

УДК 539.3

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ВІДПАЛУ ТЕРМОЧУТЛИВИХ СКЛЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ НАГРІВІ КОНВЕКТИВНИМ СПОСОБОМ І ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА

Любов Гаєвська, Микола Гачкевич, Олександр Гачкевич, Анна Козярьська

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів;
Політехніка Опольська, м. Ополе

Розглянуто методику моделювання та оптимізації за рівнем напруженого стану режимів відпалу термочутливих скляних елементів конструкцій (зокрема електровакуумних приладів) з метою зниження рівня залишкових напружень шляхом їх релаксації. При цьому за розрахунковий елемент вибрано елемент малої кривини, який моделюється вільною на торцях пластинною постійної товщини $2h$. При побудові методики оптимізації режимів прийнято, що відпал здійснюється за рахунок конвективного нагріву зовнішнім середовищем зі сторони основ модельного елемента (пластини) і джерелами тепла, які створюються сторонніми нагрівачами. Приймається, що такий спосіб нагріву є еквівалентним заданню на основах $\gamma = \pm h$ пластини змінної в часі температури.

Температурне поле в пластині описуємо в змішаній ортогональній криволінійній системі координат $\{\alpha_1, \alpha_2, \gamma\}$ (α_j – лінії головних кривин середньої поверхні пластини, $j = 1, 2$, γ – зовнішня нормаль до цієї поверхні) відомим рівнянням теплопровідності [1]:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial \gamma^2} + p^2 t = -\frac{Q_*}{\lambda},$$

за початкової умови

$$t(\alpha_1, \alpha_2, \gamma, 0) = t_0(\alpha_1, \alpha_2, \gamma) \equiv \text{const}$$

і окреслених вище крайових умов. Тут $Q_*(\alpha_1, \alpha_2, \gamma, \tau)$ – густина джерел тепла, що діють в пластині при нагріві від початкової температури до максимальної.

Для отримання наближеного розв'язку сформульованої задачі теплопровідності апроксимуємо розподіл температури за товщиною координатою γ кубічним поліномом [1], коефіцієнти якого виражаються через усереднені характеристики температурного поля за товщиною пластини і задані крайові умови.

Для визначення усереднених характеристик температури T_1 , T_2 приходимо до наступної системи диференціальних рівнянь [1]:

$$\begin{aligned} \left(\Delta - \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \tau} \right) T_1 - \frac{3}{h^2} T_1 &= -W_1 - \frac{3}{2h^2} (t^+ + t^-), \\ \left(\Delta - \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \tau} \right) T_2 - \frac{15}{h^2} T_2 &= -W_2 - \frac{15}{2h^2} (t^+ - t^-). \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Тут } W = \frac{1}{\lambda} Q_*(\alpha_j, \gamma, \tau), \quad W_1 = \frac{1}{2h} \int_{-h}^h W(\alpha_j, \gamma, \tau) d\gamma, \quad W_2 = \frac{3}{2h^2} \int_{-h}^h \gamma W(\alpha_j, \gamma, \tau) d\gamma.$$

Коефіцієнти апроксимуючого полінома визначаються системою рівнянь, яку отримується за безпосередньої підстановки представлень температури у відповідні крайові умови і у вирази, що описують усереднені характеристики T_1 , T_2 температури [1].

Розглянуто випадок побудови ефективних режимів цільового симетричного нагріву з використанням однорідної температури зовнішнього середовища, яка залежить тільки від часу τ . В цьому випадку система диференціальних рівнянь (1) буде системою звичайних диференціальних рівнянь першого порядку з постійними коефіцієнтами, розв'язок якої знаходимо методом найменших квадратів при скінченно-елементній апроксимації функції $t^+(\tau)$. При цьому суттєво спрощується процедура числового визначення параметрів термонапруженого стану пластини, яка використовується в числовому алгоритмі оптимізації.

Схема нагріву і методика числової оптимізації описана в [1].

Проведено числовий аналіз побудованих оптимальних режимів для пластини товщиною $2h = 14$ мм зі скла С92. Встановлено, що при використанні дії постійних джерел тепла потужністю 10^5 Вт/м³ (при тих же значеннях допустимих температурних напружень на поверхні) в розглядуваному випадку дає можливість скоротити на 20% час виходу на максимальну температуру нагріву в порівнянні з режимом, при лише конвективному нагріві за тих же максимальної температури нагріву і допустимих максимальних значень компонент тензора напружень.

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

OPTIMIZATION OF THE ANNEALING REGIMES FOR THERMOSENSITIVE GLASS STRUCTURE MEMBERS SUBJECT TO COVECTIVE HEATING AND THERMAL SOLURCES

The technique for the optimization of the annealing regimes for thermosensitive sensitive glass elements is proposed for heating by convective method and heat sources.