

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПИС СТРУКТУРНОГО І НАПРУЖЕНОГО ЗАЛИШКОВИХ СТАНІВ У СТАЛЕВИХ ТІЛАХ ЗА ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАГРІВУ

Томаш Волчаньскі, Олександр Гачкевич, Тереза Козакевич

*Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАН України,*

Політехніка Опольська, Освітньо-навчальне об'єднання в Глушині (Польща)

`dept13@iapmm.lviv.ua`

Поява залишкових напружень у сталевих тілах за високотемпературного нагріву – охолодження пов'язана, в основному, з пластичними деформаціями і деформаціями, які виникають внаслідок фазових змін. Вплив температурних і силових навантажень на залишкові напруження, які зумовлені пластичними деформаціями в літературі розглянуто досить широко. Проте залишковий напружений стан, викликаний змінами фазового складу в сталевих тілах за різних способів нагріву та наступного їх охолодження вивчений недостатньо. Тому актуальною є розробка методики визначення просторово неоднорідного фазового складу при охолодженні та, обумовлених ним, залишкових напружень у сталевих тілах, зокрема тонких низьколегованих маловуглецевих пластинах за технологічного нагріву, а також їх оптимізація з метою отримання певних механічних властивостей цих пластин.

На основі моделей, що ґрунтуються на статистичному підході до опису розпаду аустеніту, запропоновано методику параметричної оптимізації параметрів рухомого розподіленого джерела тепла відносно відсоткового вмісту мартенситу (за критерієм мінімуму максимального вмісту мартенситу) при зменшенні рівня залишкових напружень.

Виявлені нові дані про залишкові напруження та фазові розподіли в тонких маловуглецевих низьколегованих сталевих пластинах за наявності високотемпературного нагріву рухомим розподіленим джерелом тепла при врахуванні вихідного складу сталі та певних термічних і технологічних умов нагріву, зокрема: відсоткового вмісту конкретних легуючих хімічних елементів; загального однорідного підігріву, який заданий значенням початкової постійної температури; локального супутнього підігріву, що окреслений локальним стаціонарним температурним полем; змінного параметра розсіювання в джерелі тепла, що характеризує розподіл енергії в цьому джерелі.

Задачі математичної фізики, що описують фазові зміни та відповідні їм залишкові напруження є суттєво нелінійними, загальні методи розв'язання

яких ще не розроблені [1]. Тому актуальним при розв'язанні цієї проблеми є використання експериментальних чи теоретично встановлених особливостей протікання наявних процесів і явищ та застосування числових і числово-аналітичних методів розв'язування сформульованих при цьому задач математичної фізики.

При побудові моделей опису і оптимізації фазового і зумовленого ним залишкового станів тіл, зокрема пластин, виступає проблема встановлення термочувливих характеристик матеріалу. Для певних матеріалів окремі з них є визначені експериментально. Але актуальним є встановлення приведених (сталіх) характеристик, для яких можна отримати достатньо якісно і кількісно прийнятливий результати без додаткових істотних математичних складностей, які вносять врахування термочувливості.

У літературі опрацьовано окремі варіанти теорії фізичних механізмів перетворень у сталях, зокрема з використання регресивних моделей для опису фазового стану [1–2]. Однак необхідні подальші дослідження з побудови загальних моделей опису фазових змін і зумовленого ними залишкових напружень, в яких ефективно можуть бути використані сучасні підходи до побудови моделей механіки зв'язних полів різної фізичної природи. Зазначимо, що у більшості наявних підходів до опису залишкового напруженого стану сталевих тіл, вихідним є визначення відсоткового вмісту фазових складових при розпаді аустеніту за охолодження при змінах температури в інтервалі температур поліморфних перетворень. Тому необхідний розвиток як експериментальних, так і теоретичних підходів до точного встановлення цього відсоткового вмісту, а також опрацювання моделей опису розпаду аустеніту в сталевому тілі за конкретних умов охолодження, які в тій чи іншій мірі враховують фізичні процеси, що відбуваються при структурних змінах за технологічного нагріву.

1. *T. Wolczański, T. Kozakevych, O. Hachkevych.* Structural and residual stress state of steel plates subjected to the heating of moving heat sources. (ISSN 1429-6063, ISBN 978-83-66033-63-4). Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole, 2019. – 290 с.
2. *A. Гачкевич, Т. Козакевич, Т. Волчаньски, В. Кукареко.* Избранные материаловедческо-математические аспекты при определении остаточных структурного и напряженного состояний стальных пластин при нагреве и охлаждении // 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. Глава 6. – С. 97–122.

MATHEMATICAL MODELING AND DESCRIPTION OF STRUCTURAL RESIDUAL STRESS STATES IN STEEL BODIES UNDER TECHNOLOGICAL HEATING

Development of a technique for determining the spatially inhomogeneous phase composition during cooling, due to it, residual stresses in steel bodies during technological heating, as well as optimization to obtain certain mechanical properties in these plates.