УДК 539.301

О. Пономаренко, Б. Білоус
Національний університет "Львівська політехніка"

КОНЦЕПЦІЯ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНЬ НАВКОЛО ДВОХ КРУГОВИХ ОТВОРІВ, З'ЄДНАНИХ ТРІЩИНОЮ НА ЕТАПІ РЕКОНСТРУКЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

© Пономаренко О., Білоус Б., 2002

Наведено розв'язок задачі теорії пружності про концентрацію напружень в нескінченній пластині з двома круговими отворами, з'єднаними тріщиною, при розтягу під довільним кутом лінії центрів отворів. Розв'язок представлено в біполярних координатах з використанням функції напружень Ері.

Conception calculate stress around two circular holes, which are connected by crack to the duration of stage reconstruction complicated technical systems.

Розглядається задача про розподіл напружень в нескінченній пластині з двома круговими отворами, з'єднаними тріщиною, при розтягу під довільним кутом до лінії центрів отворів.

Ця задача набуває особливо важливого значення для конструкцій, руйнування яких пов'язане з понесенням великої матеріальної шкоди, а також із загрозою для життя людей. Такими конструкціями є, зокрема, ферми мостів і великих перекриттів, котли, башти і колони хімічних та інших галузей виробництва, магістральні трубопроводи, корпуси суден, деталі відповідальних приладівтощо. Такі основні методи ліквідації тріщин, як їх заварка або заміна пошкодженої ділянки нерідко пов'язані з великим обсягом супроводжуючих робіт, а іноді і зовсім неможливі без повного виведення об'єкта з експлуатації.

Одним із шляхів запобігання руйнуванню є застосування ефективних методів гальмування тріщин, що розвиваються. Місцем зародження тріщин є, як правило, технологічні або конструктивні концентратори напружень. Найпоширенішими конструктивними концентраторами напружень є найрізноманітніші отвори в металоконструкціях. Вони не можуть служити факторами, які гальмують розвиток тріщини.

Оскільки тріщини, які слід локалізувати, беруть свій початок в наявних в конструкції отворах, важливим є вивчення взаємодії кругового отвору ініціатора тріщини і розвантажуючого отвору, засвердленого на кінці тріщини.

Такий аналіз виконано у цій статті.

Розглянемо ізограниу нескінченну пластину з двома круговими вирізами рівних радіусів, з'єднаних прямолінійною тріщиною. Пластина перебуває в умовах розтягу зусиллями P по напряму, який утворює кут φ з лінією центрів отворів. Визначимо напружений стан в пластині за умови, що по контурах отворів і до країв тріщини не прикладено ніяких зовнішніх зусиль.

Використаємо біполярні координати x, y, які зв'язані з прямокутними координатами x, y співвідношенням р[1]:

$$x = \frac{a \cdot sh\alpha}{ch\alpha - \cos\beta}, \quad y = \frac{a \cdot \sin\beta}{ch\alpha - \cos\beta}$$

Основна функція напружень має вигляд:

$$U_0(x,y)=\frac{P}{2}(x\cdot\sin\varphi-y\cdot\cos\varphi)^2$$

Повну функцію напружень представимо у вигляді:

$$U(x,y)=\sum_{i=1}^{3}\left[U_{0,i}(x,y)+k_i\cdot U_{1,i}(x,y)\right],$$

де

$$k_1=\frac{1}{2}\cdot\sin^2\varphi,\ k_2=\frac{1}{2}\cdot\cos^2\varphi,\ k_1=-\frac{1}{2}\cdot\sin 2\varphi$$

У біполярних координатах дістанемо:

$$g\cdot U(\alpha,\beta)=\sum_{i=1}^{3}\left[g\cdot U_{0,i}(\alpha,\beta)+k_i\cdot g\cdot U_{1,i}(\alpha,\beta)\right]=\sum_{i=1}^{3}g\cdot U_i(\alpha,\beta)$$

Функції напружень запишемо у вигляді [2]:

$$\frac{g\cdot U_1}{k_1}=g\cdot x^2+\ddot{A}_1\cdot\alpha\cdot sh\alpha+\tilde{k}(ch\alpha-\cos\beta)\cdot\ln(ch\alpha-\cos\beta)+$$

$$+\sum_{n=1}^{\infty}\left[A_n^{(1)}ch(n+1)\alpha+B_n^{(1)}ch(n-1)\alpha\right]\cos n\beta$$

$$\frac{g\cdot U_2}{k_2}=g\cdot y^2+\ddot{A}_2\cdot\alpha\cdot sh\alpha+\tilde{k}(ch\alpha-\cos\beta)\cdot\ln(ch\alpha-\cos\beta)+$$

$$+\sum_{n=1}^{\infty}\left[A_n^{(2)}ch(n+1)\alpha+B_n^{(2)}ch(n-1)\alpha\right]\cos n\beta$$

$$\frac{g\cdot U_3}{k_3}=g\cdot x\cdot y+\ddot{A}_3\cdot\alpha\cdot\sin\beta++\sum_{n=1}^{\infty}\left[A_n^{(3)}sh(n+1)\alpha+B_n^{(3)}sh(n-1)\alpha\right]\sin n\beta$$

Повна функція напружень не повинна порушувати напружений стан на нескінченності і повинна задовольняти умови відсутності напружень на контурах отворів $\alpha=\pm c$ і на берегах тріщини $\beta=\pm\pi$.

Оскільки контури кругових отворів вільні від напружень, то граничні умови набирають форму [3]:

$$\left\{\frac{\partial}{\partial\alpha}(g\cdot U)\right\}\Big|_{\alpha=c}=\rho,$$

$$(g\cdot U)\big|_{\alpha=c}=\rho\cdot thc+\sigma\cdot(chc\cdot\cos\beta-1)+\tau\cdot\sin\beta,$$

де ρ,σ,τ - три граничних сталих Мічелла.

Граничні умови на берегах прямолінійної тріщини мають вигляд:

$$\sigma_\beta\big|_{\beta=\pi}=0,\ \int_0^c(\tau_{\alpha\beta}dy)\Big|_{\beta=\pi}=0,$$

Невідомі коефіцієнти функції напружень визначаємо з граничних умов. Тоді маємо:

$$A_1^{(2)}=\frac{1}{sh2e}\cdot(-e^{-2e}+\tilde{k}\cdot e^{-e}\cdot shc)$$

$$B_1^{(2)} = \frac{1}{sh2e} \cdot (1 - sh2c + \overset{*}{k} \cdot ch2e \cdot sh^2 c) + \ddot{A}_2 \cdot sh^2 c,$$

$$A_n^{(2)} = \frac{2e^{-nc}}{n \cdot sh2c + sh2nc} \cdot \left\{ ne^{(n-1)c} \cdot shc - chnc + \overset{*}{k} \cdot \frac{e^{(n-1)c} \cdot shc}{n+1} + \overset{*}{k} \cdot \frac{shnc}{n(n+1)} \right\},$$

$$B_n^{(2)} = \frac{-2e^{-nc}}{n \cdot sh2c + sh2nc} \left\{ ne^{(n+1)c} \cdot shc - chnc + \overset{*}{k} \cdot \frac{n \cdot e^{(n+1)c} \cdot shc + shnc}{n(n-1)} \right\},$$

$$\overset{*}{k} \cdot \left\{ \frac{e^{-c} + ch2cshc}{2chc} - \frac{sh4c}{shc \cdot chc + c} - 2\sum_{n=2}^{\infty} \frac{2n^2 \cdot sh^2 c + n \cdot sh2c + 1 - e^{-2nc}}{n(n^2-1)(n \cdot sh2c + sh2nc)} \right\} =$$

$$= thc + 4\sum_{n=2}^{\infty} \frac{n \cdot sh^2 c}{n \cdot sh2c + sh2nc} + \frac{sh^2 c}{shc \cdot chc + c'}$$

$$\ddot{A}_2 = -\frac{\overset{*}{k} \cdot sh^2 c + 1}{shc \cdot chc + c}.$$

Для напружень по контуру кругового отвору дістанемо:

$$\left.\frac{\sigma_\beta}{P}\right|_{\alpha=c} = \frac{1}{2}\sin^2\varphi\left[1 + \ddot{A}_1(1 - chc \cdot \cos\beta) + \right.$$

$$+\sum_{n=1}^{\infty} A_n^{(1)} \left\{(n+1) \cdot chnc \cdot \cos n\beta - n \cdot ch(n+1)c \cdot \cos(n+1)\beta\right\} +$$

$$\left. +\sum_{n=1}^{\infty} B_n^{(1)} \left\{n \cdot ch(n-1) \cdot c\cos(n-1)\beta - (n-1)chnc \cdot \cos n\beta\right\}\right] +$$

$$+\frac{1}{2}\cos^2\varphi\left[1 + \ddot{A}_2(1 - chc \cdot \cos\beta) + \right.$$

$$+\sum_{n=1}^{\infty} A_n^{(2)} \left\{(n+1) \cdot chnc \cdot \cos n\beta - n \cdot ch(n+1)c \cdot \cos(n+1)\beta\right\} +$$

$$\left. +\sum_{n=1}^{\infty} B_n^{(2)} \left\{n \cdot ch(n-1) \cdot c\cos(n-1)\beta - (n-1)chnc \cdot \cos n\beta\right\}\right] -$$

$$-\frac{1}{2}\sin 2\varphi\left[\frac{4shc \cdot \sin\beta(1 - chc \cdot \cos\beta)}{(chc - \cos\beta)^2} + 4A_1^{(3)}(chc - \cos\beta) \cdot sh2c \cdot \sin\beta + \right.$$

$$\left. +(chc - \cos\beta)\sum_{n=2}^{\infty}\left\{A_n^{(3)} \cdot 2n(n+1) \cdot sh(n+1)c + B_n^{(3)} \cdot 2n(n-1)sh(n-1)c\right\}\sin n\beta\right].$$

В таблиці наведено значення напружень по контуру отвору при $\varphi = 10^0$ для деяких значень $\lambda = d/r$, де d – віддаль від центру кругового отвору до осі симетрії отвору з тріщиною, r – радіус кругового отвору.

θ^0	$\lambda = 1,01$	$\lambda = 1,5$	$\lambda = 10$
	σ_β / ρ	σ_β / ρ	σ_β / ρ
0	-0,96	-0,92	-0,96
30	-0,48	-0,50	-0,85
60	2,15	2,95	5,24
90	3,05	4,00	7,36
120	3,87	4,26	8,46
150	2,03	3,86	7,52
180	-0,46	-0,82	-0,96
210	-0,98	-0,70	-0,60
240	2,38	3,25	7,94
270	3,96	3,98	6,05
300	2,45	2,60	4,02
330	-0,50	-0,96	3,03
360	-0,90	-1,02	-2,01

При збільшенні довжини тріщини напруження на контурі зростають і максимальне значення напруження виникає на контурі отвору в точці, що відповідає куту .

1. Уфлянд Я.С. Интегральные преобразования в задачах теории упругости, - Л. 1968. 2. Kyohei Mori. On the tension of on infinite plote containing two circular holes connected by a slit, - Bull. JSME, 1964, V.7, №28, P.660 - 667. 3. Jeffery G.B. Plane stress and Plane Strain in Bipolar Coordinates. - Phil. Trans. of the Royal Soc. of London, 1921, Ser. A, V.221, P.265 - 293.

УДК 691:699.86

Г. Николин, І. Васильківський, Я. Юсик
Національний університет "Львівська політехніка"

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯМ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ З ЛЕГКИМИ ОГОРОДЖУЮЧИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

© Николин Г., Васильківський І., Юсик Я., 2002

Запропоновано алгоритм та реалізовано на його основі пристрій керування системою теплопостачання промислових будівель з легкими огороджуючими конструкціями.

The algorithm is offered and the device of management of system district heating of industrial construction with easy confinement by designs is realized on its basis.

Основна задача системи автоматичного керування теплопостачанням промислових будівель з легкими огороджуючими конструкціями полягає в забезпеченні відповідності між тепловтратами і теплонадходженнями в будь-який момент часу.