

УДК 539.4.015:539.43

Чорний Д.В.<sup>1</sup>, Беженев С.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> студ. гр. ІФз-212сп НУ «Запорізька політехніка»

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

## **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ ТЕРМІЧНО МАСИВНИХ ВИРОБІВ З ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ РІЗНИХ ГРУП**

В сучасному машинобудуванні широкого розповсюдження знайшли вуглецеві сталі з різним вмістом вуглецю, який зумовлює специфіку структури матеріалу, що забезпечує певні властивості. При цьому, найбільший ефект підвищення властивостей таких матеріалів спостерігається у термічно обробленому стані (гартування, відпуснення, відпал, нормалізація). Проте рівномірність фізичних властивостей уздовж перерізу виробу у значній мірі залежить від рівномірності температурного поля, що утворюється в процесі нагрівання виробу до заданих температур, особливо, якщо нагріваються термічно масивні тіла з достатньо великим внутрішнім термічним опором ( $Bi > 0,5$ ).

Метою дослідження є порівняльний аналіз ефективності різних режимів процесу нагрівання термічно масивних виробів з вуглецевих сталей різних груп (з різним вмістом вуглецю) з урахуванням кінцевої нерівномірності температурного поля уздовж перерізу виробів, енерговитрат та витрат часу на здійснення технологічної операції нагрівання.

Матеріалами дослідження було обрано мало-, середньо-, та високовуглецеві сталі. Досліджували процес нагрівання термічно масивних виробів таких груп сталей [1–3] від початкової температури  $t_0 = 20$  °С до температур нормалізації/гартування сталей відповідної групи з різними режимами теплообміну. Варіювали інтенсивність процесу підведення теплової енергії до поверхні виробів, та величину температурного напору на поверхню виробу. Варіації теплових режимів аналізували за найбільш ефективного симетричного способу підведення теплової енергії до поверхні виробів циліндричної форми. Використовували відому фізико-математичну модель, яка являє собою нестационарну одномірну задачу перенесення теплоти теплопровідністю від поверхні виробу необмеженої довжини до його центру за незмінних умов зовнішнього теплообміну (граничними умовами III-го роду). Ефективність процесу нагрівання оцінювали за такими параметрами: нерівномірність розподілу температур уздовж перерізу виробів; тривалість процесу нагрівання; сумарна кількість теплової енергії, яку

затрачено на нагрівання одиниці площі поверхні виробу до заданої температури.

Одержано залежності параметрів ефективності від відносного температурного напору для різних значень коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_{\Sigma}$ , який змінювали від  $\alpha_{\Sigma(\min)} = 180 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$  до  $\alpha_{\Sigma(\max)} = 230 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , що відповідало таким діапазнам значень критерію Біо: від 0,519 до 0,737 – для маловуглецевих сталей; від 0,637 до 0,871 – для середньовуглецевих сталей; від 0,542 до 0,766 – для високовуглецевих сталей.

За результатами досліджень встановлено, що для всіх досліджуваних матеріалів збільшення коефіцієнта тепловіддачі в меншій степені додає нерівномірності розподілу температур і стає суттєвим фактором тільки при значеннях відносного температурного напору, які перебільшують 4 %. Встановлено також, що для всіх досліджуваних матеріалів збільшення коефіцієнта тепловіддачі майже не впливає на кількість спожитої теплової енергії (до 2 %), проте дуже суттєво скорочує час процесу нагрівання (від 32 % до 48 %) тим інтенсивніше, чим більшим є вміст вуглецю у сталі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Воробей, В.А. Аналіз параметрів ефективності процесу нагрівання термічно масивних виробів з маловуглецевих сталей. [Електронний ресурс] / В.А. Воробей, С.О. Беженев // Тиждень науки-2021. Транспортний факультет : щоріч. наук.-практ. конф., 19–23 квітня 2021 р. : тези доп. / Редкол. : В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – НУ «Запорізька політехніка», 2021. – С. 61–62.

2. Сокольський, А.І. Аналіз параметрів ефективності процесу нагрівання термічно масивних виробів з середньовуглецевих сталей. [Електронний ресурс] / А.І Сокольський, С.О. Беженев // Тиждень науки-2022 : щоріч. наук.-практ. конф., 18-22 квітня 2022 р. : тези доп. / Редкол. : В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – С. 134–136.

3. Корнійчук, Д.Ф. Аналіз параметрів ефективності процесу нагрівання термічно масивних виробів з високовуглецевих сталей. [Електронний ресурс] / Д.Ф. Корнійчук, С.О. Беженев // Тиждень науки-2023. Транспортний факультет. Тези доповідей науково-технічної конференції, Запоріжжя, 24-28 квітня 2023 р. / Редкол. : Вадим ШАЛОМЄЄВ (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2023. – С. 68–70.