского напряженного состояния на бесконечности.

Приближенное решение системы сингулярных интегральных уравнений задачи реализовано методом механических квадратур и коллокации, которым определяются положение и размеры зоны контакта, и напряженное состояние на контуре отверстия пластинки.

Ключевые слова: напряженное состояние, упругий диск, изотропная пластинка, контактные усилия, гладкий контакт, берега разреза.

N.V. Shynkarchuk**UNILATERAL CONTACT ISOTROPIC PLATE WITH CIRCULAR HOLE AND ELASTIC DISK**

We investigate the stress state piecewise homogeneous isotropic plate with circular cut along the line of plate and an elastic disk provided contact their shores. Construction of plate is located in conditions a homogeneous generalized flat state of stress at infinity.

Approximate solution a system of singular integral equations of the problem is built by the method of mechanical quadrature and collocation, which defines the position and size of the contact area and stress state on the contour of the hole plate.

Key words: a stress state, elastic disk, isotropic plate, a contact force, smooth contact, edges of cut.

Міцність та роботоздатність кусково-однорідних пластинок, як тонкостінних елементів конструкцій, значною мірою залежить від наявності на межі поділу матеріалів дефектів типу тріщин (розрізів нульової ширини), що можуть виникнути в процесі виготовлення або експлуатації деталі. Дослідження питання, чи береги розрізу за дії зовнішнього навантаження розходяться, чи контактують, має важливе значення з точки зору забезпечення непроникності або герметичності конструкції.

Контактні задачі для однорідних пластинок з розрізами по дузі кола, які перебувають в умовах узагальненого плоского напруженого стану на нескінченності, зведенням до задачі лінійного спряження [1] досліджено в роботах [2, 3].

Числово-аналітичний розв'язок задачі про напружений стан нескінченної ізотропної пластинки з еліптичним отвором, яка перебуває в умовах узагальненого плоского напруженого стану на нескінченності, і абсолютно жорсткого диска, за наявності на межі поділу матеріалів зони спаю та контакту без тертя представлено у [4].

В даній статті запропоновано розв'язок контактної задачі для кусково-однорідної пластинки, яка перебуває в умовах однорідного узагальненого плоского напруженого стану (УПНС) на нескінченності, за наявності на межі поділу матеріалів зон спаю, гладкого без тертя контакту і відставання.

Постановка задачі. Допустимо, що в круговий отвір радіусом $\rho_0 = 1$ нескінченної ізотропної пластинки товщиною $2h$ вставлено без зазору і натягу круглий пружний ізотропний

диск такої ж товщини. Середню площину пластинки віднесемо до системи прямокутних (x, y) і полярних (r, δ) координат з полюсом в центрі отвору (рис. 1).

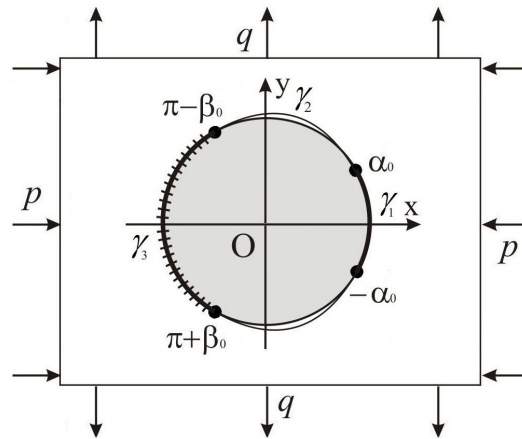


Рис. 1. Розрахункова схема задачі

Нехай на симетричній ділянці $\gamma_3 = [\pi - \beta_0, \pi + \beta_0]$ контуру γ пластинку спаяно з диском. Пластинчаста конструкція перебуває в умовах однорідного напруженого стану на нескінченності, викликаного рівномірно розподіленими зусиллями p та q , які діють в напрямках координатних осей. Внаслідок дії такого навантаження на ділянці $\gamma_1 = [-\alpha_0, \alpha_0]$ пластинка вступає в контактну взаємодію з диском. Контакт між пластинкою і диском на ділянках γ_2 відсутній.

Розв'язок поставленої задачі передбачає визначення такої величини розрізу, для якої:

- 1) зона контакту збігається з розрізом, причому нормальні контактні зусилля на кінцях цієї зони відмінні від нуля (повний контакт берегів розрізу);
- 2) зона контакту збігається з розрізом, але існує дві точки, в яких нормальні контактні зусилля дорівнюють нулю (зародження зон відставання);
- 3) існує ізольована зона контакту і дві зони відставання, які прилягають до кінців зони спаю.

Для кожного з цих випадків потрібно визначити напружений стан на контурі γ .

Інтегральні рівняння задачі. Компоненти вектора зміщення контурних точок ізотропної пластинки при заданому навантаженні визначаються за формулами [4]

$$2EhU = (1 - \nu) \int_{-\alpha_0}^{\lambda} f_1'(t) dt + \frac{2}{\pi} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_2'(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt + \frac{2}{\pi} \int_{\pi - \beta_0}^{\pi + \beta_0} f_2'(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt + R_0(\lambda) + c_1;$$

$$2EhV = (1 - \nu) \int_{-\alpha_0}^{\lambda} f_2'(t) dt - \frac{2}{\pi} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_1'(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt - \frac{2}{\pi} \int_{\pi - \beta_0}^{\pi + \beta_0} f_1'(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt + Q_0(\lambda) + c_2, \quad (1)$$

аналогічні співвідношення для диска на підставі [5] можна записати у вигляді

$$2E^{(1)}hU^{(1)} = (1 - \nu^{(1)}) \int_{-\alpha_0}^{\lambda} f_1^{(1)'}(t) dt - \frac{2}{\pi} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_2^{(1)'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt -$$

$$- \frac{2}{\pi} \int_{\pi - \beta_0}^{\pi + \beta_0} f_2^{(1)'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt - T^0 \cos \lambda + c_1^{(1)};$$

$$2E^{(1)}hV^{(1)} = (1 - \nu^{(1)}) \int_{-\alpha_0}^{\lambda} f_2^{(1)'}(t) dt + \frac{2}{\pi} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_1^{(1)'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt +$$

$$+ \frac{2}{\pi} \int_{\pi - \beta_0}^{\pi + \beta_0} f_1^{(1)'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt - T^0 \sin \lambda + c_2^{(1)}, \quad \lambda \in \gamma. \quad (2)$$

Тут $R_0(\lambda) = -(3p + q) \cos \lambda$, $Q_0(\lambda) = (3q + p) \sin \lambda$; $T^0 = \frac{1}{\pi} \int_{\gamma} (f_2^{(1)'}(t) \cos t - f_1^{(1)'}(t) \sin t) dt$;

$$f_1 + if_2 = i \int_{-\alpha_0}^{\lambda} (T_{\rho}^* + iS_{\rho\lambda}^*) e^{it} dt, \quad T_{\rho}^* + iS_{\rho\lambda}^* = (T_{\rho} + iS_{\rho\lambda}) \omega'(\sigma); \quad \tilde{a}(\lambda) + i\tilde{b}(\lambda) = \omega'(\sigma) e^{i\lambda}; \quad \sigma = e^{i\lambda};$$

$$f_1^{(1)} + if_2^{(1)} = i \int_{-\alpha_0}^{\lambda} (T_{\rho}^{(1)*} + iS_{\rho\lambda}^{(1)*}) e^{it} dt, \quad T_{\rho}^{(1)*} + iS_{\rho\lambda}^{(1)*} = (T_{\rho}^{(1)} + iS_{\rho\lambda}^{(1)}) \omega'(\sigma); \quad \tilde{a}(\lambda) + i\tilde{b}(\lambda) = \omega'(\sigma) e^{i\lambda};$$

$\omega'(\sigma) = \alpha + i\beta$; $\alpha = 1$; $\beta = 0$; $E, E^{(1)}, \nu, \nu^{(1)}$ – модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона матеріалу пластинки і диска; $c_1, c_1^{(1)}, c_2, c_2^{(1)}$ – сталі; $T_{\rho}, S_{\rho\lambda}$ – нормальні та дотичні зусилля на контурі γ .

В зоні гладкого контакту граничні умови задачі обираємо у вигляді рівності нормальних зміщень пластинки і диска [4, 6]

$$\tilde{a}(\lambda)(U - U^{(1)}) + \tilde{b}(\lambda)(V - V^{(1)}) = 0, \\ S_{\rho\lambda} = 0; \quad \lambda \in \gamma_1, \quad (3)$$

а в зоні спаю у вигляді рівності зміщень їх контурних точок [1, 4]

$$U - U^{(1)} = 0; \quad V - V^{(1)} = 0, \quad \lambda \in \gamma_3. \quad (4)$$

Умови (3), (4) записані у припущенні, що на контурі γ

$$T_{\rho}^{(1)} = T_{\rho}, \quad S_{\rho\lambda}^{(1)} = S_{\rho\lambda}; \quad f_1^{(1)'}(t) = f_1'(t), \quad f_2^{(1)'}(t) = f_2'(t). \quad (5)$$

Введенням позначення

$$f_1'(\lambda) + if_2'(\lambda) = f_1^{\circ'}(\lambda) + if_2^{\circ'}(\lambda), \quad \lambda \in [-\alpha_0, \alpha_0]; \\ f_1'(\pi + \tilde{\lambda}) + if_2'(\pi + \tilde{\lambda}) = \tilde{f}_1'(\tilde{\lambda}) + i\tilde{f}_2'(\tilde{\lambda}), \quad \tilde{\lambda} \in [-\beta_0, \beta_0], \quad (6)$$

інтеграли, що входять до співвідношень (1), набудуть вигляду

$$\frac{2}{\pi} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_j'(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt = \frac{2}{\pi} \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_j^{\circ'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt; \\ \frac{2}{\pi} \int_{\pi - \beta_0}^{\pi + \beta_0} f_j'(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt = \frac{2}{\pi} \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_j'(\tilde{t}) \ln \left| \cos \frac{\lambda - \tilde{t}}{2} \right| d\tilde{t}, \quad j = 1, 2. \quad (7)$$

Підставляючи (1), (2) у граничні умови (3), (4) та використавши (5) – (7), одержимо систему з чотирьох сингулярних інтегральних рівнянь із логарифмічними ядрами для визначення функцій $f_1^{\circ'}, f_2^{\circ'}, \tilde{f}_1', \tilde{f}_2'$

$$\tilde{a}(\lambda) \left[\left[(1 - \nu) - k(1 - \nu^{(1)}) \right] \int_{-\alpha_0}^{\lambda} f_1^{\circ'}(t) dt + R_0(\lambda) + kT^0 \cos \lambda + \frac{2(1+k)}{\pi} \left[\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_2^{\circ'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt + \right. \right. \\ \left. \left. + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_2'(\tilde{t}) \ln \left| \cos \frac{\lambda - \tilde{t}}{2} \right| d\tilde{t} \right] \right] + \tilde{b}(\lambda) \left[\left[(1 - \nu) - k(1 - \nu^{(1)}) \right] \int_{-\alpha_0}^{\lambda} f_2^{\circ'}(t) dt + Q_0(\lambda) + kT^0 \sin \lambda - \right. \\ \left. - \frac{2(1+k)}{\pi} \left[\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_1^{\circ'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_1'(\tilde{t}) \ln \left| \cos \frac{\lambda - \tilde{t}}{2} \right| d\tilde{t} \right] \right] = \tilde{a}(\lambda) \tilde{c}_1 + \tilde{b}(\lambda) \tilde{c}_2, \\ f_1^{\circ'}(\lambda) \tilde{a}(\lambda) + f_2^{\circ'}(\lambda) \tilde{b}(\lambda) = 0, \quad \lambda \in [-\alpha_0, \alpha_0]. \quad (8)$$

$$\left[(1 - \nu) - k(1 - \nu^{(1)}) \right] \left[\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_1^{\circ'}(t) dt + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_1'(\tilde{t}) d\tilde{t} \right] + \frac{2(1+k)}{\pi} \left[\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_2^{\circ'}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda - t}{2} \right| dt + \right. \\ \left. + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_2'(\tilde{t}) \ln \left| \sin \frac{\tilde{\lambda} - \tilde{t}}{2} \right| d\tilde{t} \right] + R_0(\lambda) + kT^0 \cos \lambda = \tilde{c}_1;$$

$$\left[(1-\nu) - k(1-\nu^{(1)}) \right] \left[\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_2^{\circ\prime}(t) dt + \int_{-\beta_0}^{\tilde{\lambda}} \tilde{f}_2^{\prime}(\tilde{t}) d\tilde{t} \right] - \frac{2(1+k)}{\pi} \left[\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_1^{\circ\prime}(t) \ln \left| \sin \frac{\lambda-t}{2} \right| dt + \right. \\ \left. + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_1^{\prime}(\tilde{t}) \ln \left| \sin \frac{\tilde{\lambda}-\tilde{t}}{2} \right| d\tilde{t} \right] + Q_0(\lambda) + kT^0 \sin \lambda = \tilde{c}_2, \quad \lambda \in [\pi - \beta_0, \pi + \beta_0]; \quad \tilde{\lambda} \in [-\beta_0, \beta_0], \quad (9)$$

де $k = \frac{E}{E^{(1)}}$; $\tilde{c}_1 = kc_1^{(1)} - c_1$, $\tilde{c}_2 = kc_2^{(1)} - c_2$.

Умови силової рівноваги диска [1, 4]

$$\int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_2^{\circ\prime}(t) dt + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_2^{\prime}(\tilde{t}) d\tilde{t} = 0; \quad \int_{-\alpha_0}^{\alpha_0} f_1^{\circ\prime}(t) dt + \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{f}_1^{\prime}(\tilde{t}) d\tilde{t} = 0, \quad (10)$$

служать для визначення сталих \tilde{c}_1 і \tilde{c}_2 .

Контактні зусилля T_ρ , $S_{\rho\lambda}$ на контурі отвору пластинки з функціями $f_1'(\lambda)$, $f_2'(\lambda)$ зв'язані співвідношенням [7]

$$T_\rho + iS_{\rho\lambda} = \frac{(f_2'(\lambda) - if_1'(\lambda))(a(\lambda) - ib(\lambda))}{\alpha^2 + \beta^2}, \quad \lambda \in \gamma. \quad (11)$$

Кільцеві зусилля T_λ на контурі γ можна визначити за формулою [7, 8]

$$T_\lambda = \nu T_\rho + \frac{1}{(\alpha^2 + \beta^2)} \left\{ (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2) T_\rho(\lambda) - \frac{1}{\pi} \int_\gamma \left[R(\lambda, t) - Q(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{\lambda-t}{2} \right] T_\rho(t) dt + \right. \\ \left. + \frac{1}{\pi} \int_\gamma \left[Q(\lambda, t) + R(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{\lambda-t}{2} \right] S_{\rho\lambda}(t) dt + \alpha \tilde{\varepsilon}_\lambda^0 + \beta \tilde{V}^0 \right\}, \quad \lambda \in \gamma. \quad (12)$$

Тут введено позначення

$$R(\lambda, t) = \alpha(\lambda)\alpha(t) + \beta(\lambda)\beta(t); \quad Q(\lambda, t) = \alpha(\lambda)\beta(t) - \beta(\lambda)\alpha(t); \\ \tilde{\varepsilon}_\lambda^0 + i\tilde{V}^0 = (q-p) + 2(p+q)e^{-2i\lambda}.$$

Кільцеві зусилля на контурі пружного диска визначаються за формулою [5]

$$T_\lambda^{(1)} = T_\rho + \frac{1}{\pi} \int_{-\beta_0}^{\beta_0} \tilde{S}_{\rho\lambda}(\tilde{t}) \operatorname{tg} \frac{\lambda-\tilde{t}}{2} d\tilde{t}. \quad (13)$$

Співвідношення (8) – (13) визначають математичну модель поставленої задачі. Розглянемо її часткові випадки:

- якщо $E^{(1)} = E$, $\nu^{(1)} = \nu$, то з (8) – (13) одержимо систему співвідношень для однорідної ізотропної пластинки з коловим розрізом [2];
- при $k \rightarrow 0$ система (8) – (13) визначає розв'язок задачі для ізотропної пластинки з впаєм абсолютно жорстким круглим диском.

Наближений розв'язок задачі. Знаходження точного розв'язку системи сингулярних інтегральних рівнянь (8) – (10) пов'язано із значними математичними труднощами. Для її наближеного розв'язання слід використовувати числові методи.

На підставі [9] наближений розв'язок одержаної системи рівнянь можна знайти методом механічних квадратур і колокації, оскільки на кінцях зони контакту функції f_1' , f_2' дорівнюють нулю [8], а на кінцях зон спаю вони мають кореневу особливість з локальною осциляцією [1], причому в задачах визначення концентрації зусиль впливом осциляції можна знехтувати.

Результати числового розрахунку. Для кусково-однорідної пластинки, яка стискається на нескінченності зусиллями p в напрямку осі симетрії розрізу, досліджується вплив на компоненти напруженого стану відношення модулів Юнга $k = E/E^{(1)}$ матеріалів пластинки і диска за умов повного та неповного контакту берегів розрізу.

В таблиці 1 для значень $k = 1$ та $k = 0.2$ наведено розміри зони контакту, що відповідає заданій зоні спаю, а також значення нормальних зусиль T_ρ в центрі цих зон. Результати числових

розрахунків компонентів напруженого стану пластинки і диска на контурі γ ілюструються на рис. 2 – 5. Штрихові лінії побудовано для випадку повного контакту берегів розрізу, суцільні – для випадку розмикання контакту в кінцевих точках розрізу, штрихпунктирні для випадку неповного контакту.

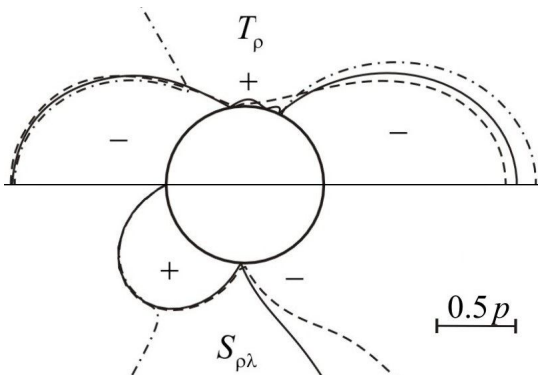


Рис. 2. Епюри розподілу зусиль $T_\rho, S_{\rho\lambda}$ на контурі отвору при $k = 1$

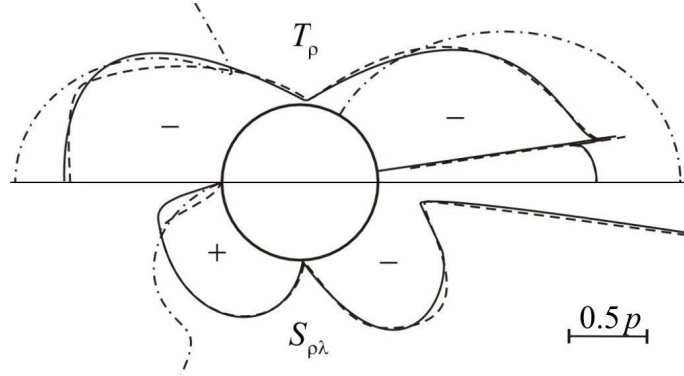


Рис. 3. Епюри розподілу зусиль $T_\rho, S_{\rho\lambda}$ на контурі отвору при $k = 0.2$

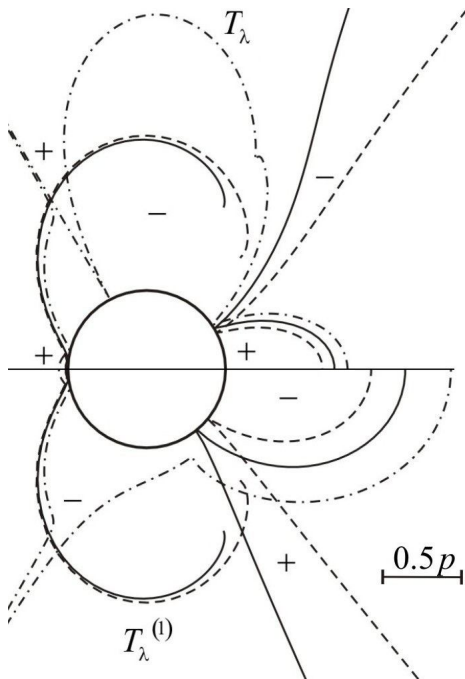


Рис. 4. Епюри розподілу зусиль T_λ для пластинки та $T_\lambda^{(0)}$ для диска при $k = 1$

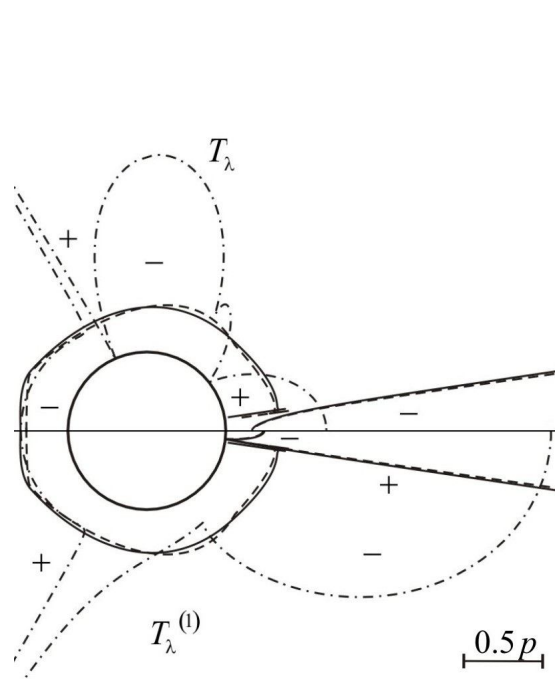


Рис. 5. Епюри розподілу зусиль T_λ для пластинки та $T_\lambda^{(0)}$ для диска при $k = 0.2$

Таблиця 1. Значення величин α_0, T_ρ

β_0 (град)		α_0 (град)		$T_\rho (\lambda = 0)$		$T_\rho (\lambda = \pi)$	
$k = 1$	$k = 0.2$	$k = 1$	$k = 0.2$	$k = 1$	$k = 0.2$	$k = 1$	$k = 0.2$
130	172	50.0	8.0	-1.1543	-1.3981	-0.9882	-1.1221
115.37	171.68	64.63	8.32	-1.2238	-1.3995	-0.9805	-1.1793
60	60	62.71	59.62	-1.3450	-1.9361	-0.9604	-1.3235

Висновки. Для кусково-однорідної ізотропної пластинки з коловим розрізом, береги якого контактують частково або по всій довжині, знайдено граничні розміри зон контакту, при яких забезпечується герметичність та непроникність конструкції.

Максимальні нормальні зусилля в зоні гладкого без тертя контакту виникають при $\lambda = 0$. Збільшення розмірів зони спаю пластинки і диска призводить до зменшення зон контакту. При неповному контакті берегів розрізу на торцях зони спаю контактні і кільцеві зусилля набувають необмежених значень.

Запропонований метод може бути використаний при розв'язуванні аналогічної задачі для кусково-однорідної ізотропної пластинки із несиметричним коловим розрізом.

1. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мухелишвили. – М.: Наука, 1966. – 708 с.
2. Гриліцький Д.В. Напруження в пластинках з коловою лінією розмежування граничних умов / Д.В. Гриліцький, Р.М. Луцишин. – Львів: Вид-во «Вища школа» при ЛДУ, 1975. – 116 с.
3. Гриліцький Д.В. Основні граничні задачі теорії пружності для безмежної ізотропної пластинки з впаяною круглою ізотропною шайбою з розрізами на лінії спаю / Д.В. Гриліцький // Питання механіки і математики. ЛДУ. – 1962. – Вип. 9. – С. 79 – 86.
4. Сяський А. Мішана контактна задача для ізотропної пластинки з криволінійним отвором і жорсткого диска / А. Сяський, Н. Шинкарчук // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – Тернопіль, 2011. – Т.16, № 1. – С. 16 – 21.
5. Сяський В.А. Вплив тертя на розподіл напружень при контакті гладких циліндричних тіл і штампів з кутовими точками / В.А. Сяський // Волинський математичний вісник. – Рівне, 1999. – Вип. 6. – С. 127 – 134.
6. Сяський А.О. Граничні умови контактних задач для нескінченної пластинки з криволінійним отвором і жорсткого диска / А.О. Сяський, С.М. Комбель // Волинський математичний вісник. – 2002. – Вип. 9. – С. 93 – 97.
7. Батишкіна Ю.В. Часткове підкріплення криволінійного отвору в нескінченній пластинці тонким пружним стержнем / Ю.В. Батишкіна, А.О. Сяський // Волинський математичний вісник. – 2002. – Вип. 9. – С. 4 – 11.
8. Сяський В.А. Мішана контактна задача для нескінченної пластинки з криволінійним отвором і жорсткого диска / В.А. Сяський, А.О. Сяський // Волинський математичний вісник. – Рівне, 1998. – Вип. 5. – С. 139 – 146.
9. Сяський А.О. Кусково-однорідна ортотропна пластинка з еліптичним розрізом за умови контактування його берегів / А.О. Сяський, Н.В. Шинкарчук // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – Луцьк: Луцький національний технічний університет, 2011. – Вип. 30. – С. 168 – 174.

Стаття надійшла до редакції 08.02.2014.