

УДК 539.3.9

О. М. Кириченко, В. П. Раківненко, Л. А. Гребеник

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТОНКОСТІННИХ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА МЕЖЕЮ ПРОПОРЦІЙНОСТІ

З метою підвищення надійності елементів тонкостінних багатошарових конструкцій досліджується несуча здатність за межею пропорційності.

Постановка проблеми. У пропонуємі роботі, на відміну від попередньої [1], розглядається випадок, коли напруження у всіх або декількох шарах оболонки (пластини) в докритичному стані перевищують межу пропорційності. Цей випадок є надзвичайно важливим, оскільки численні теоретичні та експериментальні дослідження свідчать, що багатошарові оболонки (пластини) частіше втрачають стійкість за межею пропорційності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як свідчать теоретичні та експериментальні дослідження [2, 3], розв'язання даної задачі за допомогою теорії пластичності є дуже складним. Різними вченими запропоновано декілька теорій (малих пружно-пластичних деформацій, течі та ін.), які базуються на певних припущеннях відносно роботи матеріалів у пластичній області.

Мета роботи полягає в розробці прикладного методу розрахунку несучої здатності багатошарових оболонок (пластин), напружений стан яких визначається поза межею пропорційності.

Виклад основного матеріалу. Авторами використано спрощений варіант відомого наближеного підходу, запропонованого Ф. Блейхом щодо ортотропних пластин [2]. Сутність підходу полягає у такому: якщо в одному з напрямків напруження перевищують межу пропорційності, то в цьому напрямку ефективним є дотичний модуль пружності E_k , в той час як в іншому напрямку пропонується, як і раніше, використовувати модуль Юнга. Таким чином, структура оболонки (пластини) вважається ортотропною. Проілюструємо застосування запропонованої методики для розв'язування задачі стійкості багатошарової циліндричної оболонки при осьовому стиску. Для спрощення розглядатимемо багатошарову оболонку симетричної структури.

Задача розв'язується у два етапи за алгоритмом, який викладено в роботі [1].

На першому етапі з умови рівноваги елемента конструкції (див. рис. 2 [1]) визначаємо осьові і тангенціальні нормальні напруження, поперечні тангенціальні та нормальні напруження. На другому етапі визначаємо зведену згинну жорсткість.

Не повторюючи проміжних перетворень, які аналогічні до викладених в роботі [1], запишемо вираз критичного стискаючого зусилля для вільно закріпленої багатошарової циліндричної оболонки:

$$N_{кр} = \frac{B_M (1 - \mu^2)}{R^2 \cdot \alpha^2} + \left(D_{КНС} + \frac{D_{КМ} - D_{КНС}}{\lambda} \right) \cdot \lambda^2, \quad (1)$$

де $D_{КНС} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{k_i} \cdot \delta_i^3}{12(1 - \mu^2)}$ – сума власних згинних жорсткостей несучих шарів;

$D_{КМ} = \int_{Z_0}^{Z_u} \frac{E_k}{1 - \mu^2} \cdot Z^2 dz$ – згинна жорсткість багатошарового елемента на згин; E_k – дотичний модуль пружності.

За умови $R = \infty$ отримаємо із (1) критичне зусилля для вільно закріпленої багатошарової пластини:

$$N_{кр} = \left(D_{КНС} + \frac{D_{КМ} - D_{КНС}}{\lambda} \right) \cdot \alpha^2. \quad (2)$$

При визначенні критичного зусилля за формулами (1) і (2) можливо використовувати метод ітерацій і, задаючись критичним зусиллям $N_{кр}$, знаходити за діаграмою стиску матеріалу шарів дотичні модулі E_{k_i} та визначати величини, що входять у праві частини формул. Потім виконати мінімізацію за

параметрами α^2 і знайти нове значення $N_{кр}$, яке приймаємо як наступне наближення. Звичайно, процес ітерацій зручніше здійснювати за спеціальною програмою з використанням ЕОМ.

Для оцінювання достовірності отриманих формул виконаємо порівняльні розрахунки за зазначеними формулами і тими, що виведені на основі теорії пластичності.

Так, для тришарової циліндричної оболонки симетричної структури, виготовленої із дюралюмінію Д16Т ($E = 0,75 \cdot 10^5$ МПа, $\sigma_{нц} = 200$ МПа, $\mu = 0,5$), на рис. 1 зображена крива 1, що відповідає формулі (1). Крива 2 відповідає розрахункам на основі теорії пластичності [3].

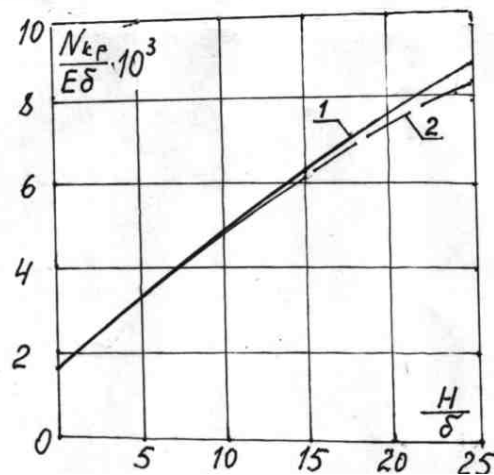


Рис. 1. Порівняльні розрахунки тришарової циліндричної оболонки

Із порівняння кривих випливає, що різниця між величинами $N_{кр}$, знайденими для нашого прикладу за формулою (1) і даними роботи [3], не перевищує 5 %.

Висновки

Виходячи із наведених результатів досліджень можливо стверджувати, що застосування наближеного методу розрахунку багатошарових оболонок (пластин) за межею пропорційності дає достатньо точні результати і дозволяє спрощено розв'язувати різні задачі будівельної механіки.

Список використаних джерел

1. Кириченко О. М. Прикладний метод розрахунку несучої здатності багатошарових оболонок / О. М. Кириченко, В. П. Раківненко // Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник НТУСТ ім. Василенка. – Х., 2009. – Вип. 80. – 398 с.
2. Блейх Ф. Устойчивость металлических конструкций / Ф. Блейх. – М. : Физматгиз, 1962. – 182 с.
3. Григолюк Э. И. Об устойчивости трехслойных оболочек и пластин за пределами упругости / Э. И. Григолюк // Изв. АН СССР, ОТН. – 1958. – № 6. – 152 с.

Стаття надійшла до редакції 11.11.2010 р.