

УДК 539.4.015:539.43

Гончаренко Д.А.¹, Беженев С.О.²

¹ студ. гр. ІФ-217 НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ НАГРІВАННЯ ТЕРМІЧНО МАСИВНИХ ВИРОБІВ З ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ РІЗНИХ ГРУП

В сучасному машинобудуванні широкого розповсюдження знайшли леговані сталі, тобто сталі, до складу яких було введено окремі легуючі елементи задля формування певних фізичних, хімічних та механічних властивостей. Легування є одним з основних методів керування литою структурою матеріалу і являє собою термодинамічно стабільний процес уведення додаткових компонентів до сплаву, максимальний ефект від якого досягається при однорідному розподіленні легуючих елементів. На відміну від модифікування під час легування набуті властивості зберігаються після подальших переплавлень металу.

Найбільший ефект підвищення властивостей стали під впливом легуючих елементів спостерігається у термічно обробленому стані. Тому у переважній більшості випадків деталі з легованих сталей використовують після гартування та відпущення. Проте рівномірність фізичних властивостей уздовж перерізу виробу у значній мірі залежить від рівномірності температурного поля, що утворюється в процесі нагрівання виробу до заданих

температур. Гострою стає така проблема, 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 легованих сталей різних груп з урахуванням кінцевої нерівномірності температурного поля уздовж перерізу виробів, енерговитрат та витрат часу на здійснення технологічної операції нагрівання.

Матеріалами дослідження було обрано мангановані (1,2 – 1,8 % Mn) сталі, хромисті сталі (11 – 13 % Cr) та хромонікелеві сталі (15 – 22 % Cr; 8 – 12 % Ni). Використовували відому фізико-математичну модель [1], яка являє собою нестационарну одновимірну задачу перенесення теплоти теплопровідністю від поверхні виробу необмеженої довжини до його центру за незмінних умов зовнішнього теплообміну (граничними умовами III-го роду). Досліджували процес нагрівання термічно масивних виробів від початкової температури $t_0 = 20$ °C до температури гартування сталей відповідної групи такого класу ($t_{hd} = t(x/L=1)$) з різними режимами теплообміну.

Варіювали інтенсивність процесу підведення теплової енергії до поверхні виробів, що характеризується значенням сумарного коефіцієнта тепловіддачі $\alpha\Sigma$, та величину температурного напору на поверхню виробу, що характеризується значенням безрозмірного температурного критерію $\Theta(x/L=1) = (t_{eh} - t(x/L=1)) / (t_{eh} - t_0)$, де t_{eh} – температура зовнішнього теплоносія. Варіації теплових режимів аналізували за найбільш ефективного [2] симетричного способу підведення теплової енергії до поверхні виробів. Форму виробів було обрано циліндричну, оскільки, в порівнянні з нагріванням пластин такої самої масивності, на нагрівання циліндричних виробів витрачається вдвічі менше часу та теплової енергії [3].

Ефективність процесу нагрівання оцінювали за такими параметрами: нерівномірність розподілу температур уздовж перерізу виробів $\Delta t = t(x/L=1) - t(x/L=0)$, °C; тривалість процесу нагрівання τ , с; сумарна кількість теплової енергії, яку затрачено на нагрівання одиниці площі поверхні виробу до заданої температури Q , Гкал./м².

Одержано залежності параметрів ефективності від відносного температурного напору для різних значень коефіцієнта тепловіддачі $\alpha\Sigma$, який змінювали від $\alpha\Sigma(\min) = 150$ Вт/(м²·К) до $\alpha\Sigma(\max) = 200$ Вт/(м²·К), що відповідало таким діапазонам значень критерію Біо: від 0,503 до 0,758 – для манганових сталей; від 0,534 до 0,717 – для хромистих сталей; від 0,562 до 0,749 – для хромонікелевих 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 5 %. До значного збільшення нерівномірності температурного поля уздовж перерізу виробів призводить зростання температурного напору: найбільш інтенсивне зростання нерівномірності розподілу температур спостерігається для хромонікелевих сталей, а найменша – для марганцевих сталей.

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 (до 30 %).

Аналіз одержаних результатів показав, що вплив відносного температурного напору на час процесу нагрівання та кількість спожитої теплової енергії має дещо інший характер, ніж вже описаний вплив цього фактора на нерівномірність розподілу температур уздовж перерізу виробів досліджуваних матеріалів. Найбільші значення часу на нагрівання та кількості спожитої теплової енергії потребують вироби з хромистих сталей, а найменші – вироби з хромонікелевих сталей. При цьому слід зауважити, що суттєві зміни як часу процесу нагрівання, так і кількості спожитої теплової енергії для марганцевих сталей спостерігається тільки для невеликих значень відносного температурного напору ($\Theta|x/L=1 < 1 \%$). При більших його значеннях ($1 \% < \Theta|x/L=1 < 5 \%$) названі параметри змінюються несуттєво (близько 10 %). Для хромонікелевих і, особливо, хромистих сталей має місце суттєве змінювання (близько 30 %) як часу процесу нагрівання, так і кількості спожитої теплової енергії, у всьому досліджуваному діапазоні значень відносного температурного напору.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рубцов В. В. Дослідження параметрів процесу нагрівання термічно масивних виробів з хромистих сталей / В.В. Рубцов, С.О. Беженев // Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 18–22 квітня 2016 р. – Том 1. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С. 95-97.

2. Тимченко, П.Ф. Аналіз ефективності процесу нагрівання термічно масивних виробів з хромонікелевих сталей [Електронний ресурс] / П.Ф. Тимченко, С.О. Беженев // Тиждень науки: щоріч. наук.- практ. конф., 16-20 квітня 2018 р.: тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – С. 155-157.

3. Набережний, Г.Г. Аналіз факторів, що впливають на ефективність процесу нагрівання термічно масивних виробів з малолегованих марганцевих сталей [Електронний ресурс] / Г.Г. Набережний, С.О. Беженев // Тиждень науки-2019. Транспортний факультет : щоріч. наук.-практ. конф., 15-19 квітня 2019 р. : тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – С.80-82.