

УДК 621.791.927.5

В. І. Савуляк, д-р. техн. наук, проф.; **С. А. Заболотний, канд техн. наук;**
В. Й. Шенфельд, асп.; **М. С. Українець, студ.**

ВПЛИВ ТЕРМІЧНИХ ПОЛІВ ПРОЦЕСУ НАПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ЇХ СТРУКТУРУ ТА ТВЕРДІСТЬ

Подано результати вивчення причин та механізмів зміни твердості та структури нанесеного покриття в залежності від кількості наплавлених валків.

Вступ

Наплавлення в середовищі захисних газів є одним із поширених методів нанесення функціональних покриттів. Якість таких покриттів досить ґрунтовно досліджена як вітчизняними так і закордонними вченими [1–4]. Дослідження впливу потоку тепла від зварювальної дуги під час наплавлення в середовищі захисних газів показали утворення широкого спектру структур у зоні впливу та відповідних фізико-механічних характеристик [5–7]. Найбільше уваги зосереджувалось на твердості покриття, яка є одним з структурно-чутливих показників та найбільш цікава для практичних застосувань.

Характерною особливістю процесів зварювання та наплавлення з використанням електричної дуги є наявність значних перепадів температур на відносно невеликих відстанях. Для залізвуглецевих сплавів, наприклад, на момент запалювання дуги температура у зоні плавлення перевищує 1200 °С, а на відстані кількох сантиметрів близька до температури середовища. Тепло розповсюджується в матеріалі заготовки та в навколишньому середовищі з утворенням температурного поля. Враховуючи рух дуги, поле безперервно змінює свою конфігурацію, що викликає зміни структури в матеріалі та твердості як в часі так і у просторі. Прослідкувати динаміку процесів структуроутворення та зміну фізико-механічних характеристик на фізичних моделях без комп'ютерного моделювання практично неможливо.

У більшості досліджень науковці зосередили увагу на зміні твердості в глиб товщини наплавленого покриття. При цьому припускали, що твердість покриття в осьовому напрямку (від першого до n -го валіка при використанні схеми наплавлення по спіралі циліндричних деталей) є сталою, або змінюється у незначних межах.

Метою роботи є дослідження впливу теплових полів, які формуються в процесі наплавлення покриття, на структуру наплавленого матеріалу та основу, а також на його твердість у напрямку від початку наплавлення до останнього накладеного валіка.

Матеріали та методика досліджень

Для експериментальних досліджень наплавлених покриттів виготовлено сім комплектів зразків діаметром 40 мм та довжиною 140 мм. Кожен комплект складався із 3-х зразків.

На перший комплект наплавлялося по одному валку, а на кожен наступний наплавлялося на один валок більше. Для кожного зразка наплавлення проводилося на однакових режимах (сила струму $I_{зв} = 120$ А; напруга $U_{зв} = 28$ В; крок наплавлення $t = 2,8$ мм).

Матеріал зразків – сталь 40 Х. Нанесення покриття проводилось на установці для наплавлення в середовищі захисних газів УД-209М дротом Нп-30ХГСА.

Температурні поля під час проведення процесу наплавлення реєстрували за схемою, що показана на рис. 1. Для цього у визначених точках висвердлювали отвори і встановлювали термомпари 7. Сигнал від термомпар надходив до вимірювального пристрою 6. Фіксування зміни температури у часі фіксувалося за допомогою відеокамер 4 та 5.

Під час електродугового наплавлення в середовищі захисних газів зварювальна ванна кристалізується досить швидко, а наступний валік наноситься із певним перекриттям на структурно-сформовану основу попереднього. Вплив наступного валіка на попередній буде не лише у його частковому розплавленні та перемішуванні у зварювальній ванні з новою порцією розплавленого електродного дроту та заготовки, а і у вигляді теплового впливу, який ви-

кликає структурні перетворення.

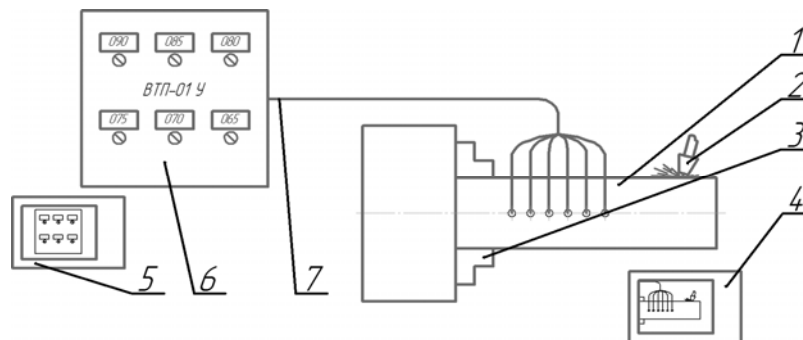


Рис. 1. Схема вимірювання температури деталі під час наплавлення:
 1 – заготовка, 2 – наплавна головка; 3 – 3-х кулачковий патрон, 4 – відеокамера, що фіксує процес нанесення покриття, 5 – відеокамера, що фіксує зміну температури, 6 – прилад для вимірювання температури ВТП-01У, 7 – термопару

Паралельно температурні поля розраховувались за допомогою програм кінцево-елементного аналізу. Комп'ютерне моделювання операції наплавлення здійснюється у такій послідовності: побудова 3d моделі деталі, що наплавляється на певній операції; задання фізико-механічних властивостей матеріалу; генерація кінцево-елементного аналогу тривимірної моделі; визначення тепловкладення, що діє на деталь та час його дії тощо; проведення розрахунків результуючих величин (температура, деформації, тощо), із подальшим виводом отриманих даних у вигляді графіків, таблиць, полів та ін.

Результати досліджень

Як зазначалося вище, на фізико-механічні характеристики та структуру нанесеного покриття значно впливає температурне поле, що формується під час наплавлення та безперервно змінюється у часі та просторі. Проте найзначніші зміни структури відбуваються на ділянках температурного поля, які розташовані в зоні плавлення та поблизу неї.

Практичне визначення миттєвої температури ділянки деталі, що прилягає до зони плавлення є складною, а в деяких випадках неможливою задачею. Доцільним є моделювання температурних процесів, що супроводжують наплавлення функціональних покриттів методом кінцево-елементного аналізу з використанням спеціалізованого програмного забезпечення на ПК.

Адекватність результатів моделювання підтверджувалась зіставленням результатів моделювання температурних полів деталі та вимірюванням температури заготовки в заданих точках, що суміжні із зоною плавлення (нанесення покриття) (рис. 2). Вимірювання проводилось під час наплавлення і протягом усього часу охолодження зразків.

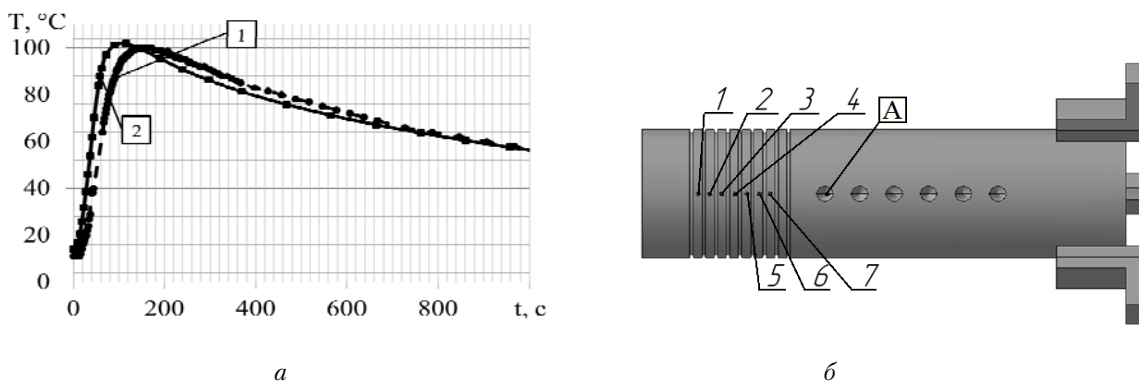


Рис. 2: а – зміна температури точки А на зразку під час наплавлення першого валика та в процесі його охолодження (1 – результати вимірювання температури, 2 – результати моделювання); б – послідовність накладання валиків

Як впливає із зіставлення результатів вимірювання та моделювання (рис. 2а) відхилення не перевищує 7 %. Незначний зсув (відхилення) в часі можна пояснити використанням під час вимірювання температури хромель-алюмель термопар, які мають інерційність, що стано-

вить 5...6 с, а також використанням мідних втулок, що використовувались для фіксації термомпар. Оскільки втулки мають відмінні від сталі термодинамічні властивості, то виникає сумарний зсув у часі 10–20 с.

Дослідження температурного поля зразка в процесі охолодження після наплавлення на його поверхню покриття проводилось шляхом вимірювання температур у п'яти точках, розташованих на циліндричній поверхні вздовж осі зразка на відстані 10 мм одна від одної. Зіставлення результатів вимірювання та моделювання показало, що відхилення не перевищує 5 %.

Таким чином, можна говорити про адекватність реалізованої моделі, що дозволяє визначати температуру в будь якій точці об'єму зразка (крім зони ванни розплаву) під час наплавлення покриття та його охолодження. А результати моделювання можна використовувати для вивчення процесів структуроутворення наплавленого покриття.

В таблиці подані результати моделювання температурного поля після наплавлення різної кількості валиків на поверхню зразків. Значення температури T_i в таблиці відповідають усередненій температурі по поверхні відповідних i -х валиків в момент закінчення їх наплавлення (рис. 2б).

Розподіл температур в зоні нанесення покриття

Температура	№ валка						
	1	2	3	4	5	6	7
T_1	101,74	–	–	–	–	–	–
T_2	341,46	438,28	–	–	–	–	–
T_3	388,89	438,28	514,85	–	–	–	–
T_4	436,07	450,83	514,86	575,48	–	–	–
T_5	478,2	487,85	514,86	575,48	626,37	–	–
T_6	515,76	522,9	532,49	575,48	626,37	671,92	–
T_7	549,33	555	562,22	575,48	626,37	671,92	708,93

Мікроструктурний аналіз наплавленого покриття

Внаслідок досягнення різних температур на сформованих валках після наплавлення їх певної кількості та відповідною зміною швидкості їх охолодження відбувається формування покриття із різними структурами та її варіаціями вздовж покриття для окремих випадків.

Покриття, що формується у разі наплавлення одного валика найбільше відповідає характеристикам зварного шва. Мікроструктура такого покриття відповідає мікроструктурі залишкового аустеніту (рис. 3а), що є результатом порівняно швидкого його охолодження.

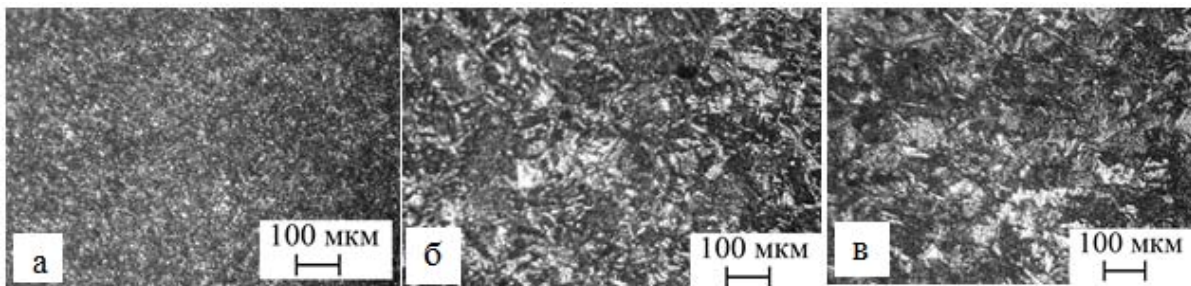


Рис. 3. Мікроструктура нанесеного покриття (середина): а – 1 валик; б – 3 валики; в – 5 валиків

Якщо в процесі формування покриття нанести декілька валків (2...7), то середня температура деталі підвищується (табл.). При цьому внаслідок накопичення значної кількості теплоти в матеріалі деталі зменшується швидкість охолодження покриття. Ми отримуємо покриття із мікроструктурою, аналогічною мікроструктурі сталі після термічної операції відпуску. В такому випадку прослідковується мікроструктура трооститу відпуску (рис. 3б, в).

ДюрOMETричний аналіз покриття

Аналіз робіт [8, 9] показав, що зі зростанням температури відпуску сталі 30ХГС твердість зменшується за нелінійним характером. Аналогічні результати були отримані внаслідок дюрOMETричних досліджень наплавлених покриттів із різною кількістю валиків n (рис. 4).

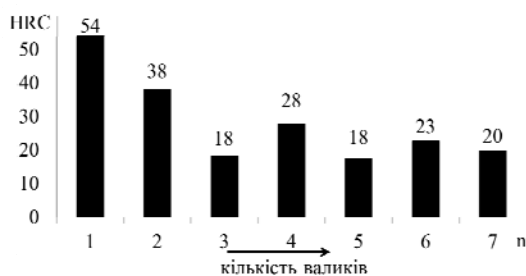


Рис. 4. Середня твердість покриття на відстані 3 мм від зони сплавлення в залежності від кількості наплавлених валків

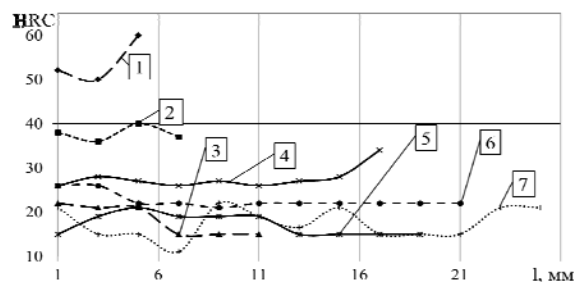


Рис. 5. Твердість поверхні валків в осьовому перетині (позиції на рисунку відповідають кількості наплавлених валків, що формують покриття)

Результати моделювання температурних полів в зоні наплавлення показали, що теплові процеси в зразках відповідають тепловим процесам під час відпуску деталей. ДюрOMETричний аналіз показав, що твердість покриття по поверхні вздовж осі від точки початку наплавлення є нерівномірною, що відповідає конфігурації теплових полів (рис. 5).

Висновки

1. Проведені дослідження показали, що кількість валків, що наносяться на деталь в процесі формування покриття наплавленням, значно впливають на розподіл температур у деталі, мікро-, макроструктуру і твердість покриття.
2. Твердість покриття, що формується накладанням двох і більше валків, є нерівномірною по всій довжині покриття, але змінюється в невеликих межах (до 5–10 %).
3. Для підвищення твердості покриття, яке формується послідовним накладанням двох і більше валків, необхідно вводити додаткове охолодження деталі.
4. Моделювання процесів наплавлення покриттів методом кінцево-елементного аналізу дозволяє з достатньою точністю (похибка на перевищує 5–7 %) визначати температуру у довільних точках деталі та спрогнозувати фазові перетворення в матеріалі основи та покриття.
5. В процесі моделювання необхідно враховувати усі шляхи тепловідведення від зони плавлення та реальні характеристики системи (розміри та властивості пристосувань, деталі, навколишнє середовище тощо).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Педос С. И. Теория формирования покрытий: Методы получения покрытий : учеб. пос. / С. И. Педос, В. А. Шугаев. — М. : Учеба, 2007. — 64 с.
2. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л. И. Тушинский, А. В. Плохов. — Новосибирск, Наука, 1986. — 216 с.
3. Хасуи А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки ; под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина ; пер. с яп. В. Н. Попова. — М. : Машиностроение, 1985 — 240 с.
4. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин. — М. : Metallurgizdat, 1964. — 421 с.
5. Фролов В. В. Теория сварочных процессов / В. В. Фролов. — М. : Высш. шк., 1988. — 559 с.
6. Махненко В. И. Тепловые процессы при механизированной наплавке деталей типа круговых цилиндров / Т. Г. Кравцов, В. И. Махненко. — Киев : Наукова думка, 1976. — 160 с.
7. Савуляк В. І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. — 2009. — № 11(141). С. 48—52.
8. Похиленко Г. М. Розробка комплекснолегованої сталі 30ХГСА для деталей сільськогосподарської техніки [Електронний ресурс] // Науковий Вісник Національного аграрного університету України. Серія техніка та енергетика АПК. — 2010 р. — Режим доступу до журн. : http://www.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2010...4/10pgm.pdf.
9. Гольдштейн М. И. Специальные стали : учеб. для вузов / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. — М. : Metallurgiya, 1985. — 408 с.

Рекомендована кафедрою технології підвищення зносостійкості

Стаття надійшла до редакції 15.03.12
Рекомендована до друку 4.04.12

Савуляк Валерій Іванович — завідувач кафедри, **Заболотний Сергій Антонович** — старший викладач, **Шенфельд Валерій Йосипович** — аспірант.

Кафедра технології підвищення зносостійкості;

Українець Максим Сергійович — студент Інституту машинобудування і транспорту.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця