УДК 531.374, 539.213, 539.3

М. Михайлишин, Б. Головатий
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

ПОНИЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ

В результаті виконання багатьох технологічних операцій в елементах конструкцій виникають залишкові напруження і деформації, які, як правило, мають негативний вплив на експлуатаційні властивості конструкції. Зокрема після зварювання тонкостінних елементів конструкцій появляються залишкові напруження, деякі з компонент яких можуть досягати границі плинності матеріалу. Тому гостро стоїть проблема знаходження методів пониження рівня існуючих залишкових технологічних напружень. Основним джерелом виникнення залишкових технологічних деформацій є пластичне деформування конструкції. Одним із способів пониження рівня залишкових напружень є зміна поля існуючих залишкових деформацій. Тому ставиться задача знайти поле додаткових пластичних деформацій як можна меншої інтенсивності, накладання якого на існуюче приведе до результуючого поля залишкових напружень мінімальної інтенсивності. Така задача розв’язується для циліндричної оболонки із залишковими зварювальними напруженнями. На основі деформаційної теорії пластичності отримано систему рівнянь для визначення залишкових зусиль, моментів і переміщень оболонці з наявними в ній початковими технологічними деформаціями. Функціонал якості приймаємо у вигляді

$$J=\int_0^L\left[\alpha N_2^2+\beta\left(E_1^{(p)2}+E_2^{(p)2}\right)+\gamma\left(K_1^{(p)2}+K_2^{(p)2}\right)\right]dx,$$

де $E_i^{(p)}=\int\limits_{-h/2}^{h/2}\left(\bar{\varepsilon}_{ii}^{\,p}+\tilde{\varepsilon}_{ii}^{\,p}\right)dz=\bar{E}_i^{(p)}+\tilde{E}_i^{(p)};\ K_i^{(p)}=\int\limits_{-h/2}^{h/2}\left(\bar{\varepsilon}_{ii}^{\,p}+\tilde{\varepsilon}_{ii}^{\,p}\right)zdz=\bar{K}_i^{(p)}+\tilde{K}_i^{(p)}$,

$\bar{\varepsilon}_{ii}^{\,p}-$ наявні в тілі залишкові технологічні деформації, $\tilde{\varepsilon}_{ii}^{\,p}-$шукані додаткові пластичні деформації. З умови мінімуму розширеного функціоналу отримано повну систему рівнянь

$$\frac{dM_1}{dx}=Q_1,\ \frac{dQ_1}{dx}=\frac{E_0}{R}\left(\frac{hW}{R}-E_2^{(p)}\right),\ \frac{dW}{dx}=\theta_1,\ \frac{d\theta_1}{dx}=\frac{12}{h^3}\left[\frac{1-\nu^2}{E_0}M_1+K_1^{(p)}+\nu K_2^{(p)}\right],$$

$$\frac{du}{dx}=-\frac{\nu W}{R}+\frac{1}{h}\left(E_1^{(p)}+E_2^{(p)}\right),\ \frac{d\lambda_1}{dx}=\frac{12\left(1-\nu^2\right)}{E_0h^3}\lambda_4,\ \frac{d\lambda_2}{dx}=-\lambda_1,$$

$$\frac{d\lambda_3}{dx}=\frac{E_0h}{R}\left[2\alpha E_0\left(\frac{hW}{R}-E_2^{(p)}\right)-\frac{\lambda_2}{R}\right],\ \frac{d\lambda_4}{dx}=-\lambda_3$$

і відповідні граничні умови, які для вільної від навантаження і закріплення оболонки мають вигляд

$u=0,\ Q_1=0,\ \theta_1=0,\ \lambda_1=0,\ \lambda_3=0,$ при $X=0;\ W=0,\ M_1=0,\ \lambda_3=0,\ \lambda_5=0,$ при $X=L.$

Оптимальні узагальнені додаткові пластичні деформації визначаються за формулами

$$\tilde{E}_1^{(p)}=-\bar{E}_1^{(p)},\ \tilde{E}_2^{(p)}=-\bar{E}_2^{(p)}+\frac{E_0}{2R\left(\alpha E_0^2+\beta\right)}\left(2\alpha hE_0W-\lambda_2\right),$$

$$\tilde{K}_1^{(p)}=-\bar{K}_1^{(p)}-\frac{6\lambda_4}{\gamma h^3},\ \tilde{K}_2^{(p)}=-\bar{K}_2^{(p)}-\frac{6\nu\lambda_4}{\gamma h^3}.$$