УДК 621.791

В. Й. Шенфельд[1]
О. І. Боднар[1]
В. В. Шенфельд[1]

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІЧНИХ ПОЛІВ ПРОЦЕСУ НАПЛАВЛЕННЯ ПОКРИТТІВ НА ЇХ СТРУКТУРУ ТА ТВЕРДІСТЬ

[1] Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Дана робота проводилась з метою експериментального та теоретичного дослідження впливу термічних полів процесу нанесення покриття шляхом наплавлення в середовищі захисних газів на його структуру та твердість.

Ключові слова: наплавлення, температурні поля, мікроструктурний аналіз, дюрометричний аналіз, кінцево-елементний аналіз.

Abstract

This work was carried out with the aim of experimentally and theoretically investigating the influence of thermal fields of the coating process by surfacing in a protective gas environment on its structure and hardness.

Keywords: surfacing, temperature fields, microstructural analysis, durometric analysis, finite element analysis.

Вступ

Наплавлення в середовищі захисних газів є одним із найпоширеніших методів нанесення функціональних покриттів на поверхні деталей, що виготовляються або відновлюються.

У випадку необґрунтованого вибору режимів нанесення покриття або використання електродного дроту, що не відповідає за хімічним складом необхідним вимогам, у наплавленому шарі може виникати ряд дефектів. Одним з них є невідповідність структури та фізико-механічних властивостей нанесеного покриття вимогам експлуатації в конкретних умовах [1-3].

Одним із визначальних факторів, що впливає на структуроутворення та властивості під час формування наплавленого покриття, є температурні поля в деталі, що залежать від режимів наплавлення.

Під час дослідження впливу розповсюдження тепла по об‘єму деталі на твердість нанесених покриттів науковці зосереджували свою увагу на зміну твердості по товщині нанесеного покриття. При цьому припускали, що твердість покриття в осьовому напрямку (від першого до n-го валика при використанні схеми наплавлення по спіралі циліндричних деталей) є сталою, або змінюється у незначних межах.

Проте, як показали дослідження, зміна твердості покриття в осьовому напрямку може бути досить значною, що зумовлено механізмом формування покриття під час почергового накладання валиків наплавленням.

Вплив теплової дії кожного наступного валика на попередні є мало дослідженим на даний момент. Тому основним завданням, що вирішується в роботі, є встановлення механізму зміни твердості покриття, нанесеного наплавленням на циліндричні деталі в середовищі захисних газів, в осьовому напрямку.

Результати дослідження

Найбільш значні фазові зміни відбуваються на ділянках температурного поля, які розташовані в зоні плавлення та поблизу неї.

Практичне визначення температури ділянки деталі, що наближена до зони плавлення є складною, а в деяких випадках неможливо задачею. В такому випадку доцільним є моделювання температурних процесів, що супроводжують наплавлення функціональних покриттів методом кінцево-елементного аналізу з використанням спеціалізованого програмного забезпечення на ПК.

Визначальним для певних структурних перетворень під час нагрівання і охолодження сплавів є досягнення температур критичних точок діаграм сплавів. З врахуванням цього, до результатів моделювання висуваються досить високі вимоги, щодо відповідності реальним значенням. Саме тому, під час досліджень, було приділено значну увагу доведенню адекватності результатів моделювання.

Адекватність результатів моделювання підтверджувалась шляхом співставлення результатів моделювання температурних полів деталі та практичного вимірювання температурного поля в деталі на ділянках, що суміжні із зоною плавлення (нанесення покриття). При співставленні результатів вимірювання та моделювання відхилення не перевищувало 5…10%.

Таким чином можна говорити про адекватність виконаної моделі, що дозволяє визначити 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 пояснення процесів кристалізації та структуроутворення наплавленого покриття.

Одним із визначальних чинників, які впливають на процес структуроутворення наплавленого покриття, є швидкість охолодження зварної ванни, конфігурація температурного поля та зони термічного впливу, а також їх співвідношення з положенням критичних точок діаграми стану сплаву A_{c1} та A_{c3}. Так, наприклад, для отримання загартованих структур сталі 30ХГС її необхідно нагріти до температури 820 ^{o}C та охолоджувати із швидкістю, що перевищує критичну, а саме 70 ^{o}C/сек.

Проте, як показують результати моделювання, максимальна температура, що досягається на попередньо сформованих валиках під час наплавлення не перевищує 672 ^{o}C. Швидкість охолодження при цьому коливається в межах 2…5 ^{o}C/сек.

Нанесення функціональних покриттів та дослідження їх структуроутворення проводилося шляхом електродугового наплавлення в середовищі захисних газів на зразки виготовлені із прокату у стані поставки сталі Ст.3 та сталі 40Х. Структури основного металу, що не потрапили до зони термічного впливу (перекристалізації) показано на рис.1.

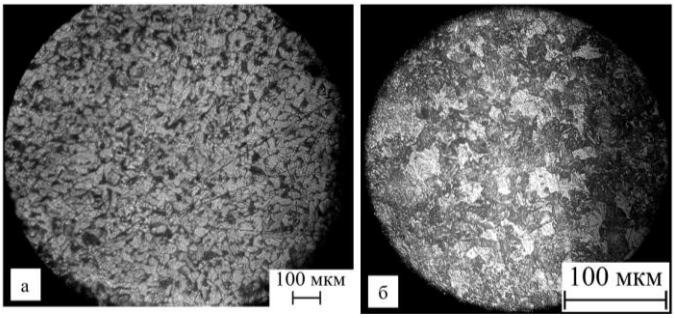


Рис. 1. Мікроструктури матеріалу основи зразків для проведення досліджень: а – Ст. 3, б – сталь 40 Х.

Внаслідок досягнення різних температур на сформованих валках під час 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 при наплавленні одного валика найбільше відповідає характеристикам зварного шва. Мікроструктура такого покриття зображена на рисунку 2 і відповідає мікроструктурі залишкового аустеніту на мартенситній основі, що є результатом порівняно швидкого його охолодження.

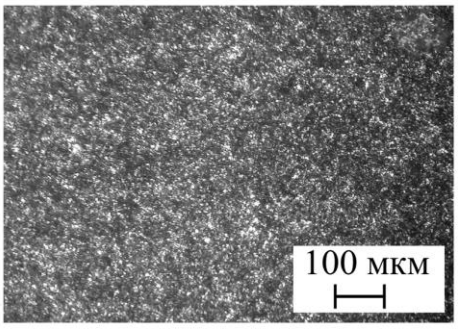


Рис.2. Мікроструктура нанесеного покриття при наплавленні одного валика на основу - сталь 40Х.

Якщо при формуванні покриття нанести декілька валків (2-5), то середня температура деталі підвищується із більшою швидкістю. 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 відпуск. Підтвердженням цього є рисунок 3.8 (а, б), де зображені мікроструктури покриття, отриманого при нанесенні трьох і п’яти валків на сталь 40Х. В даному випадку прослідковується мікроструктура трооститу відпуску.

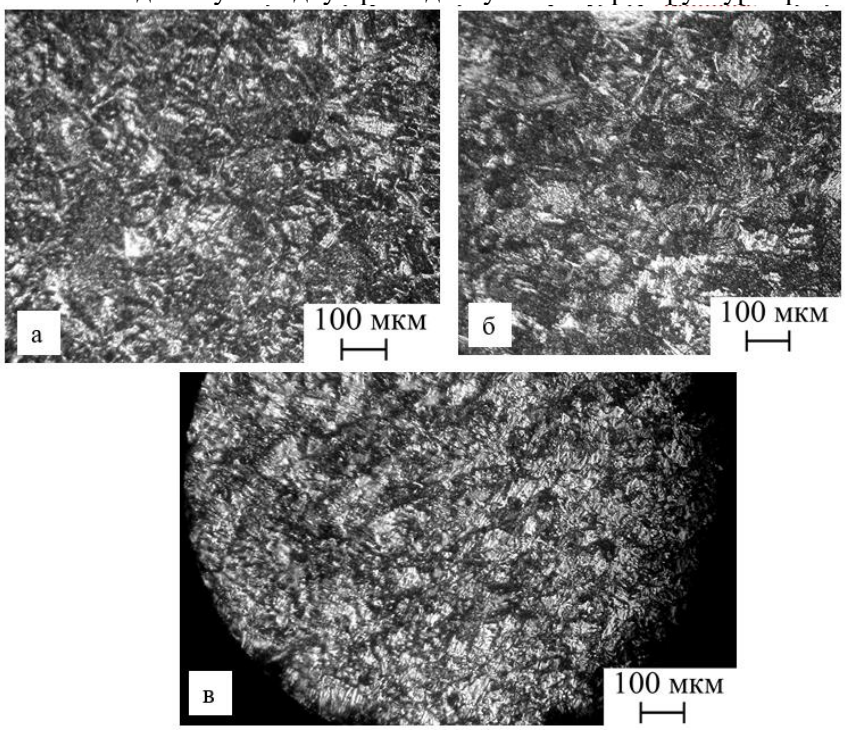


Рис. 3. Мікроструктура нанесеного покриття (середина): а) три валки на сталь 40Х; б) п‘ять валків на сталь 40Х; в) сім валків на сталь Ст. 3

Дані дюрометричного аналізу показали, що твердість покриття по поверхні в осьовому напрямку від початку наплавлення є нерівномірною (рис. 4). Наприклад, при вимірюванні твердості покриття першого зразка чітко спостерігається така залежність – твердість більша на ділянках, що наплавлені спершу та в останню мить, а віддаляючись від цих точок, твердість покриття поступово зменшується.

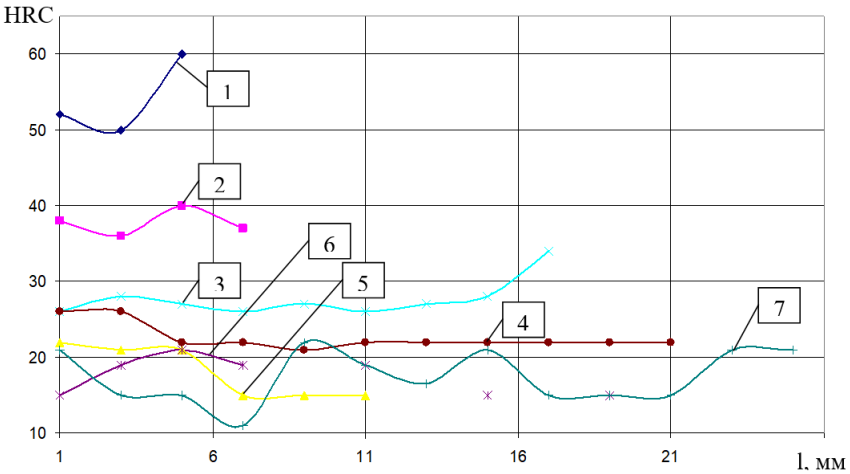


Рис. 4. Зміна твердості по довжині нанесеного покриття (позиції на рисунку відповідають порядковому номеру зразка):
1 – 1-ий зразок, 2 – 2-ий зразок, 3 – 3-ій зразок, 4 – 4-ий зразок, 5 – 5-ий зразок, 6 – 6-ий зразок, 7 – 7-ий зразок.

Це пояснюється тим, що наплавлені спершу та в останню мить ділянки покриття мають більшу швидкість охолодження, розплавлений метал швидко кристалізується, утворюючи дрібнозернисту структуру металу і це забезпечує порівняно високу твердість. А оскільки із віддаленням від граничних ділянок покриття швидкість охолодження зменшується, метал кристалізується повільніше, розмір зерна збільшується, а твердість, відповідно, зменшується.

При вимірюванні твердості покриття, що складається з двох і більше валків, ми не завжди потрапляли в точки з однаковими характеристиками (тобто інколи індентор потрапляв в зону сплавляння двох валиків, інколи індентор потрапляв в центр валика), але інтегральна твердість покриття знаходиться в відповідних межах.

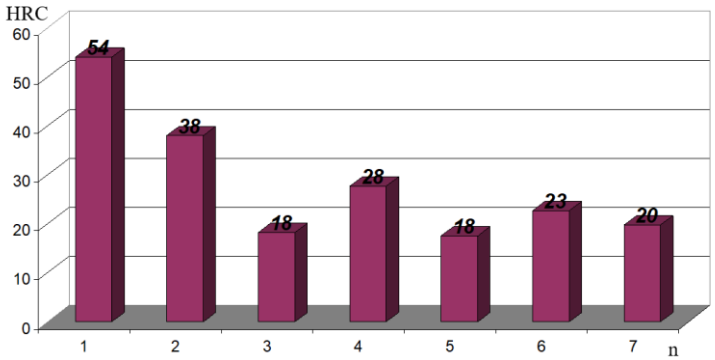


Рис. 5. Гістограма зміни інтегральної твердості покриття в залежності від кількості наплавлених валків.

Гістограма інтегральної твердості зображена на рисунку 5. Якщо порівняти залежність, отриману по екстремумах з гістограми і залежність зміни механічних властивостей від температури відпуску, то можна зауважити їх кореляцію.

В цілому можна сказати, що результати експерименту, моделювання і проведених раніше досліджень прекрасно корелюються, що свідчить про коректність проведеної роботи і отриманих результатів.

Висновки

1. Проведене дослідження показало, що кількість валків, що наносяться на деталь при формуванні покриття шляхом наплавлення, значно впливає на розподіл температур в деталі, мікро-, макроструктуру і твердість покриття.
2. Твердість покриття, що формується накладанням двох і більше валиків, 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 валиків, необхідно вводити додаткове охолодження деталі.
4. Моделювання процесів наплавлення покриттів методом кінцево-елементного аналізу дозволяє з достатньою точністю (похибка на перевищує 5-7 %) визначати температурні режими у довільних точках деталі та відслідковувати 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. Шаблій О.М. Математичне моделювання виникнення залишкових напружень, деформацій та переміщень при індукційному наплавленні тонких сталевих дисків / О.М. Шаблій, М.С. Михайлишин, В.М. Михайлишин, Ч.В. Пулька // Вісник Тернопол. держ. техн. ун-ту ім. Івана Пулюя. — 1998. — №3 (4) — С. 5—12.

2. Савуляк В. І. Температурні поля та деформації під час відновлення деталей транспортної техніки / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, В. Й. Шенфельд // Вісник СНУ ім. Володимира Даля. – 2009. – № 11. – С. 48 – 52.

3. Шенфельд, В. Й. Аналіз процесів структуроутворення наплавленого покриття із різною кількістю валиків [Електронний ресурс] / В. Й. Шенфельд // Матеріали L науково-технічної конференції

підрозділів ВНТУ, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. – Електрон. текст. дані. – 2021. – Режим доступу: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/11756.

***Шенфельд Валерій Йосипович* —** канд. техн. наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: leravntu@gmail.com.

***Боднар Олександр Іванович* —** аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksandr.bodnar@gmail.com.

***Шенфельд Валерія Валеріївна* —** студентка групи 1МБ-25м, факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lerashenfeld658@gmail.com

***Shenfeld, Valerii Yo.* —** Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: leravntu@gmail.com.

***Bodnar Oleksandr I.* —** graduate student of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksandr.bodnar@gmail.com.

Shenfeld Valeriia V. — student of group 1МБ-25m, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lerashenfeld658@gmail.com