

УДК 621.365.5

Тютюнник П.О.¹, Яримбаш Д.С.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ОПИСУ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В СИСТЕМІ ІНДУКЦІЙНОГО ОБІГРІВУ МУНДШТУКА ПРЕСУ

Для підвищення якості та ефективності процесу пресування заготовок вугільно-графітових блоків необхідно провести оптимізацію режимів індукційного нагрівання та розробити ефективні схеми встановлення керуючих термодар в мундштуці пресу. Експериментальне визначення ефективних схем встановлення термодар обмежене особливостями технологічного обладнання та потребує значних фінансових витрат, що практично робить його недоцільним. Альтернативою експериментальним дослідженням є проведення математичного моделювання електротеплових процесів в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса». Для проведення моделювання електротеплових процесів потрібне використання математичних моделей, які достовірно і адекватно описують процеси теплопередачі в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса». Метою роботи було створення математичної моделі, яка б ефективно, достовірно та адекватно визначала процеси теплопередачі в системі «Індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса».

Процеси тепломасопереносу в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса» описуються системою нелінійних диференціальних рівнянь виду:

$$\begin{cases} c_i \rho_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \operatorname{div} \left(\lambda_i \vec{\operatorname{grad}} T_i \right) + \sigma_i^{-1} \delta_i^2; \\ c_m \rho_3 \frac{\partial T_m}{\partial t} = \operatorname{div} \left(\lambda_m \vec{\operatorname{grad}} T_m \right); \\ c_{\text{ВГМ}} \rho_{\text{ВГМ}} \left(\frac{\partial T_{\text{ВГМ}}}{\partial t} + \left(\vec{w}, \vec{\operatorname{grad}} T_{\text{ВГМ}} \right) \right) = \operatorname{div} \left(\lambda_{\text{ВГМ}} \vec{\operatorname{grad}} T_{\text{ВГМ}} \right) + q_{\text{ВГМ}}, \end{cases} \quad (1)$$

з відповідними початковими умовами Коші [1], перехідними умовами, які враховують безперервність у часі температурних полів за циклами пресування, граничними умовами комбінованого конвективно-лучистого теплообміну [1] на поверхнях сполучення елементів системи або умов конвективної теплопередачі [1].

Теплофізичні параметри відповідної системи (коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність, густина) визначаються як функції температури, до яких застосовувались градації Шлака-Сарьянта і трансформації Ейерса для лінеаризації системи (1). Це дозволяє привести рівняння (1) для областей індукторів та мундштуку пресу до виду:

$$\frac{\partial E_j}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial z} \right) + p. \quad (2)$$

Виконується перехід від системи рівнянь в трансформаціях Ейерса і градаціях Шлака-Сарьянта із використанням заміни безперервних функцій коефіцієнту впливу ступеневими до системи рівнянь параболічного типу відносно градацій Шлака-Сарьянта:

$$C_U \cdot \frac{\partial U_\lambda}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial U_\lambda}{\partial z} \right) + p. \quad (3)$$

Система рівнянь (3) замикається модифікованими крайовими умовами для границь теплообміну та теплопередачі, виділених у розрахунковій галузі системи «індуктори–мундштук».

Таким чином системі нелінійних рівнянь теплопровідності (1).

З нелінійними крайовими умовами може бути поставлена у відповідність система рівнянь параболічного типу в градаціях градаціях Шлака-Сарьянта з перетвореними граничними і початковими умовами виду:

$$U_{\lambda_j} = U_{\lambda_j}(x, y, z, t_0) \quad (4)$$

Представлена постановка задачі опису процесів теплопередачі в системі «індуктори-мундштук-вугільно-графітова маса» забезпечує скорочення числа ітерацій при моделюванні теплопередачі в процесі виготовлення заготовок подових і доменних блоків, так як більша кількість рівнянь в апроксимуючій системі будуть лінійними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lienhard, J. H., V and Lienhard, J. H., IV. A Heat Transfer Textbook, 6th ed. Cambridge MA: Phlogiston Press, 2024. – 810 p.