

Д.В. Бакалець, В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.П. Шиліна

Вінницький національний технічний університет

## ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТІВ, НАПЛАВЛЕНИХ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВАХ ОХОЛОДЖЕННЯ

*Класичні методи наплавлення сталевих деталей дають можливість швидко та ефективно відновити геометрію та розміри зношених ділянок деталей, однак проблема забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей отриманих покриттів досі залишається до кінця не вирішеною.*

*Найбільшого поширення здобули декілька шляхів забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей наплавлених покриттів. Одні ґрунтуються на використанні дорогих спеціалізованих наплавних матеріалів, що дозволяють отримати покриття з заданими властивостями. Інші розглядають використання більш дешевих дротів, але потребують додаткових операцій термохімічної обробки.*

*Запропоновано ефективний спосіб створення покриттів з заданими властивостями, зокрема твердістю, шляхом наплавлення. Суть полягає у поєднанні наплавлення, інтенсивного охолодження за рахунок часткового занурення деталі у водяну ванну. Особливістю є те, що для наплавлення використовують поширені матеріали, а в результаті, можливо отримати тверді зносостійкі покриття. Крім цього додаткову твердість можна досягти додаючи порошок графіту у рідину для охолодження. Під час наплавлення вуглець потрапляє в зварювальну ванну, збільшуючи його вміст у розплаві, а швидке охолодження гартує покриття.*

*Ключові слова:* наплавлення, вуглець, графіт, водяне охолодження, твердість.

Д.В. Бакалець, В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.П. Шиліна

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ, НАПЛАВКОЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ОХЛАЖДЕНИЯ

*Классические методы наплавки стальных деталей дают возможность быстро и эффективно восстановить геометрию и размеры изношенных участков деталей, однако проблема обеспечения необходимых эксплуатационных свойств получаемых покрытий до сих пор остается до конца не решенной.*

*Наибольшее распространение получили несколько путей обеспечения необходимых эксплуатационных свойств наплавленных покрытий. Одни основаны на использовании дорогих специализированных наплавных материалов, позволяющих получить покрытие с заданными свойствами. Другие рассматривают использование более дешевых проволок, но требуют дополнительных операций термохимической обработки.*

*Предложен эффективный способ создания покрытий с заданными свойствами, в частности твердостью, путем наплавки. Суть заключается в сочетании наплавки, интенсивного охлаждения за счет частичного погружения детали в водяную ванну. Особенностью является то, что для наплавки используют распространенные материалы, а в результате, можно получить твердые износостойкие покрытия. Кроме этого дополнительную жесткость можно достичь добавляя порошок графита в жидкость для охлаждения. Во время наплавки углерод попадает в сварочную ванну, увеличивая его содержание в расплаве, а быстрое охлаждение закаляет его.*

*Ключевые слова:* наплавка, углерод, графит, водяное охлаждение, твердость.

D.V. Bakalets, V.I. Savyliak, V.Y. Schönfeld, O.P. Shilina

## FORMATION OF COATINGS DEPOSED IN EXTREME COOLING CONDITIONS

*Classical methods of surfacing of steel parts make it possible to quickly and efficiently restore the geometry and dimensions of worn parts, but the problem of ensuring the necessary performance properties of the obtained coatings still remains unresolved.*

*The most widespread are several ways to ensure the required performance properties of welded coatings. Some are based on the use of expensive specialized surfacing materials, which allow to obtain coatings with specified properties. Others consider the use of cheaper wires, but require additional thermochemical operations.*

*An effective method of creating coatings with specified properties, in particular hardness, by surfacing. The essence is a combination of surfacing, intensive cooling due to partial immersion of the part in a water bath. The peculiarity is that common materials are used for surfacing, and as a result, it is possible to obtain solid wear-resistant coatings. In addition, additional hardness can be achieved by adding graphite powder to the coolant. During surfacing, carbon enters the welding bath, increasing its content in the coating, and rapid cooling hardens it.*

*Key words:* surfacing, carbon, graphite, water cooling, hardness.

### Вступ

Від сучасних машин вимагається підвищення продуктивності, що тягне за собою збільшення робочих швидкостей та навантажень. В сукупності з важкими умовами експлуатації, що супроводжується значними питомими зусиллями, наявності абразивних середовищ, високих температур, агресивних газових середовищ – це викликає інтенсивне зношування, або деструкцію робочих поверхонь. При цьому зношується, як правило, лише невелика частка поверхонь деталі, а

© Д.В. Бакалець, В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд, О.П. Шиліна

весь інший об'єм матеріалу залишається цілком працездатним. Тим не менше деталі в такому стані вже не можуть забезпечувати якісне функціонування машин. Створення зносостійких поверхневих шарів вирішує цю проблему, оскільки має ключове значення для забезпечення довговічності робочих поверхонь. Пошук нових, високоефективних способів нанесення чи створення таких поверхневих шарів повинен забезпечувати зменшення потреб у кількості та вартості витратних матеріалів, підвищення продуктивності обладнання та виробничих площ.

Низка видатних вчених доклала чимало зусиль для створення матеріалів, які поєднують переваги сталі та чавуну. Найбільш відомі фундаментальні дослідження в цьому напрямку провели А. А. Жуков, К. П. Бунин, А. П. Гуляев., Я. Н. Маліночка, Ю. Н. Таран, М. А. Криштал, Н. Г. Гіршович, В.І. Савуляк, Г. І. Сільман, та інші. Їх праці забезпечили розробку та впровадження в промисловість графітізованих сталей, високоміцних чавунів, теорію та технології легування, термічної та хіміко-термічної обробки залізвуглецевих сплавів для забезпечення потрібних експлуатаційних властивостей.

Інженерія поверхні, що бурхливо розвивається сьогодні, як відокремлена інтегрована наука, констатує, що для кожної деталі конкретної машини доцільно створювати робочі поверхні з різними властивостями, що однозначно корелюють з службовими навантаженнями на неї. Це дозволяє впритул наблизитися до розв'язання проблеми забезпечення рівнонадійності вузлів машини завдяки рівнонадійності деталей та їх робочих поверхонь. До відомих методів підвищення зносостійкості поверхонь відносять традиційні технології термічної та термохімічної обробки, поверхневе легування та модифікування поверхонь, які можна об'єднати у групу технологій формування поверхневих шарів з спеціальними властивостями [1–4]. Інша група технологій об'єднується за ознакою нанесення на поверхню заготовки додаткових шарів матеріалу, що теж забезпечує функціональні властивості поверхні.

Кожна група технологій має свої переваги та недоліки і відповідну область застосування. Ефективними та перспективними, на наш погляд, є технології створення на поверхнях деталей з пластичних, низьковуглецевих сталей, що чудово обробляються тиском та різанням, високовуглецевих легованих або нелегованих шарів, які можуть забезпечити всі необхідні властивості поверхні.

Можливості розширення застосування традиційних матеріалів на основі високолегованих сталей є досить обмежені, що пов'язано зі зменшенням у природі запасів легувальних елементів. Тому проблема створення композицій та сплавів, які б містили мінімум легувальних елементів або концентрувалися лише в поверхневих шарах та мали високі механічні властивості є актуальною. Це є однією з важливих народногосподарських проблем, успішне рішення якої дозволить різко зменшити витрати чорних та кольорових металів, підвищити якість, довготривалість роботи устаткування і машин, істотно збільшити продуктивність праці, заощадити матеріальні, енергетичні та трудові ресурси [5, 6]. Широке застосування для зміцнення та відновлення спрацьованих робочих поверхонь деталей знайшли технологічні процеси електродугового наплавлення. Важливою проблемою реалізації технологій електродугового наплавлення є значні температурні впливи на деталь, що викликають небажані фазові перетворення та деформації. Обмеження температурного впливу на деталь, мінімізація деформацій та несприятливих фазових перетворень є важливим завданням.

Метою роботи є пошук технологічних умов, які можуть забезпечити створення функціональних покриттів наплавленням з мінімізацією просторових деформацій шляхом застосування легування та інтенсивного охолодження.

#### **Результати досліджень**

Для експерименту використовували зразки циліндричної форми, виготовлені з конструкційної сталі 40Х. Цей матеріал традиційно широко використовується для виготовлення валів. Діаметральні розміри зразків обмежили 30 мм, що пов'язано з проблемами, які виникають в процесі наплавлення таких і менших за розмірами деталей, внаслідок перегрівання матеріалу та значних деформацій.

Наплавлення проводили в середовищі захисних газів на установці УД-209М. Для цього виготовлено пристосування, яке створює можливість наплавлення у воді (рис 1). Наплавлення виконували дротом марки Св-08Г2С. Поверхня зразків попередньо підготовлювались за стандартною технологією. Вимірювання температури проводили з використанням пірометра.

У роботі запропоновано принципово нову схему легування вуглецем. Під час наплавлення деталь частково занурена у ванну з охолоджувальною рідиною.



*Рис. 1. Установка для наплавлення з водяним охолодженням*

За охолоджувальну рідину обирали воду, розчини та суспензії. Зокрема досліджувалась можливість науглецьовування наплавленого шару вуглецем з графітного порошку. Тонкий шар порошку графіту плаває на поверхні води і за рахунок сил поверхневого натягу налипає на деталь, що обертається. В процесі наплавлення низьковуглецевим дротом у зварювальній ванні розчиняється графітний порошок, який прилип до поверхні деталі. Отриманий наплавлений валик за рахунок обертання деталі потрапляє у воду, яка його швидко охолоджує і відповідно загартовує. Аналогічно, для порівняння, наплавляли деталь, яка не була занурена у ванну з водою.

Після наплавлення з отриманих деталей були зроблені зразки для вимірювання твердості. На рис. 2 показано приклад макрошліфа наплавлених покриттів на яких вимірювалась твердість за методом Роквела.



*Рис. 2. Макрошліф наплавленого покриття*

Твердості зразків, наплавлених без охолодження водою, становило 12-15 HRC (рис 3), що пояснюється відсутністю легування вуглецем та низькою швидкістю охолодження.

Твердість зразків, наплавлених з охолодженням водою, виявилась в межах 36-40 HRC (рис 3), що пояснюється виникненням гартівних структур та перемішуванням наплавленого металу зі сталлю основи.

Внаслідок додавання порошку графіту у охолоджувальну воду дозволило отримати твердість наплавленого покриття 43-45 HRC (рис 3), що пояснюється частковим розчиненням у зварювальній ванні графітного порошку, який прилип до поверхні деталі, що наплавляється, а також швидким охолодженням у воді з виникненням гартівних структур.



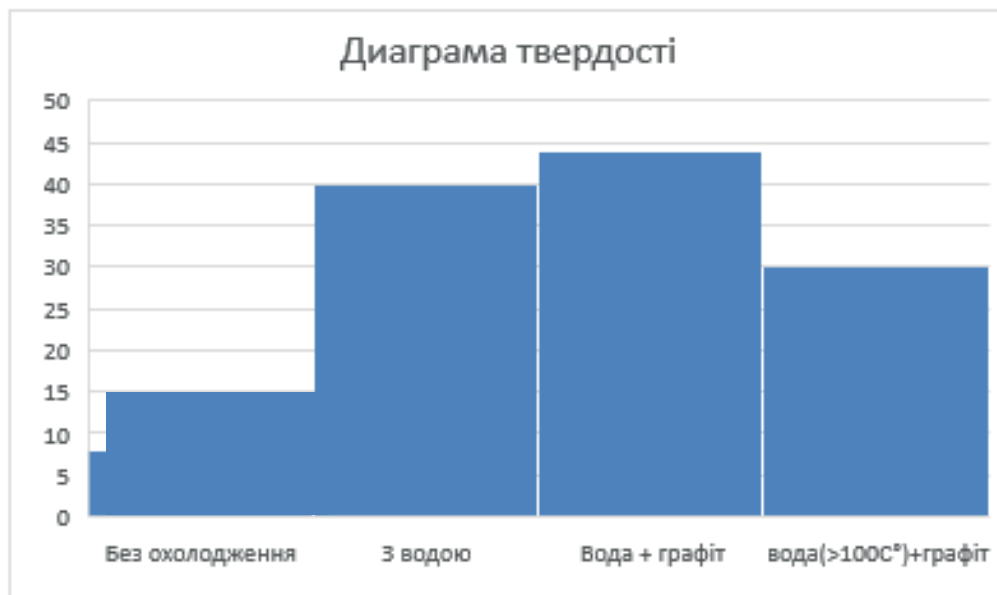


Рис. 3. Твердість наплавлених покриттів

Після певного часу температура води піднялась і в місці контакту поверхні деталі з водою, почали утворюватися бульбашки пари і відтісняти порошок від деталі, концентрація якого в свою чергу на поверхні також знизилась, що в результаті зменшило твердість покриття до 25-30 HRC. В зв'язку з цим для забезпечення найкращого результату доречним буде забезпечення проточного охолодження водою з постійним вмістом порошку графіту.

З отриманих в ході експерименту зразків виготовлено мікрошліфи для проведення металографічного аналізу. Зображення фіксувались за допомогою цифрової камери.

Мікроструктурний аналіз виявив, що в покриттях на зразках із сталі 40X, наплавлених з охолодженням водою, утворюється крупногольчастий мартенсит (рис. 4б). Структура основного металу ферито-перлітна (рис. 4а).

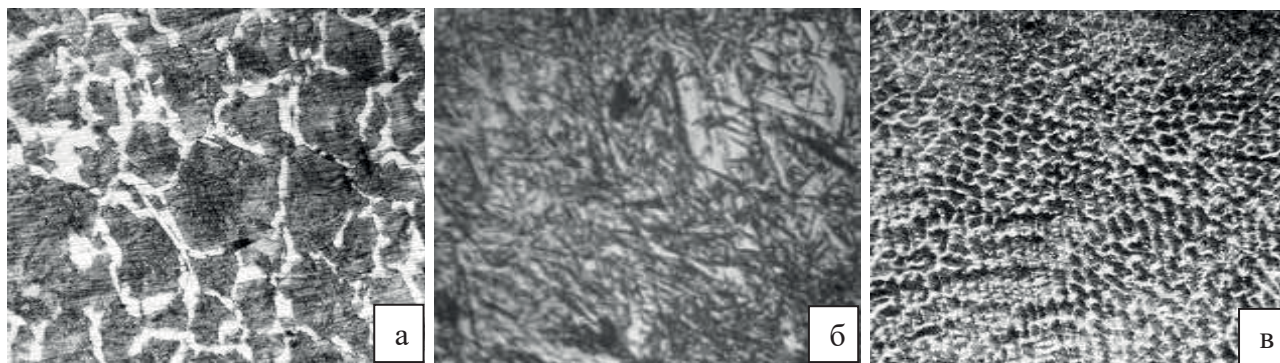


Рис. 4. Мікроструктура: основного металу (а); наплавлених шарів з охолодженням водою (б); наплавлених шарів з охолодженням водою та додаванням порошку графіту (в) (x150).

Потрібно підкреслити, що додавання графіту у зварювальну ванну через охолоджувальну воду, подрібнює структуру з утворенням рівномірної цементитної сітки (рис. 4в). Для підвищення ударної та втомної міцності наплавлений шар доцільно легувати з метою інверсії структури [7, 8].

#### Висновки

В роботі запропоновано принципово нову схему легування вуглецем, яка полягає у додаванні порошку графіту у ванну з охолоджувальною рідиною. Порошок налипає на деталь і розчиняється у зварювальній ванні в процесі наплавлення.

Використання схеми науглецювання напвленої поверхні вуглецем з порошку графіту, доданого у охолоджувальну воду, дозволяє збільшити твердість на 8...10 одиниць HRC.

Встановлено, що в процесі наплавлення без охолодження температура в зоні термічного впливу, яку вдалося зафіксувати пірометром поряд зі зварювальною ванною, перевищувала 700 °С. У випадку зварювання з охолодженням вона не перевищувала 140 °С, що дозволило значно зменшити деформації в деталях.

### Література

1. Бакалець Д. В. Оцінка впливу мокрого наплавлення на напружено-деформований стан валів / Д. В. Бакалець, О.І. Шугайло, П.Ю. Бондарчук // Вісник машинобудування та транспорту. – 2019 – № 1(9). – С. 4–8.
2. Бакалець Д. В. Технологія підводного зварювання здвоєним електродом [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець, В. В. Вергелес // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. - Електрон. текст. дані. - 2017. - Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2942>.
3. Каховський М. Ю. Інноваційна технологія механізованого мокрого зварювання високолегованої корозійностійкої сталі/ М. Ю. Каховський. // Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України. – Київ. – 2015. – № 11(4) – С. 25–31.
4. Бакалець Д. В. Оцінка впливу мокрого наплавлення на напружено-деформований стан валів [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець, О. І. Шугайло // Матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 13-15 березня 2019 р. – Електрон. текст. дані. – 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7453>.
5. Савуляк В.І. Наплавлення висовуглецевих зносостійких покриттів: монографія / В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд — Вінниця: ВНТУ, 2016. – 124 с.
6. Бакалець Д. В. Вплив параметрів зварювання під водою на процес формування зварного шва [Електронний ресурс] / Д. В. Бакалець, О. І. Шугайло // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. – Електрон. текст. дані. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/5000>
7. Савуляк В.І. Інверсія несприятливих структур та стабільність композиційних матеріалів та покриттів триботехнічного призначення //Вісник ВПІ. №3, с.74 – 82.
8. Савуляк В.І. Підвищення зносостійкості циліндро-поршневіх пар гідромашин шляхом використання високовуглецевих сплавів заліза з інвертованою структурою/ Проблеми техніки. - №1, с.146 – 153.