

МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕРМОМЕХАНІКИ ПРИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ НАГРІВІ МАЛОВУГЛЕЦЕВИХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕВИХ ТІЛ ЗА ВРАХУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗАЛИШКОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Томаш Волчанські¹, Олександр Гачкевич², Тереза Козакевич³

¹Політехніка Опольська, Освітньо-навчальне об'єднання в Глушині, м. Ополь, tomasz.wolczanski@wp.pl,

^{2,3}Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України, м. Львів, ²hachkevych@ukr.net,

³tv.kozakevych@gmail.com

Актуальною є розробка математичних моделей термомеханіки, які дозволяють дослідити тепловий та напружений стани у сталевих виробах, зокрема, у пластинчастих елементах конструкцій, у процесі технологічного високотемпературного нагріву з метою отримання раціональних режимів термообробок, а також покращення їх експлуатаційних властивостей за врахування структурних залишкових деформацій.

Зміна структури сталей відбувається за різних способів термічної обробки і робить свій внесок у зміну властивостей сталей. Як правило, розглядають такі основні фази при теплових впливах (нагріві – охолодженні): аустеніт, мартенсит, бейніт, ферито-перліт. Перехід однієї фази до іншої визначається різницею їхньої вільної енергії, а критичні точки є точками рівності вільних енергій співіснуючих фаз. Саме поліморфні перетворення в залізі визначаються перебудовою решіток об'ємно – центрованої кубічної ґратки при нагріванні в гранецентровані кубічні ґратки, і навпаки при охолодженні.

Через моделювання та визначення просторового неоднорідного фазового складу при охолодженні та зумовлених ним залишкових напружень у сталевих тілах при локальному високотемпературному нагріві, ми можемо проводити їх оптимізацію з метою отримання певних механічних властивостей тіл і рівня залишкових напружень.

Визначення залишкового напруженого стану розглядуваних сталевих пластин проводимо на основі розв'язування відповідної задачі термомеханіки, сформульованої відносно переміщень. Тут вихідною є залишкова деформація, яка зумовлена різним відсотковим вмістом фазових складових (при різних їх густинах), що виникають при структурному перетворенні, викликаному термічною обробкою. Відповідно до принципу адитивності деформація, викликана різним відсотковим змістом наявних фазових складових (при їх питомих об'ємах) $e_a = \eta_M \xi_M + \eta_B \xi_B + \eta_{FP} \xi_{FP}$, де $\xi_M = 0,01 \cdot M$ (відсотковий вміст мартенситу), $\xi_B = 0,01 \cdot B$ (– бейніту), $\xi_{FP} = 0,01 \cdot FP$ (– феррито-перліту). Ця деформація відповідає, при врахуванні відомих експериментальних даних [1], зміні питомого об'єму вихідного ферито-перліту $V_{FP} \equiv 1/\rho_{FP} = 0,1274 \cdot 10^{-3}$, м³/кг, де ρ_{FP} – густина ферито-перліту) при

аустенізації та наступній зміні питомого об'єму утвореного аустеніту на відсоткові об'ємні частини: мартенситу ($V_M \equiv 1/\rho_M$, де ρ_M – густина мартенситу), бейніту ($V_B \equiv 1/\rho_B = 0,1277 \cdot 10^{-3}$, м³/кг, де ρ_B – густина бейніту) і ферито-перліту ($V_{FP} = V_{FP}$ вихідного).

Тобто, для визначення залишкових напружень необхідні відомі значення об'ємної залишкової деформації, які пов'язані з питомими об'ємами основних фазових складових, що утворюються при високотемпературному нагріві – охолодженні розглянутих низьколегованих маловуглецевих тонких сталевих тіл.

Задачу про знаходження залишкових деформацій сформульовано на основі підходу методу умовних залишкових деформацій при відомій деформації фазових складових [2].

З використанням відомих матеріалознавчих аспектів опису структурних змін при високотемпературному нагріві і наступному монотонному охолодженні сталевих тіл сформульовано варіант комплексної задачі термомеханіки маловуглецевих низьколегованих сталевих тонких пластин при нагріві рухомими розподіленими джерелами тепла за врахування фазових змін, яка складається з чотирьох відповідних підзадач.

1. *Wolczański T., Kozakevych T., Hachkevych O.* Structural and residual stress state of steel plates subjected to the heating of moving heat sources. – Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole, 2019. – 290 с.
2. *Гачкевич А., Козакевич Т., Волчанські Т., Кукарєко В.* Вибрані матеріалознавчо-математичні аспекти при визначенні залишкових структурного та напруженого станів сталевих пластин при нагріванні та охолодженні // Manufacturing processes. Actual Problems – 2021 Vol. 1: Basic science applications in manufacturing processes. SIM z. 493 (ISBN 978-83-66033-23-8, pod red. nauk.: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wolczański). Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole, 2021. – 6. – С. 97-122.

MATHEMATICAL PROBLEMS OF THERMOMECHANICS DURING HIGH-TEMPERATURE HEATING OF LOW-CARBON LOW-ALLOY STEEL BODIES TAKING INTO ACCOUNT CONSTRUCTIVE RESIDUAL DEFORMATIONS

With the use of well-known material science aspects of the description of structural changes during high-temperature heating and subsequent monotonous cooling of steel bodies, a variant of the complex problem of thermomechanics of thin plates made of low-carbon, low-alloy steel during heating is proposed. by moving distributed heat sources taking into account phase changes is formulated, which consists of four corresponding subtasks.