

УДК 539.3

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ВІДПАЛУ ДЛЯ СКІНЧЕНОЇ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ ПРИ РІЗНИХ УМОВАХ ЗАКРІПЛЕННЯ ТОРЦІВ

Олександр Гачкевич, Микола Гачкевич, Богдан Боженко

*Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України,
Політехніка Опольська (Польща)*

dept13@iapmm.lviv.ua

У процесі зварювання елементів тонкостінних конструкцій і приладів виникають залишкові напруження і деформації, які можуть негативно впливати на їх експлуатаційні властивості. Тому однією з важливих науково-технічних проблем підвищення міцності тонкостінних зварних конструкцій є розробка методів зняття або зниження рівня залишкових зварних напружень. Для цього в інженерній практиці широко використовують локальну термообробку зон зварних швів – зональний відпал (відпуск).

При локальній термообробці в процесі нагрівання або охолодження виникають температурні напруження, значення яких істотно залежать від характеру відповідних температурних полів, геометричних параметрів та властивостей матеріалу елементів, що зварюються, умов закріплення. Значні рівні таких напружень суттєво погіршують ефективність термообробки. Зокрема, температурні напруження, накладаючись на залишкові, можуть перевищувати допустимі, що приводить до утворення додаткових пластичних деформацій або появи тріщин. З іншого боку, можливе таке накладення температурних і залишкових напружень, яке в зоні високих температур приводить до низького рівня сумарних напружень, внаслідок чого релаксація залишкових напружень не відбувається. Тому виникає потреба визначення таких режимів локального нагріву, при якому розподіл сумарних (температурних і залишкових) напружень у процесі термообробки був би оптимальним.

В роботі запропоновано варіант моделі визначення оптимальних за напруженим станом температурних полів технологічного нагріву циліндричної оболонки скінченної довжини за різних умов закріплення торцевих перерізів. На відміну від відомих екстремальних задач за відсутності обмежень на умови закріплення торцевих перерізів, що зводяться тільки до варіаційних задач на умовний екстремум для функціоналу енергії пружної деформації, в даному випадку граничні значення допустимих функцій, що варіюються, пов'язані між собою ще й умовами закріплення. Тому з необхідної умови екстремуму поряд з рівняннями Ейлера–Пуассона отримуємо додаткові екстремальні умови на граничні значення допустимих функцій (умови трансверсальності).

Розглянуто конкретні екстремальні температурні поля нагріву циліндричної оболонки скінченної довжини $2L$, радіуса R , товщини $2h$ на профілі екстремальних температурних полів нагріву, яка знаходиться під дією температурного поля, що відповідає випадку, коли умови локального нагріву включають лише обмеження на температурне поле у фіксованих перерізах оболонки. Зокрема, якщо температура T на кінцях зони нагріву дорівнює нулю, а в перерізі $x = 0$ досягає найбільшого значення T_0 , то відповідне екстремальне температурне поле є:

$$T = T_0 \left[1 - 3 \left(\frac{x}{x_1} \right)^2 + 2 \frac{|x|^3}{x_1^3} \right] \quad \text{при } |x| \leq x_1, \quad T = 0 \quad \text{при } |x| \geq x_1 \quad (1)$$

для вільної, жорстко защемленої та природно закріпленої оболонки. При нагріві таким температурним полем визначаючими є розтягувальні осові напруження на зовнішній поверхні в перерізі з максимальною температурою. Тут $x = az / R$, $a^4 = 3(1 - \nu^2)R^2 / (4h^2)$, z – осова координата, T_1 і T_2 – інтегральні характеристики температури T [1].

Числові дослідження температурних полів і відповідних напружень виконували для циліндричної оболонки при $\nu = 0,3$, $h / R = 1/40$, $L / R = 1$, при $z_1 / R = 0,5$. На рис. 1 наведено графіки зміни, в осовому напрямку температурного поля (1) і відповідних напружень для вільної оболонки. За наявних параметрів температурні напруження практично співпадають і відрізняються несуттєво в околі торцевих перерізів. Тут α – коефіцієнт лінійного температурного розширення, E – модуль пружності.

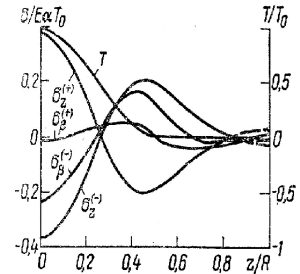


Рис. 1

Окремо розглянуто екстремальні температурні поля для конкретних умов локального нагріву довгої циліндричної оболонки, отримані в припущенні, що зміною температурного поля за товщиною можна знехтувати, тобто $T_2 \approx 0$ (градієнтність температурного поля можна не враховувати).

Досліджено вплив умов закріплення на рівні оптимальних температурних полів та відповідних напружень.

1. Гачкевич О.Р., Гачкевич М.Г., Будз С.Ф. Оптимізація за напруженим станом режимів нагріву скляних кусково-однорідних оболонок. – Львів: Ін-т прикл. проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, 2014. – 334 с.

MODELLING OF THE OPTIMAL THERMAL FIELDS OF RELEASE FOR A FINITE CYLINDRICAL SHELL UNDER DIFFERENT FIXATION OF THE END FACES

A mathematical model and an algorithm for constructing optimal temperature fields of local heating for a finite cylindrical shell under various kinds of fixation for the end faces are proposed.