

УДК 621.791.92

А. Р. Дзюбик, А. А. Войтович, Л. В. Дзюбик
Національний університет “Львівська політехніка”

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ШАРІВ НА ПЛОСКІ ЕЛЕМЕНТИ КОНСТРУКЦІЙ

Ó Дзюбик А. Р., Войтович А. А., Дзюбик Л. В., 2016

Досліджено вплив параметрів режиму наплавлення на формування зварного шва автоматичним методом під шаром флюсу з використанням порошкового дроту марки ПД80Х29Р3Т. У результаті планування експерименту встановлено залежність між геометричними розмірами шва та глибиною проплавлення від величини струму та швидкості зварювання. Отриманий оптимальний режим наплавлення використано у формуванні валика за додаткової вібрації підкладки. Досліджено зносостійкість наплавленого металу за умов зношування закріпленим і не закріпленим абразивом Показано, що застосування додаткової вібрації підкладки під час наплавлення у поєднанні із заданими параметрами режиму дає змогу отримати мінімальне розчинення наплавленого металу із основним та забезпечує підвищення зносостійкості у 1,5 разу.

Ключові слова: швидкість зварювання, наплавлення, вібрація, зносостійкість, зварний шов.

The influence of the profile, surfacing on the formation of the weld by automatic submerged arc wire with powder brand CW80Cr20B3Ti. As a result, design of experiments established the relationship between the geometric dimensions of the seam and the depth of penetration of current value and welding speed. The resulting optimal mode of deposition used in forming the roller for extra vibration substrate. Wear resistance of deposited metal wear under conditions not fixed and fixed abrasive shown that additional vibration substrate when surfacing in conjunction with the settings mode allows you to get the minimum dissolution of weld metal of the primary and enhances durability 1.5 times.

Key words: welding speed, deposition, vibration, wear resistance, weld.

Актуальність теми. Сучасні тенденції використання технологій наплавлення спрямовані на отримання прогнозованих характеристик нанесених шарів із заданими властивостями, геометричними розмірами і глибиною проплавлення [1, 2]. Це важливо не лише під час виконання ремонтних робіт, а також у разі виготовлення нових конструкцій. Зокрема, широко застосовуються підходи, які передбачають нанесення спеціальних шарів на листові елементи із використанням останніх залежно від функціонального призначення. Це дає змогу виконувати основну частину конструкції з дешевого, але роботоздатного матеріалу, решту, яка працює в особливих умовах, – з дорожчого. Застосування при цьому порошкових електродних дротів дає змогу отримати необхідні характеристики наплавленого металу із урахуванням вимог експлуатації [3]. Тому забезпечення прогнозованих геометричних розмірів шва та глибини проплавлення на стадії розроблення технологічного процесу є важливим та актуальним. Це забезпечує необхідний хімічний та структурно-фазовий склад наплавленого металу та дає змогу виконувати необхідне нормування зварювальних робіт.

Мета роботи. Встановлення оптимальних параметрів наплавлення під шаром флюсу порошковим дротом марки ПД80Х20Р3Т на плоскі елементи та дослідження зносостійкості шарів, отриманих із використанням вібродугового методу.

Методика проведення досліджень. Застосування технології наплавлення під шаром флюсу порошковим дротом зносостійкого покриття потребує встановлення відповідних параметрів режиму. До основних з них зараховують: діаметр електродного дроту, зварювальний струм, напругу дуги, швидкість зварювання тощо. Їх вплив на формування зварного шва, переважно у разі зміни лише одного параметра режиму та стабільності решти, достатньо повно розкрито в спеціальній

літературі [4]. Однак використання відповідної системи легування Fe–Cr–B–C та необхідність забезпечення заданих геометричних параметрів наплавленого валика потребує глибинних досліджень відповідно до розробленого плану. Властивості отриманого шару залежать не лише від системи легування зварювальних матеріалів, але й від частки основного металу в шві. Її зміна може відбуватися в широких межах, що також необхідно враховувати, вибираючи параметри режиму.

У роботі використано дріт діаметром 3,2 мм із коефіцієнтом заповнення 25 %. Це дає змогу отримати необхідну систему легування металу шва та формування його структурно-фазового складу. Як джерело живлення використано генератор постійного струму марки ПСО-500, напруга дуги, за результатами попередніх досліджень, встановлювалася на рівні 32 В. Також ця величина відповідає оптимальній області значень напруги дуги для застосовуваного діапазону зварювальних струмів під час наплавлення під шаром флюсу [5]. Це дає змогу забезпечити необхідний стабільний захист зони зварювання, стабільний дуговий процес та повніше контролювати металургійну взаємодію між розплавленим металом і флюсом-шлаком, а також формування зварювальної ванни. Наплавлення виконувалося на прямокутні плоскі взірці розміром 150×300 мм. Підкладкою слугувала низьковуглецева сталь звичайної якості марки ВСт3 сп. Регулювання погонної енергії процесу виконувалося зміною зварювального струму та швидкості переміщення дугового розряду. Їх граничні значення також встановлювалися із урахуванням області рекомендованих режимів [5].

Для оцінювання схильності наплавленого металу до зношування жорстко закріпленим абразивом використали абразивний круг з електрокорунду середньом'якої твердості (СМ-2 на керамічній зв'язці 7К15) діаметром 150 мм і шириною 6 мм. Зернистість електрокорунду становила 250...315 мкм (25А, 25Н), а лінійна швидкість тертя 0,8 м/с за навантаження 1,5 кН. Знос оцінювали за втратою маси зразків з точністю до $2 \cdot 10^{-4}$ г. Зносостійкість наплавлених шарів за тертя нежорстко закріпленим абразивом вивчали згідно з ГОСТом 23.208-79 за навантаження $P = 2,4$ Н, використавши гумовий диск діаметром 50 і завширшки 12 мм за його швидкості тертя 0,3 м/с. Абразивом вибрали кварцовий пісок з розміром зерен до 200 мкм і вологістю не вище за 0,16 %. Еталоном зносостійкості слугувала сталь Св08Г2С (HRB 200).

Кількість параметрів, тобто факторів для плану експерименту, становила $m = 2$: струм та швидкість зварювання. Попередній аналіз їх можливої зміни в процесі наплавлення дав змогу встановити граничні межі. Ураховуючи необхідність дослідження цих факторів на двох рівнях, повна кількість експериментів $n^m = 2^2 = 4$. Планування експерименту виконувалося відповідно до рекомендацій спеціальної літератури та відомих даних [6, 7]. Представлений повний факторний експеримент рівномірно охоплює все поле досліджень, унеможливлено повторення парних сполучень факторів. У табл. 1 наведено оцінку можливості впливу основних параметрів режиму на контрольовані параметри шва.

Таблиця 1

Фактори наплавлення та інтервали їх зміни

Фактор	Познач. фактора	Рівні факторів			Інтервал зміни, Δx_i
		нижній, -1	основний, 0	верхній, +1	
Струм зварювання, А	X_1	380	420	460	40
Швидкість зварювання, м/год	X_2	13	18,5	24	5,5

Кількість вимірювань експериментальних даних під час визначення параметрів забезпечувала статистичну обробку з довірчою ймовірністю 0.95. В нашому випадку планування здійснювалось без урахування ефекту взаємовпливу, оскільки фактори, а саме струм та швидкість зварювання, взаємозалежні.

Функціями відгуку в кожній серії експериментів прийнято характеристичні коефіцієнти наплавленого валика: підсилення ($\psi=e/g$) та форми шва ($\gamma=e/h$), де e/g – ширина та висота підсилення валика, h – глибина проплавлення основного металу. Перший дає змогу прогнозувати геометричні характеристики шару за один прохід, а другий – врахувати частку основного металу та необхідність перекриття валиків для отримання необхідної поверхні. Останнє є дієвим засобом для регулювання

хімічного складу шва за рахунок зміни величини проплавлення підкладки [5]. Використання безрозмірних величин дає також змогу розширити сферу застосування результатів виконаних досліджень. Визначення лінійної моделі виконувалося з використанням спеціально розробленої програми Planing [7]. План повного факторного експерименту разом зі значеннями функцій відгуку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Матриця планування експерименту

Номер досліджу	$I_{зв}, A$	$V_{зв}, м/год$	Коеф. підсилення, $Y(\psi)$	Коеф. форми шва, $Y(\gamma)$
1	+	+	1,67	3,51
2	+	-	3,19	5,12
3	-	+	2,89	6,87
4	-	-	3,04	3,87

Типовий макрошліф наплавлених валиків для різних дослідів показано на (рис. 1). Далі виконувалося хімічне контрастування 4 % розчином азотної кислоти (HNO_3) в етиловому спирті та встановлення геометричних параметрів швів.



Рис. 1. Макрошліфи з типових наплавлених валиків

Отримана математична модель адекватна, а дисперсії однорідні. Лінійна модель (1) із урахуванням взаємодії в загальному випадку має такий вигляд

$$Y = b(0) + b(1) \cdot X_1 + b(2) \cdot X_2 + b(1, 2) \cdot X_1 \cdot X_2, \tag{1}$$

де $b(0)$, $b(1)$, $b(2)$, $b(1, 2)$ – коефіцієнти лінійної моделі.

Нижче наведено невідомі коефіцієнти моделі для різних функцій відгуку (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти математичної моделі для РДЗ

Коефіцієнти	$b(0)$	$b(1)$	$b(2)$	$b(1, 2)$
$Y(\psi)$	4,84375	-0,52625	0,34625	-1,14875
$Y(\gamma)$	2,69625	-0,27125	-0,41875	-0,34125

Отримані результати показують, що, застосовуючи зміну параметрів режиму наплавлення в рекомендованих межах, можна істотно впливати на глибину проплавлення: коефіцієнт форми шва змінюється практично вдвічі. Максимального проплавлення із найменшою шириною шва можна досягти за найбільших значень режиму. Чутливішим до зростання ширини шва є зменшення швидкості зварювання, а зменшення глибини проплавлення краще регулювати величиною зварювального струму. Аналогічно можна виконувати регулювання параметрів підсилення шва: висота шва зростає за мінімальних параметрів режиму, а зменшення досягається за швидкості зварювання.

За результатами планування експерименту визначено оптимальні параметри режиму зварювання одного валика для розглянутих умов технологічного процесу. Зокрема, такі

дослідження реалізувалися за струму зварювання 420 А, швидкості зварювання 22 м/год та напруги дуги 32 В. Наплавлення виконувалося із застосуванням вібрації у горизонтальній площині за умов 100 Гц, за амплітуди 0, 70, 200, 300 мкм відповідно до рекомендацій. Структура наплавленого металу із ПД80Х20Р3Т характеризується боридними включеннями дендритного типу із осями першого та другого порядку. Матриця наплавленого металу містить до 10,2 ваг % хрому. У боридних включеннях міститься до 37,2 ваг. % хрому Cr, та до 2,7 ваг. % бору. Аналіз фазового складу показав, що матриця наплавленого металу аустенітно-феритна і складається із γ -Fe 42,18 %, α -Fe 57,82 % з вмістом твердих боридів включень FeCrB, FeCr₂B.

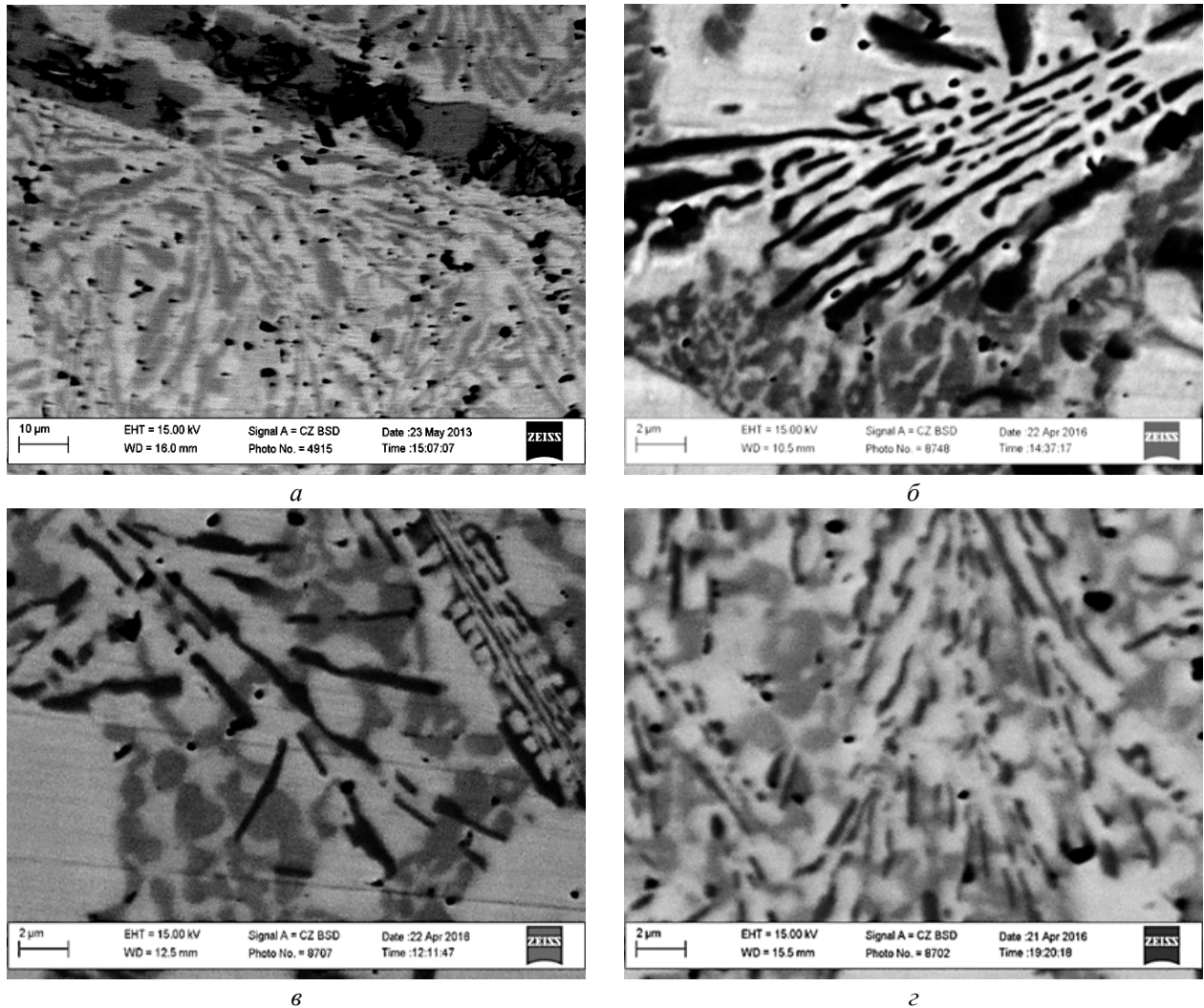


Рис. 2. Структура наплавленого металу за дії горизонтальної вібрації:
а – 0 мкм; б – 70 мкм; в – 200 мкм; г – 300 мкм

Дослідження впливу горизонтальної вібрації на структуру наплавленого металу з ПД80Х20Р3Т виконано за амплітуди механічних коливань 0, 70, 200, 300 мкм. За впливу горизонтальної вібрації відбувається подрібнення боридних включень FeCrB, FeCr₂B у структурі наплавленого металу з ПД80Х20Р3Т (рис. 2).

Подовгастий характер включень залишається, проте їхня довжина у десятки разів зменшується. Площа боридних включень (рис. 4) зменшується із підвищенням амплітуди механічних коливань, без вібрації 30–120 мкм², за амплітуди 70 мкм 20–55 мкм², за амплітуди 200 мкм 10–30 мкм², за амплітуди 300 мкм 2–10 мкм². Дендритний характер, гострокутність кінців боридних

включень зменшується. За дії амплітуди 300 мкм відбувається максимальне подрібнення та гомогенізація твердого розчину.

Перевірка впливу амплітуди горизонтальної вібрації на наплавлений метал із промислового порошкового дроту марки 80X20P3T показує, що за максимального значення амплітуди 300 мкм втрата маси знижується до 1,6 разу за умов зношування закріпленим та 1,5 разу – незакріпленим абразивом. Отже, горизонтальна вібрація за амплітуди 300 мкм підвищує зносостійкість наплавленого металу.

Висновки. На основі розглянутого матеріалу можна зробити такі висновки. Виконано планування експерименту, щоб дослідити вплив параметрів режиму дугового наплавлення під шаром флюсу порошковим дротом марки ПД80X20P3T. Встановлено оптимальні параметри наплавлених валиків для досліджуваних плоских елементів конструкції. Виконано наплавлення із застосуванням поперечної вібрації зварного шва. Показано, що застосування додаткової вібрації підкладки під час наплавлення у поєднанні із заданими параметрами режиму дає змогу досягти мінімального розчинення наплавленого металу із основним та забезпечує підвищення зносостійкості в 1,5 разу.

1. Опыт применения электродуговой наплавки порошковой проволокой на предприятиях Украины / А. А. Голякевич, Л. Н. Орлов, Л. С. Малинов, В. И. Титаренко // Автоматическая сварка. – 2016. – № 9. – С. 37–41. 2. Влияние электрических параметров дуговой наплавки порошковой проволокой на стабильность процесса и проплавление основного металла / Ю. Н. Ланкин, И. А. Рябцев, В. Г. Соловьев, Я. П. Черняк, В. А. Жданов // Автоматическая сварка. – 2014. – № 9 (735). – С. 27–31. 3. 19-я сессия Научного совета по новым материалам при Комитете по естественным наукам Международной ассоциации академий наук / И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2014. – № 8 (734). – С. 63–65. 4. Технология электрической сварки плавлением: учеб. пособ. / под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение. 1977. – 432 с. 5. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учеб. для вузов / А. И. Акулов, В. П. Алехин, С. И. Ермаков и др.; под ред. А. И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с. 6. Куликовский К. Л., Купер В. Я. Методы и средства измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 448 с. 7. Дзюбик А. Р., Назар І. Б., Палаш Р. В. Підвищення ефективності зварювання магістральних трубопроводів при їх експлуатації та ремонті. – Львів, 2011. – 258 с.

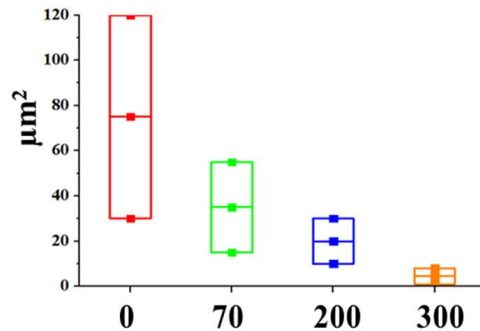


Рис. 3. Площа боридних включень у наплавленому металі та горизонтальної вібрації за амплітуди: 0; 70; 200; 300 мкм