

**Цоцко В.І.**

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

## **ТЕМПЕРАТУРНЕ ПОЛЕ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МЕТАЛУ ПРИ ПЕРІОДИЧНІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ ДІЇ НА ПОВЕРХНЮ**

Метали, напівпровідники, більшість інших матеріалів у твердому стані переважно функціонують в умовах змінних температур. В процесі виготовлення або відновлення вони також піддаються змінній тепловій дії. Термоциклічна обробка металів, зокрема сталей, привертає увагу в контексті високоінтенсивних імпульсних технологій, що дозволяють прискорити фазу обробки або зекономити витрати ресурсів. З'являється можливість підвищення встановлених верхніх меж нагрівання та інтенсифікації дифузійних процесів. Імпульсну енергетичну дію легко відтворити в рамках місцевої термообробки з використанням доступних локальних джерел енергії. Чітка температурна зумовленість дифузійних потоків, фазових перетворень потребує виявлення закономірностей нестационарного температурного поля в поверхневому шарі металу в умовах імпульсної енергетичної дії на поверхню для проведення виваженого по точкового впливу на даний шар.

Для швидкоплинних нерівноважних процесів в умовах локального нагрівання і охолодження поверхні металу експериментально визначити температуру, швидкості її зміни, інші параметри теплових потоків важко. Математичне моделювання досліджуваних явищ значно спрощує одержання результату, економить час та ресурси.

При аналітичному дослідженні поля температур одновимірної однорідної металічної моделі кінцевої довжини  $l$  з заданим коефіцієнтом температуропровідності  $a^2$  в умовах періодичної (синусоїдальної) дії на її оброблювану поверхню було отримано вираз для відхилення температури  $v(x,t)$  від величини миттєвого рівноважного її розподілу в залежності від відстані до поверхні  $x$  та часу обробки  $t$ :

$$v(x,t) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi n} A \omega^2 \frac{1}{\left[ \left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2 + \omega^2 \right]} \left\{ \exp \left[ -\left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2 t \right] + \left[ \frac{\left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2}{\omega} \sin \omega t - \cos \omega t \right] \right\} \sin \frac{\pi n}{l} x$$

де  $\omega$  – частота періодичної теплової дії,  $A$  – амплітуда коливань температури на поверхні зразка.

Після уведення позначень

$$B_n = -\frac{2}{\pi n} A \omega^2 \cdot \frac{1}{\left[ \left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2 + \omega^2 \right]}; \quad C_n = \frac{2}{\pi n} A \omega \cdot \frac{1}{\left[ \left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2 + \omega^2 \right]};$$

відхилення температури  $v(x,t)$  можна подати у вигляді

$$v(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} B_n \cdot \exp \left[ -\left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2 t \right] \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(\omega t + \varphi_n) \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x. \quad (1)$$

або

$$v(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ B_n \cdot \exp \left[ -\left( \frac{\pi n}{l} \right)^2 a^2 t \right] + C_n \cos(\omega t + \varphi_n) \right\} \cdot \sin \frac{\pi n}{l} x. \quad (2)$$

За співвідношеннями (1) або (2) та миттєвого рівноважного її розподілу у зразку визначається температурне поле  $T(x,t)$  в моделі.

Для вирішення поставленої задачі було застосовано метод розподілу змінних, який призводив до розв'язку у вигляді ряду Фур'є [1, с. 200-219].

Розв'язок (1), (2) має істотні відмінності від подібних аналогів [1, с. 243-244], що зумовлено різною постановкою задачі по відношенню до часу процесу. Застосовуючи одержане рішення для конкретного матеріалу, наприклад для зразка із низько вуглецевої сталі заданої довжини, можна розрахувати температурне поле зразка в довільному часовому зрізі [2]. Особливо цікаві результати для початкового інтервалу часу, оскільки вони не відображені в відомих рішеннях.

- [1] Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1972. 736 с.
- [2] Цоцко В.И. Температурные колебания в металле./ В.И. Цоцко, И.М. Спиридонова // Вісник Дніпропетровського університету. Т. 18, № 2. 2010. С. 61-68.