

- Всесоюз. конф. по тепло- и массообменным процессам в ваннах сталеплавильных агрегатов: тез. докл. Жданов, 1986. С.13.*
6. Гресс А.В., Стороженко С.А. Физическое моделирование гидродинамики металлической ванны литейного ковша. *Зб. наук.пр., сер. «Металургія»*. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. Вип. 24. С.19-24.
 7. Могилевцев О.А. Роль пузырей модификатора в образовании зародышей шаровидного графита в чугунах. *Теория и практика металлургии*, 1999. № 4. С.31-33.
 8. Сигарев Е.Н. Особенности модифицирования чугуна диспергированным магнием с использованием вращающейся погружной фурмы. *Металургія*, 2012. Выпуск 3(28). С.5-12.

Надійшла до редколегії 18.02.2019.

УДК 621.791.927.5

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.5

КОЛОМОЄЦЬ І.В., аспірант
ПЕРЕМІТЬКО В.В., д.т.н., професор

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ЭФЕКТИВНІСТЬ ВНЕСЕННЯ ДОДАТКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ДУГОВОМУ НАПЛАВЛЕННІ

Вступ. Процес експлуатації багатьох деталей машин супроводжується зношуванням. У промисловості існує чимало способів підвищення терміну експлуатації деталей, серед яких одним з найефективніших є відновлювальне або зміцнювальне дугове наплавлення [1]. Саме цьому способу надається перевага через поширеність та економічну вигідність обладнання.

Особливістю зношування багатьох пар є його нерівномірність по лінії або поверхні контактування. Це підтверджує, зокрема, аналіз епюр поверхні спрацьованої бочки валків листопрокатного стану. Як наслідок, змінюється реальна конфігурація контактних поверхонь, що прискорює настання їх заміни та реновації. Виходячи з цього, стає актуальним розробка шляхів, прийомів, які дозволили б наносити неоднаковий за складом та властивостями наплавлений матеріал, диференційований за характером реального прикладання зусиль при експлуатації.

Слід також звернути увагу на фактор зони сплавлення. Накладання різних за складом шарів металу може призводити до несприятливих наслідків, таких як утворення мартенситних прошарків при нанесенні аустенітного шва на вуглецеву сталь. Через це актуальним є пошук способів регулювання не лише хімічного складу, але й ступеня зональної неоднорідності.

У цьому сенсі слід згадати про уявлення про наплавлену деталь як багатошарову конструкцію [2], в якій кожний шар має свій хімічний склад, структуру, теплофізичні й механічні властивості. Така практика реалізується з метою покращення взаємодії поверхневих і глибинних шарів та попередження відлущування і розтріскування. Вочевидь, сутність конструкції наплавленого шару може стосуватися не лише шарів металу, але й зон окремого валика.

Перша спроба реалізації наплавлення металу, де окремі зони отриманого валика матимуть свій хімічний склад, структуру та властивості передбачала нанесення металу з періодичною заміною електродного дроту [3]. Це дало змогу забезпечити відновлення прокатних валків у відповідності до вимог рівномірного схоплення металу, що підлягає прокатці, розташовуючи шари наплавленого металу у шаховому порядку для чергуван-

ня м'якших та твердіших зон. Складність такої технології полягає у вищезазначеній потребі постійно замінювати електродний дріт, що зменшує зручність виконання таких робіт.

Пізніше було висунуто пропозицію наплавлення металу змінного складу та властивостей багатодуговим наплавленням зі змінною швидкістю подавання дроту [4]. Проте зазначений спосіб також несе в собі ряд недоліків: необхідність зміни швидкості подавання, під питанням залишається сталість питомого об'єму металу, що наноситься по довжині валика або площі поверхні.

З огляду на це стає актуальним пошук альтернативних матеріалів та способів реалізації ідеї формування шарів змінного хімічного складу та властивостей. Такою альтернативою можна вважати додаткове локальне внесення різного роду легувальних присадок у вигляді порошків, прутків, паст тощо. Як показує практика [5], при використанні таких матеріалів з'являється можливість уникнути постійної заміни електродного матеріалу та впливати на структурну будову та механічні властивості металів. Виходячи з цього, виникає потреба визначити перспективні напрямки у формуванні шарів з диференціацією властивостей металу в межах окремих ділянок, шарів та зон.

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз існуючих матеріалів та схем їх подавання до зони наплавлення для виявлення найперспективніших напрямків формування шарів металу змінного складу та властивостей.

Результати роботи. У ході раніше проведених досліджень було виявлено позитивний вплив на властивості, хімічний склад та структуру наплавленого металу вуглевісних матеріалів, карбідів, сплавів на основі кобальту, а також матеріалів із властивостями наноконпонентів.

Відомо [6, 7], що *вуглевісні матеріали* здатні підвищувати твердість та зносостійкість наплавленого металу. Технологія [6] дозволила отримати наплавлений метал твердістю 60...65 HRC при товщині наплавленого шару 3 мм. Способом [7] було отримано наплавлений метал максимальною твердістю 60 HRC при 100%-ому вмісті ледебуриту, отриманого за рахунок утворення гартувальних структур. Стосовно зносостійкості, то найменший ваговий знос також спостерігається при 100%-ій ледебуритній структурі в межах 0,021...0,068 г на шляху тертя 3500...14000 м.

Додавання аеросилу у *вигляді шихти* (суміш аеросилу та залізного порошку) із застосуванням магнітного поля дозволило отримати наплавлений метал максимальною твердістю 20 HRC та зниженням втрати маси 0,1248 г [8]. Внаслідок інтенсивного електромагнітного перемішування феритно-перлітні зерна мають розорієнтоване спрямування. Бал зерна наплавленого металу варіюється в межах 10...12 на відміну від 6...8 початкових.

Досвід введення до зварювальної ванни *наноконпонентів* також свідчить про позитивний вплив таких матеріалів на твердість та зносостійкість наплавленого металу. Дослідження В.Д.Кузнецова та Д.В.Степанова [9] виявили, що максимальний вплив на зносостійкість наплавленого металу досягається при введенні до ванни Al_2O_3 концентрацією 0,5%: зниження втрати маси у цьому разі на 0,029 г (0,042...0,013 г). Проте при цьому знижується твердість наплавленого металу – від 50 HRC (твердість валика, наплавленого без введення матеріалу) до 46 HRC. Підвищення твердості наплавленого металу можна досягти лише збільшенням концентрації наноксиду алюмінію до 1%. При аналізі структури металу, наплавленого з концентрацією оксиду алюмінію в 5%, спостерігалася суттєва дисперсність цементитних включень, що, вочевидь, і сприяє підвищенню зносостійкості.

Ще одними перспективними матеріалами, застосування яких при наплавленні продемонструвало високу ефективність, є *карбіди* різних типів. Відомим фактом є те, що чим вища твердість карбіду, тим вища і його зносостійкість [10]. Найбільшого по-

ширення серед усіх карбідних включень отримали карбіди вольфраму. Застосовуються вони при відновленні бурового обладнання [11]. Максимальна твердість наплавленого металу, якої вдалося досягти із застосуванням карбідів вольфраму – 58 HRC [12]. Композиційні сплави на основі карбідів вольфраму за зносостійкістю в 2,7 рази переважають нікелекарбідохромові сплави. Також високу ефективність демонструє карбід титану. Останній має власну мікротвердість 32000 МПа, що є найбільшим показником з усіх типів [10]. Дослідження легування карбідом титану через дрiт продемонстрували, що даний матеріал дозволяє знизити втрату на 0,021 г. Ці дані потребують перевірки із застосуванням іншої схеми внесення, так як легування через дрiт не дає змоги досягти змінності складу та властивостей наплавленого металу без заміни електродного матеріалу. Для металу, легуваного карбідами титану через дрiт, характерна наявність мартенситу та залишкового аустеніту в структурі із виділеннями карбідів та карбідонітридів титану [10]. Відомо також про використання при зносостійкому наплавленні сплавів на основі кобальту, зокрема стеліту [13]. Стеліт активно застосовують для відновлення та зміцнення деталей, зокрема в арматурному виробництві [14], для клапанів внутрішнього згоряння [15], газових турбін [16] тощо. Випробування зразків, наплавлених киснево-ацетиленовим способом із застосуванням сплавів $Co-Si-B$ та $Co-Si-B-Cr_3C_2$, виявили майже однакову їхню стійкість до високотемпературного зношування [16].

Також перспективним матеріалом є фулерен – молекулярне з'єднання на основі триоднакових атомів вуглецю [17]. Відомо [18], що підвищення кількості фулеренів призводить до збільшення мікротвердості в зварному з'єднанні. З огляду на це, доцільним виглядає вивчення впливу фулеренів на структуру та властивості наплавленого металу, в тому числі й при зональному керуванні.

Значення твердості та зносостійкості металу, наплавленого із застосуванням розглянутих матеріалів, зведено до табл.1.

Таблиця 1 – Твердість та зносостійкість металу, наплавленого із застосуванням додаткових матеріалів

Назва матеріалу	Отримані максимальні значення твердості наплавленого металу HRC	Зниження втрати маси, г
Вуглецеве волокно	60...65	0,014 (на шляху тертя 3500 мм)
Карбід вольфраму	58	-
Аеросил	20	0,1234
Наноконпоненти	20	0,029
Сплави на основі кобальту	50	-
Карбіди титану	56...59	0,021

З табл.1 можна побачити, що максимальне зниження втрати маси спостерігалось при додаванні аеросилу. Такі результати досягнуті за рахунок розташування матеріалів на периферії запланованого валика, що сприяє їхньому доброму збереженню.

Розглянутим зносостійким покриттям притаманні різноманітні структурні складові: феритно-перлітні зерна, цементитні включення, мартенсит із виділенням залишкового аустеніту. В роботі [9] зроблено припущення, що цементитні включення в структурі наплавленого металу забезпечують і його зносостійкість.

Стосовно *схем* внесення додаткових матеріалів, слід розглянути такі принципи додаткового легування наплавленого металу, як попереднє розташування матеріалів в зоні наплавлення, наплавлення із одночасним подаванням матеріалу, а також додаткове легування через легуючий флюс.

Найменш поширеним способом є додаткове легування наплавленого металу через флюс, що не завадило успішно реалізувати формування металу, диференційованого за складом та властивостями із застосуванням даної схеми [4]. Недоліком легування безпосередньо через флюс слід вважати те, що перехід легуючого матеріалу є значно меншим, ніж при легуванні через дріт [19].

Поширеною практикою поверхневого зміцнення є плазмово-порошкове наплавлення. Схема додаткового легування в такий спосіб передбачає подавання матеріалів безпосередньо під час наплавлення. Недоліком такої схеми є ризик вигорання матеріалів через подачу їх під дугу.

Не виключає значної втрати додаткових матеріалів і попереднє їх внесення, але в цьому випадку дана проблема може бути вирішена при розташуванні матеріалів на периферії. Успішним прикладом реалізації такої схеми є спосіб [5], де при розташуванні вуглецевих волокон з ексцентриситетом досягається зональна неоднорідність, а зовнішні електромагнітні впливи дозволяють керувати геометрією шва та інтенсивністю теплового потоку, тим самим зменшуючи ризик вигорання матеріалів.

Позитивний наслідок локального внесення додаткових матеріалів бачиться не лише у *вирівнюванні* ступеня зношування по поверхні контактування, а й у його *регулюванні*. Останнє слід очікувати при формуванні зон більшої та меншої опірності зносу у вигляді стрічок вздовж або поперек напрямку обертання контактних пар. Це повинно попереджати ковзання деталей, ймовірність якого збільшується по мірі їх спрацювання і яке стає причиною прискореного руйнування поверхневих шарів та скорочення терміну експлуатації.

Висновки. 1. Проведений аналіз виявив перспективність схеми попереднього розташування додаткових матеріалів, що вносяться локально, наприклад, у вигляді смуг, з ексцентриситетом відносно осі руху зварювального джерела нагріву. Така схема дозволяє регулювати перехід додаткових компонентів та коригувати склад і будову металу в межах окремих зон валиків або швів.

2. Встановлено, що покриття з найвищою опірністю абразивному зношуванню мають в своїй структурі феритно-перлітні зерна, цементитні включення та мартенсит із виділенням залишкового аустеніту. З огляду на це, рекомендованими структурними поєднаннями для підвищення працездатності наплавленого металу є феритно-перлітна основа + цементитні або карбідні включення, фрагменти мартенситу, а також мартенсит із виділенням залишкового аустеніту.

3. Виходячи з особливостей експлуатації деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, ділянки локального поверхневого зміцнення рекомендується орієнтувати погоджено до напрямку дії основних динамічних зусиль та епюр фактичного зношування. Це, як очікується, дозволить запобігти нерівномірності зношування та покращити характер сплавлення наплавленого металу з основним, попереджуючи утворення тріщин та відлущення нанесених шарів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Брыков М.Н., Ефременко В.Г., Ефременко А.В. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании: научн. изд. Херсон, 2014. 364с.
2. Рябцев І.О. Відновлення та зміцнення методами наплавлення деталей, що експлуатуються в умовах зношування й різних видів циклічних навантажень: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.03.06. Київ, 2010. 27с.
3. Валки с наплавленным слоем новой конструкции повышают эффективность работы прокатных станов / Лецинский Л.К., Гулаков С.В., Степнов К.К., Носовский Б.И.; ред. П.В.Гладкий. *Наплавка. Опыт и эффективность применения*. Киев, 1985. С.17-20.

4. Яриза-Стеценко А.В. Вдосконалення технології дугового наплавлення шару змінного хімічного складу легуванням його з флюсу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.03.06. Краматорськ, 2012. 220с.
5. Перемитько В.В., Панфилов А.И. Дуговая наплавка слоёв металла переменного состава и различной твердости. *Автоматическая сварка*, 2017. № 7. С.48-52.
6. Спосіб електродугового наплавлення на поверхню металевих виробів шарів з підвищеним вмістом вуглецю: пат. 71260 Україна: МПК В23К9/04. № 20031211548; заявл. 15.12.2003; опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11.
7. Шенфельд В.Й. Підвищення зносостійкості сталевих деталей наплавленням з використанням вуглецевих волокнистих матеріалів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: 05.02.04 / Вінницький національний технічний університет. Вінниця, 2014. 164с.
8. Перемитько В.В. Износостойкая наплавка по слою легирующей шихты. *Автоматическая сварка*, 2014. № 8. С.56-59.
9. Кузнецов В.Д., Степанов Д.В. Структура и свойства металла сварного шва, модифицированного наноксидами. *Автоматическая сварка*, 2015. № 6-7. С.19-24.
10. Структура и износостойкость при абразивном изнашивании наплавленного металла, упрочненного карбидами различных типов / И.А.Рябцев и др. *Автоматическая сварка*, 2015. № 5-6. С.84-88.
11. Жудра А.П. Наплавочные материалы на основе карбидов вольфрама. *Автоматическая сварка*, 2014. № 6-7. С.69-74.
12. Hardfacing containing tungsten carbide particles with barrier coating and methods of making the same: pat. 0178283 USA. № 20180178283; filed 26. 12. 2016; pub. 28. 06. 2018, App. № 15/391,251.
13. Wear-resistant alloys. Cobalt Institute. URL: www.cobaltinstitute.org/wear-resistant-alloys.html.
14. Переплетчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры. *Автоматическая сварка*, 2013. №4. С.56-58.
15. Переплетчиков Е.Ф. Применение порошков кобальтовых и никелевых сплавов для плазменной наплавки выпускных клапанов двигателей внутреннего сгорания. *Автоматическая сварка*, 2012. № 7. С.7-12.
16. Костин А.М., Бутенко А.Ю., Квасницкий В.В. Материалы для упрочнения лопаток газовых турбин. *Автоматическая сварка*, 2014. № 6-7. С.136-138.
17. Фуллерен. Википедия. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Фуллерен.
18. Нанотехнології у зварюванні низьколегованих високоміцних сталей: монографія / Головка В.В., Кузнецов В.Д., Фомічов С.К., Лобода П.І. К.: НТТУ "КПІ", Вид-во "Політехніка", 2016. 240с.
19. Лебедев Б.Д., Перемитько В.В. Расчетные методы в сварке плавлением: учеб. пособ. Днепропетровск: Изд-во ДГТУ, 1998. 28с.

Надійшла до редколегії 12.02.2019.