

УДК 621.793.927.7

В.Я. Гаврилюк, Ч.В. Пулька, д-р. техн. наук, проф., В.М. Михайлишин,  
М.С. Михайлишин, канд. фіз.-мат. наук, доц.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНОГО НАПЛАВЛЕННЯ ТОНКИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ З ЕКОНОМНОЮ ВИТРАТОЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

V. Havryliuk, Ch. Pulka, Dr., Prof., V. Mykhailishyn, M. Mykhailishyn, Ph. D.,  
Assoc. Prof.

## RESEARCH OF INDUCTION SURFACING THE THIN ELEMENTS OF CONSTRUCTIONS WITH ECONOMICAL COST OF ELECTRICITY

Для наплавлення тонких елементів конструкцій в тому числі дисків по зовнішній кромці стійким до зношування матеріалом використовується кільцевий індуктор [1], який дозволяє здійснювати наплавлення одночасно по всій зоні зміцнення. При такому способі наплавлення забезпечується осьова симетрія процесу, що дозволяє отримувати деталь без короблення і при цьому відпадає необхідність в додатковому рихтуванні. Наплавлення здійснюється з використанням індукційного нагрівання, перевагами якого є висока концентрація енергії в зоні нагріву, що дозволяє підвищити продуктивність процесу за рахунок скорочення часу [2]. Але при цьому індукційний нагрів має ряд недоліків, а саме електромагнітне випромінювання та надмірні витрати електроенергії, які в свою чергу впливають на здоров'я оточуючих і на оплату послуг за використану енергію.

В роботі [3] отримана наближена формула залежності від часу потужності теплових джерел для забезпечення за заданий час  $\tau^*$  необхідної температури в зоні наплавлення при мінімальному розході енергії.

Метою даної роботи є розроблення більш точного оптимального закону зміни в часі потужності теплових джерел, що дозволяє значно зменшити витрати електроенергії та матеріальні і трудові затрати.

В роботі використано рівняння теплопровідності диска для усередненої за товщиною температури і потужності теплових джерел, яке має вигляд [3,4]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{k^*}{2h} T - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{w(r, t)}{\lambda} = 0, \quad (1)$$

де  $T = T^* - T_{\text{ср}}$ ,  $T^*$  – температура диска,  $T_{\text{ср}} = \text{const}$  – температура середовища;  $k^* = \alpha \lambda$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу диска;  $2h$  – товщина диска;  $a$  – температуропровідність;  $w(r, t)$  – усереднена за товщиною функція розподілу питомої потужності внутрішніх джерел тепла.

Після проведення досліджень отримано повну питому енергію за весь час нагріву  $\tau^*$ , яка дорівнює:

$$W_{\text{опт}} = \int_0^{\tau^*} w_0(t) dt = \frac{4\lambda k^* T_{\text{зд}}^*}{a R_2^2 (R_2^2 - R_1^2)} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(e^{a\omega_k^2 \tau^*} - 1) [R_2 J_1(v_k R_2) - R_1 J_1(v_k R_1)]^2}{v_k^2 (v_k^2 + k^{*2}) J_1^2(v_k R_2) (a\omega_k^2 e^{a\omega_k^2 \tau^*} + sh(a\omega_k^2 \tau^*))}. \quad (2)$$

Для того, щоб оцінити економію енергії, яка досягається внаслідок зміни питомої потужності джерел за оптимальним законом (2), потрібно знайти величину постійної в часі питомої потужності джерел, яка необхідна для нагріву диска в зоні наплавлення до заданої середньої температури  $T_{\text{зд}}^*$ . Можна показати [3], що ця величина рівна:

$$w^* = \frac{\lambda k^* T_{зд}^*}{h(1 - e^{-\frac{ak^*\tau^*}{h}})} \quad (3)$$

і відповідно повна питома енергія за весь час нагріву:

$$W^* = \frac{\lambda k^* T_{зд}^* \tau^*}{h(1 - e^{-\frac{ak^*\tau^*}{h}})} \quad (4)$$

Економія енергії, яка досягається внаслідок нагріву за оптимальним законом дорівнює:

$$\Delta_1 = \frac{W_{\text{опт}} - W^*}{W^*} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Цікаво також порівняти повні затрати енергії для нагріву, знайдені в даній роботі, з аналогічною величиною, якщо зміна потужності внутрішніх джерел здійснюється за оптимальним законом, знайденим в роботі [3] і яка рівна:

$$W_{sh} = \frac{\lambda T_{зд}^*}{a * sh(\frac{ak^*\tau^*}{h})} \cdot \left( e^{\frac{ak^*\tau^*}{h}} - 1 \right), \quad (6)$$

тоді відповідна економія енергії дорівнює:

$$\Delta_2 = \frac{W_{\text{опт}} - W_{sh}}{W_{sh}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Числові обчислення проведено для таких даних. Геометричні розміри диска становлять:  $R_1 = 0,092$  м,  $R_2 = 0,105$  м,  $2h = 0,003$  м. Матеріал диска – сталь Ст3сп з теплофізичними характеристиками: температуропровідність –  $a = 6,2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; теплопровідність –  $\lambda = 40$  Вт/(м · °С); коефіцієнт тепловіддачі –  $\alpha = 455$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С);  $T_{зд}^* = 1220$  °С; час нагріву –  $\tau^* = 32$  с.

Економія енергії, яка досягається внаслідок використання одержаного нами оптимального закону зміни потужності джерел (2) порівняно з нагрівом при постійній потужності:

$$\Delta_1 = \frac{W_{\text{опт}} - W^*}{W^*} \cdot 100\% = 36,832\%.$$

Економія енергії, яка досягається внаслідок використання оптимального закону зміни потужності джерел порівняно з нагрівом за законом в роботі [3]:

$$\Delta_2 = \frac{W_{\text{опт}} - W_{sh}}{W_{sh}} \cdot 100\% = 15,775\%.$$

### Література

1. О.М. Шаблій Режими індукційного наплавлення деталей із урахуванням використання екранування теплових і електромагнітних полів [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, В.Я. Гаврилюк, В.С. Сенчишин. – Вісник ТНТУ ім. Івана Пулюя. – 2014. – № 1 (73). – С. 109–118.
2. И.А. Рябцев Наплавка деталей машин и механизмов [Текст] / И.А. Рябцев. – Киев: Экотехнология, 2004. – 160 с.
3. О.Н. Шаблій, Оптимизация энергозатрат при индукционной наплавке тонкостенных дисков [Текст] / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, Б.П. Будзан // Автоматическая сварка. – 1987. – № 1 (406). – С. 36–39.
4. О.Н. Шаблій, Пути экономии электроэнергии при индукционной наплавке тонкостенных дисков [Текст] / О.Н. Шаблій, Ч.В. Пулька, Б.П. Будзан // Автоматическая сварка. – 1988. – № 12 (429). – С. 56–58.