

УДК 539.3

## МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ПИТОМИХ ОБ'ЄМІВ ФАЗОВИХ СКЛАДОВИХ У СТАЛЕВИХ ПЛАСТИНАХ ЗА НАГРІВУ-РУХОМИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТЕПЛА

Томаш Волчанські<sup>1</sup>, Олександр Гачкевич<sup>2</sup>, Тереза Козакевич<sup>2</sup>, Володимир Кукареко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Політехніка Опольська, м. Опольце;

<sup>2</sup>Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, м. Львів;

<sup>3</sup>Об'єднаний інститут машинобудування НАН Білорусі, м. Мінськ

Розглянуто варіант методики встановлення значень питомих об'ємів фазових складових у тонких маловуглецевих низьколегованих сталевих пластинах при високотемпературному нагріві та наступному охолодженні, необхідних при моделюванні і оптимізації залишкових фазового і напруженого станів конструктивних елементів різного інженерного призначення, зокрема, оболонки і пластин при локальному оптимальному відпаді [1]. Рівень цих станів пов'язаний зі структурними перетвореннями в сталі. Відзначимо, що при охолодженні перетворення  $A \rightarrow (F + P)$  (аустеніт  $\rightarrow$  ферито-перліт) пов'язане зі зміною питомого об'єму модифікації заліза на 1%, а перетворення  $A \rightarrow M$  (аустеніт  $\rightarrow$  мартенсит) – зі зміною на 4%. Особливо важливим є те, що перетворення  $A \rightarrow M$  відбувається за температури, при якій в метали зникає пластичність, характерна для підвищеної температури (наприклад, для нелегованої сталі за температури не вище 450°C). Такі зміни викликають в основному пружні деформації і відповідні напруження, які при охолодженні стають залишковими.

Висвітлено питання, пов'язані з коректними обчисленнями з достатньою точністю значень питомих об'ємів фазових складових, які виникають при розпаді аустеніту: ферито-перліту, бейніту і мартенситу. Такі об'єми виступають при застосовуваному моделюванні (за використання комплексної задачі термомеханіки при врахуванні фазових перетворень) залишкових структурного і напруженого станів сталевих пластин за нагріву рухомими розподіленими джерелами тепла. Значення цих об'ємів використовують для окремих типів низьколегованих маловуглецевих сталей, зокрема ферито-перлітних, при практичних розрахунках параметрів залишкових фазових складових і відповідних коефіцієнтів, які містяться у виразах для питомих деформацій цих складових.

Відомі експериментальні дані про збільшення об'єму для сталі при перетворенні (розпаду аустеніту) рівному 0.1% на кожні 0.1% вуглецю (тут і надалі відповідні дані приводяться по [2]).

На основі наявних даних встановлено, що для розглядуваних в моделі Касаткіна О.Г, Зайффарта П. та ін. [2] типів сталей при монотонному охолод-

женні нижче  $500^{\circ}\text{C}$  практично не змінюється розподіл відсоткового вмісту утворених фазових складових. Залишкові напруження визначаються цими відсотковими вмістами і значеннями питомих об'ємів у нормалізованому стані, приведеному до температури  $t = 20^{\circ}\text{C}$ . При цьому, при незмінності відсоткового вмісту утворених фазових складових, значення питомих об'ємів при охолодженні від  $500^{\circ}\text{C}$  до  $20^{\circ}\text{C}$  змінюються істотно. Тому на цьому інтервалі структурні напруження будуть мати характер тимчасових (біжучих) напружень, які визначаються тільки миттєвими значеннями питомих об'ємів фазових складових (при наявному незмінному їх відсотковому вмісті, який встановився при охолодженні до  $500^{\circ}\text{C}$ ). Вони істотно залежать від вмісту вуглецю і наявної температури та їх значення будуть асимптотично прямувати до значень залишкових напружень за зниження температури до природньої.

Відзначимо, що така поведінка залишкових напружень у залежності від температури, може бути врахована у відомій [2] моделі опису і оптимізації фазового і напруженого станів маловуглецевих низьколегованих тонких сталевих пластин за нагріву розподіленими рухомими джерелами тепла з подальшим застосуванням при уточненні режимів оптимального нагріву оболонок і пластин [1].

*Роботу виконано за часткової фінансової підтримки в рамках наукового проєкту СБ-460 (2020-2021) спільного конкурсу наукових проєктів НАН України та НАН Білорусі.*

1. Григолюк Э.И., Подстригач Я.С., Бурак Я.И. Оптимизация нагрева оболочек и пластин. – Киев: Наукова думка, 1979. – 364 с.
2. Wolczański T., Kozakevych T., Hachkevych O. 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.

#### **METHODOLOGY FOR ESTABLISHING THE VALUES OF THE SPECIFIC VOLUME OF PHASE COMPONENTS IN STEEL PLATES FOR MOVING HEAT SOURCE**

*A variant of the methodology for establishing the values of the specific volumes of phase components in thin low-carbon low-alloy steel plates at high-temperature heating and subsequent cooling is considered.*