

**Д. Л. Д и л ь м а н** (Челябинск, ЮУрГУ). **Математическая модель напряженно-деформированного состояния спирального менее прочного слоя в тонкостенной цилиндрической оболочке.**

Менее прочные (МП) слои являются характерной технологической особенностью многих сварных соединений. В [1] показано, что напряжение пластической неустойчивости (НПН) в тонкостенных цилиндрических оболочках (ТЦО), содержащих МП слои, отличается от НПН в однородных ТЦО [2] из-за возникающего в МП слоях *конструкционного* упрочнения, отличного от контактного и деформационного. НПН  $\sigma_i^* = \beta \sigma_B$ , где  $\beta$  — безразмерный коэффициент, и соответствующая этому напряжению критическая деформация  $\varepsilon_i^*$ , полученные в [1], являются критериальными величинами, на основе которых определяются прочность ТЦО из упрочняемых материалов при их работе в пластической зоне.

При наклонном, по отношению к направлению наибольшего главного напряжения, направлении слоя (например, МП спирального слоя в ТЦО), наличие касательных напряжений, действующих вдоль слоя, уменьшает несущую способность соединения. В этом случае аналогом коэффициента  $K = \sigma_B^{\text{БП}} / \sigma_B^{\text{МП}}$  механической неоднородности ( $\sigma_B^{\text{БП}}$  и  $\sigma_B^{\text{МП}}$  — пределы прочности металла ТЦО и МП слоя соответственно) является величина

$$K^{\text{нак}} = K \sqrt{1 + \frac{K^2 - 1}{K^2} \frac{g^2 C^2}{B^2}}. \quad (1)$$

Здесь  $g \in [1; K)$  — коэффициент контактного упрочнения материала слоя,  $B = \cos^2 \nu + m \sin^2 \nu$ ,  $C = (1 - m) \sin 2\nu$ ,  $\nu$  — угол наклона МП слоя к оси трубы,  $m$  — отношение осевого напряжения в стенке трубы к кольцевому. Всегда  $K^{\text{нак}} > K$  при  $\nu \neq 0$ , поэтому можно сказать, что переход к наклонному слою равносильно увеличению механической неоднородности соединения, т. е. уменьшению прочности слоя. Зависимость величины  $K^{\text{нак}}$  от  $\nu$  на отрезке  $\nu \in [0; \pi/2]$  при  $m \neq 1$  имеет единственный экстремум в точке  $\nu = 0,5 \arccos[(m - 1)/(1 + m)]$ . Формула (1) рекуррентная, т. к.  $g$  зависит от  $K^{\text{нак}}$ , но при малых  $K - 1$  быстро сходящаяся. Ее применение позволяет свести вычисление критической нагрузки для спирального слоя к задаче для продольного слоя [3]. Критическое давление  $p^*$  (у величин, соответствующих НПН, ставим звездочку) и условное расчетное кольцевое напряжение  $\sigma_\varphi^{\text{усл}}$  в ТЦО оцениваются по формулам:

$$p^* = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \frac{St_0}{R_0} \sigma_B, \quad \sigma_\varphi^{\text{усл}} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} S \sigma_B, \quad S = \frac{g^* (\sqrt{B^2 + C^2 (g^*)^2})^{n-1}}{B^n}. \quad (2)$$

Анализ зависимостей (2) может быть использован при выработке рекомендаций по использованию прямошовных и спиральношовных труб при различных условиях эксплуатации. Так, при отсутствии внешних осевых нагрузок в спиральношовных трубах допустимо более высокое давление (на 10–15%). Прямошовные трубы имеют преимущество при существенных ( $|m - 0,5| > 0,2$ ) осевых, особенно сжимающих нагрузках (температурных или связанных с условиями прокладки трубопровода), при большом контактном упрочнении. Интересно, что коэффициент  $S$  практически не зависит угла  $\nu$  при  $\nu \in [0; 0,5]$ , а затем быстро возрастает, увеличиваясь в 2 раза на отрезке  $[0,5; 1,5]$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дильман В. Л. Анализ пластической устойчивости осевых и спиральных мягких прослоек в цилиндрической тонкостенной оболочке. — Обзорение прикл. и промышл. матем., 2007, т. 14, в. 4, с. 704–705.
2. Дильман В. Л. Пластическая неустойчивость тонкостенных цилиндрических оболочек. — Изв. РАН, МТТ, 2005, № 4, с. 165–175.

3. Дильман В. Л., Остсемин А. А. О напряженно-деформированном состоянии при растяжении пластического слоя с двумя осями симметрии. — Изв. РАН, МТТ, 2001, № 6, с. 115–124.