

УДК 621.791.927.5

- Лебедев В. О. д-р техн. наук, професор ДП «ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України», м. Київ, e-mail: valpaton@ukr.net
- Тіщенко В. О. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, e-mail: valpaton@ukr.net
- Бриков М. М. д-р техн. наук, професор, професор кафедри обладнання та технології зварювального виробництва Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, e-mail: brykov@zp.edu.ua

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ МЕХАНІЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ З ПЕРІОДИЧНОЮ ЗМІНОЮ РЕЖИМІВ ПРОЦЕСУ

Мета роботи. Дослідження впливу модулювання дугових процесів на характеристики металу наплавлених валиків з виявленням залежностей хімічного складу й геометричних розмірів наплавленого металу від параметрів модуляції, а також розробка математичних моделей цих залежностей з метою прогнозування результатів модуляції для підвищення якості наплавлюваних шарів.

Методи дослідження. Використано відомі методи дослідження наплавленого металу: спектральний аналіз наплавленого металу, металографічний аналіз зразків поперечних перерізів наплавлених валиків. Застосовувалися спеціальні комп'ютеризовані програми вимірювання геометричних розмірів валика. Використовувалися методи регресійного аналізу для одержання узагальнених математичних моделей залежностей хімічних елементів і геометричних розмірів від параметрів модуляції.

Результати. У процесі досліджень із застосуванням електродугового наплавлення електродним порошковим самозахисним дротом в узагальненому вигляді отримано залежності вмісту вуглецю, хрому, бору, ширини, посилення й проплавлення поперечного перерізу від частоти й скважності модуляції параметрів електродугового процесу. Розроблено методику математичного опису впливу модуляції на хімічний склад і форму наплавленого валика.

Наукова новизна. Запропоновано при веденні електродугового процесу з періодичною зміною силових параметрів наплавлення струму за рахунок керування електроприводом механізму подачі електродного дроту, а також зі зміною напруги при керуванні вихідною напругою джерела зварювального струму проводити оцінку результатів із застосуванням математичних моделей.

Практична цінність. Комплекс досліджень, що стосуються ефектів застосування модуляції силових параметрів наплавлювального процесу із використанням оригінальної розробки модулятора дозволяє на основі простих систем автоматичного й механізованого обладнання отримати керований процес впливу на характеристики наплавленого металу з їхнім поліпшенням для впровадження в промислове виробництво.

Ключові слова: дугове наплавлення, плавкий електрод, модуляція режимів, параметри, експерименти, обробка результатів, математичні моделі.

Вступ

В теперішній час відбуваються значні зміни в економіці машинобудування, експлуатації машин і механізмів. Підвищується значущість енерго- і ресурсозбереження. Заміна зношених вузлів різного призначення стає все більш коштовною. Існує низка способів вирішення цих проблем, при цьому одними з найбільш раціональних є способи, що дозволяють продовжити ресурс вузлів і деталей. Йдеться про технології нанесення захисних шарів і покриттів, у тому числі наплавлення. Використання цих технологій спрямоване на попереднє зміцнення робочих поверхонь нових вузлів і деталей, а також відновлення таких, що зазнали зносу.

Електродугове наплавлення є одним з найбільш ефективних і відносно простих способів одержання модифікованих робочих поверхонь вузлів і деталей різного призначення. Слід відзначити, що сучасні технології електродугового наплавлення спрямовано на підвищення експлуатаційних властивостей об'єктів наплавлення, а саме міцності, зносо- і корозійностійкості, а також низку інших.

Одним з напрямів вдосконалення електродугового наплавлення є змінювання силових характеристик дуги з певною періодичністю – *модуляція режимів*.

Існує низка техніко-технологічних рішень реалізації модульованих режимів для механізованого і автоматизованого обладнання. Це періодична зміна на-

пруги джерела живлення або періодична зміна швидкості подачі електродного дроту. Найбільш ефективним є одночасне (синхронне) змінювання режимів – струму і напруги. Використання цього процесу за обраними алгоритмами є недостатньо дослідженим за певними факторами впливу і результатам, що отримуються.

Аналіз досліджень і публікацій

Існує низка техніко-технологічних рішень, які спрямовано на вирішення завдань підвищення експлуатаційних властивостей наплавлених поверхонь, наприклад імпульсна подача електродного дроту [1]. Для реалізації цієї технології використовуються спеціальні системи подачі електродного дроту – як механічні, так і більш досконалі з застосуванням малоінерційних вентильних або інших безколекторних електродвигунів. Так, вентильні електродвигуни дозволяють отримати керовану імпульсну подачу з частотами на рівні 50–60 Гц. Системи подачі з такими електродвигунами забезпечують регулювання геометричних розмірів шва/валика в широких межах, що дозволяє значно змінювати структуру металу шва з можливістю підвищення його механічних характеристик і експлуатаційних властивостей [2]. Недоліком цього способу є необхідність розробки відносно складних систем подачі електродної проволочки з відповідним керуванням і регулюванням.

Використання модульованих режимів роботи [3] є відомим способом впливу на зварний шов і наплавлений валик. Простота реалізації цього процесу, а також його можливості керування властивостями наплавленого металу роблять цей метод впливу на дуговий процес достатньо ефективним. Модулювання режимів можна здійснити звичайними джерелами зварювального струму і системами подачі електродного дроту.

Джерело зварювального струму крім можливості реалізації звичайного технологічного процесу механізованого зварювання має забезпечити можливість дистанційного регулювання вихідних параметрів. Для реалізації циклу модуляції в ІЄЗ ім. Є.О.Патона розроблено спеціальний пристрій – модулятор ОИ-10 [4]. Пристрій дозволяє перемикає рівні зварювальної напруги і швидкості подачі електродного дроту із заданою частотою. Перемикання відбувається одночасно незважаючи на різні інерційні характеристики джерела зварювального струму і механізму подачі електродного дроту. Таке рішення обумовлене використанням достатньо низьких частот модуляції. На рис. 1 в ідеалізованому вигляді наведено алгоритм зміни струму дугового процесу I одночасно з керованою зміною напруги джерела зварювального струму і швидкості подачі електродного дроту.

Існують також інші техніко-технологічні рішення для здійснення періодичного впливу на дуговий процес зварювання та наплавлення. Ці рішення в багатьох варіантах проаналізовано в роботі [5], наприклад системи коливання зварювального інструменту попеременною напрямку зварного шву або наплавленого валику.

З'явилися розробки нових систем коливань зварювальної ванни.

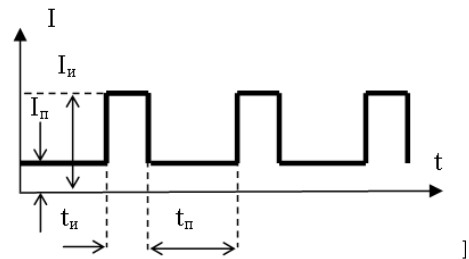


Рис. 1. Ідеалізований графік току дугового процесу з модуляцією режимів

Мета роботи

Метою роботи є подальше дослідження і вдосконалення процесів з модулюючим впливом на електропривод механізму подачі електродного дроту.

Основний матеріал і аналіз отриманих результатів

Дослідження результатів наплавлення з модулюванням режимів у порівнянні з наплавленням стаціонарною дугою з використанням стабільних режимів виконували комплексно з визначенням таких характеристик:

Визначення основних геометричних розмірів наплавлених валиків за різних режимів модуляції;

Визначення основних легувальних елементів в наплавлених шарах за різних варіантів модульованого впливу.

Всі наплавлення в основному виконано на пласких зразках сталі 45 з використанням наплавлювального автомата А574Н, який укомплектовано джерелом ВДУ-504. Всі експерименти проведено з використанням самозахисного порошкового дроту ПП-АН140 діаметром 2,0 мм. Для порівняння використано також інші марки. Частково цикл експериментальних досліджень проведено на зразках матеріалів штампового інструменту.

Для подальшого аналізу результатів наплавлення для найбільш характерних режимів модульованого впливу складено матрицю дієвих факторів (план експерименту) і отримано результати вимірювань за методикою, яку наведено в роботі [6], де x_1, x_2 – час імпульсу і паузи відповідно; x_3, x_4 – струм в імпульсі і паузі відповідно. Матрицю наведено в табл. 1.

Одним з основних впливів модульованого струму на структуру наплавленого металу є суттєва зміна термічного циклу процесу. Схематично це показано на рис. 2. При цьому температура металу ванни коливається між температурами ліквідусу T_n і солідусу T_c .

Величини T_n і T_c визначаються параметрами модуляції режиму.

В неплавленому металі визначали вміст вуглецю, хрому, кремнію, бору в залежності від таких параметрів наплавлення модульованим током: час імпульсу (t_u) і паузи (t_n); жорсткість режиму $Q = t_n/t_u$; час-

тота модуляції $1/(t_u + t_n)$; глибина модуляції $M = I_n / I_u$. Модуляцію проводили за допомогою дослідної приставки-модулятора ОИ-10 шляхом синхронізованого впливу на електричні ланцюги керування джерела живлення та електроприводу двигуна постійного струму механізму подачі електродного дроту, або впливу тільки на електропривод.

Параметри режиму змінювали в таких діапазонах: струм імпульсу $I_u = 100-200$ А, струм паузи $I_n = 50-100$ А; тривалість імпульсу t_u та паузи t_n 0,1...1,0. При цьому обирали режими, які забезпечують стає горіння дуги і задовільне формування наплавлюваних валиків.

На рис. 3 як приклад наведено перерізи валиків, які наплавлено різними способами на різних режимах. Аналіз перерізів надає підстави робити висновки щодо зміни їх геометричних розмірів в залежності від параметрів дугового процесу.

Залежність хімічного складу наплавленого металу, механічних властивостей і геометричних розмірів від параметрів режиму наплавки модульованим струмом отримано у вигляді рівнянь регресії на підставі матриці експерименту і вимірювань цільових параметрів.

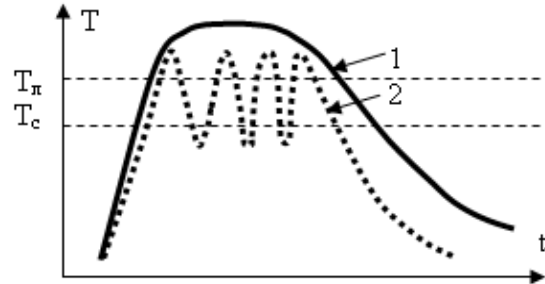


Рис. 2. Ідеалізована схема термічного циклу наплавлення: 1 – стаціонарна дуга; 2 – модульований режим

Таблиця 1 – Матриця плану експериментів і результати вимірювань

№	Фактори				Геометричні розміри, мм			Хімічний склад, %			
	x_1	x_2	x_3	x_4	b	h	g	C	Cr	B	Si
1	+	+	+	+	10	2	2	0,38	6,56	0,72	1,1
2	-	+	+	-	12	4	2,5	0,4	6,79	0,76	1,2
3	+	-	+	-	12	4	2	0,6	8,66	0,75	1,1
4	-	-	+	+	9	2,5	1,5	0,46	7,67	0,78	1,1
5	+	+	-	-	12	2,5	2,8	0,44	7,77	0,72	1,2
6	-	+	-	+	15	4	2	0,62	9,13	0,8	1,2
7	+	-	+	-	11	2	2	0,59	7,83	0,8	1,1
8	-	-	-	-	8	2	1,5	0,48	7,75	0,7	1,0

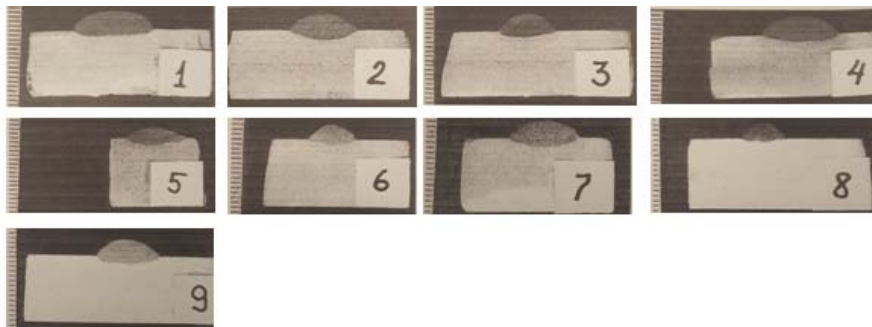


Рис. 3. Вплив частоти модульованого струму на форму наплавленого валика:

1 – стаціонарна дуга; модульований процес: 2 – $s = 5$ Гц, $t_u = 0,1$ с, $t_n = 0,1$ с; 3 – $s = 0,5$ Гц, $t_u = 1,0$ с, $t_n = 1$ с; 4 – $s = 1,1$ Гц, $t_u = 0,8$ с, $t_n = 0,1$ с; 5 – $s = 0,55$ Гц, $t_u = 0,8$ с, $t_n = 1,0$ с; 6 – $s = 1,1$ Гц, $t_u = 0,1$ с, $t_n = 0,8$ с; 7 – $s = 0,55$ Гц, $t_u = 1,0$ с, $t_n = 0,8$ с; 8 – $s = 1,0$ Гц, $t_u = 0,1$ с, $t_n = 0,9$ с; 9 – $s = 0,7$ Гц, $t_u = 0,5$ с, $t_n = 0,9$ с

На рис. 4 наведено перерізи ліній сплавлення наплавленого валика з основним металом. Можна бачити характерні хвилюподібні утворення, які утворилися внаслідок модуляції параметрів дугового процесу. Очевидно, що за умов стаціонарного процесу хвилястість практично відсутня. Зі збільшенням частоти модуляції амплітуда хвиль знижується.

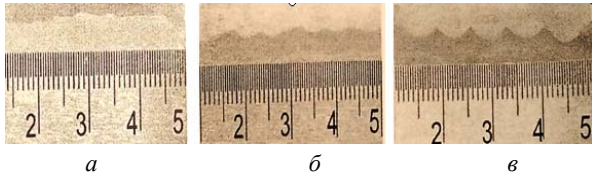


Рис. 4. Границя сплавлення наплавленого валика з основним металом:

a – наплавлення стаціонарною дугою; наплавлення модульованим током з частотою; *б* – 5 Гц; *в* – 0,5 Гц

Попередній аналіз свідчить, що такий характер лінії сплавлення сприяє підвищенню міцності наплавленого шару. Слід відзначити, що за умов наплавлення модульованим струмом зона сплавлення є значно більш впорядкованою, ніж при наплавлюванні стаціонарною дугою.

Вміст елементів С, Cr, В в наплавленому металі валиків за результатами експериментів за матрицею табл. 1 може бути поданим такими рівняннями регресії:

$$C = 0,49 - 0,2125x_1 - 0,01625x_2 - 0,03125x_3 + 0,06625x_4, \quad (1)$$

$$Cr = 7,73 - 0,28x_1 - 0,1875x_2 + 0,19x_3 + 0,5675x_4, \quad (2)$$

$$B = 0,7425 - 0,075x_1 - 0,0325x_2 + 0,015x_3 + 0,024x_4. \quad (3)$$

Згідно з критерієм Фішера рівняння адекватно відбивають результати експериментів на рівні значущості 5 %. Коефіцієнти множинної регресії знаходяться в межах 0,8–0,9 %.

На підставі рівнянь (1)–(3) побудовано графічні інтерпретації функцій С, Cr, В – $f(\Pi)$, де Π – узагальнений параметр, від якого залежать характеристики наплавленого валика. Залежності наведено на рис. 5–8. Цифри 1, 2, 3 є відповідно: наплавлювання стаціонарною дугою, математична регресійна модель, апроксимація.

Встановлено, що збільшення паузи в межах 0,1...1,0 с приводить до зменшення вмісту вуглецю, хрому, бору в наплавленому металі.

Досліджено сумісний вплив імпульсу і паузи на вміст вуглецю, хрому і бору, а також твердості і геометричних розмірів наплавлених валиків в залежності від збільшення паузи під час постійного імпульсу 0,1 с.

Збільшення паузи в діапазоні 0,1–1,0 с за умов постійного імпульсу 0,8 с призводить до зміни вмісту вуглецю, хрому і бору. Встановлено, що вміст вуглецю збільшується від 0,40 % до 0,43 %, за умов стаціонарного режиму 0,67 %. Вміст хрому збільшується в діапазоні 6,5...8,0 %. За умов стаціонарного режиму цей показник становить 8 %.

Зміна жорсткості режиму за умов модуляції призводить до зменшення ширини валика наплавленого металу від 15 мм до 10 мм, при стаціонарному режимі цей показник складає 20 мм. Висота зменшується з 4 до 3 мм, потім збільшується до 4 мм. За умов стаціонарного режиму цей показник складає 4 мм.

Все вказане вище відноситься до режимів модуляції з меншою енергетичною складовою, ніж при стаціонарному режимі, і наведено як можливість керування вмістом С, Cr, В за рахунок зміни параметрів модуляції.

Погонну енергію процесу g для наплавлення модульованим током можна визначити у відповідності до виразу:

$$g = \frac{60[I_u U_u c + I_o U_o (1 - c)]}{v_{cv}}, \quad (4)$$

де c – скважність імпульсу модульованого процесу

$$c = \frac{t_u}{t_u + t_o}; \quad v_{cv} - \text{швидкість дугового процесу};$$

U_u, U_n, I_u, I_n – напруга і струм в імпульсі і паузі процесу наплавки з модуляцією дугового процесу.

Аналіз рівняння (4) показує, що необхідно значною мірою збільшувати параметри напруги і U_u, U_n, I_u, I_n , щоб збільшити енерговкладення за умов наплавлення з модуляцією, щоб вони відповідали таким, які зазвичай використовують під час наплавлювання стаціонарною дугою.

Аналізуючи залежності 1, 2, 3 на рис. 5–12, можна зробити висновок, що характеристики 2, які одержано на кожному графіку за умов використання модульованих режимів наплавлення достатньо близькі до прямих ліній і можуть бути з достатньою для прогнозування точністю описані лінійними рівняннями, які у загальному вигляді можна виразити як:

$$\frac{\Pi - \Pi_1}{\Pi_2 - \Pi_1} = \frac{(b, h, g, C, Cr, B) - (b_1, h_1, g_1, C_1, Cr_1, B)}{(b_2, h_2, g_2, C_2, Cr_2, B) - (b_1, h_1, g_1, C_1, Cr_1, B)}. \quad (5)$$

Рівні вмісту С, Cr, В, які в залежності від частоти модуляції (s) й інших важливих параметрів визначаються з залежності (1) і рис. 5–8 таким чином:

$$C = C_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(C_2 - C_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}, \quad (6)$$

$$Cr = Cr_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(Cr_2 - Cr_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}, \quad (7)$$

$$B = B_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(B_2 - B_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}. \quad (8)$$

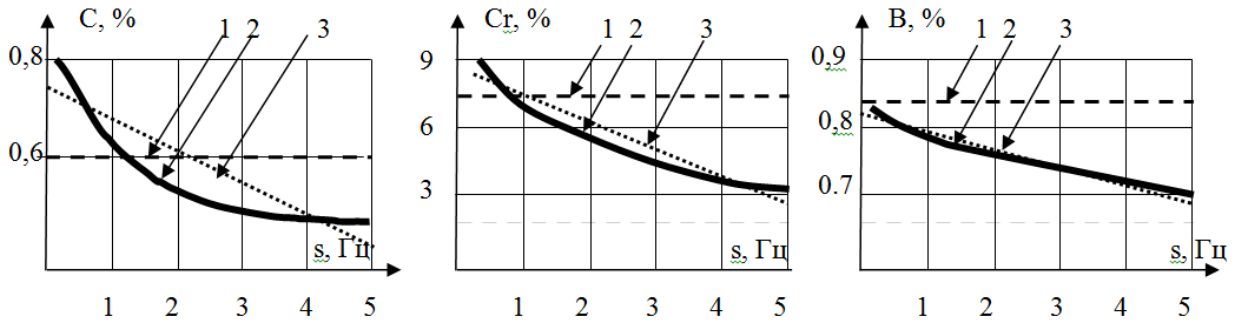


Рис. 5. Зміна вмісту вуглецю, хрому і бору в залежності від частоти модуляції процесу наплавки в діапазоні 1–5 Гц

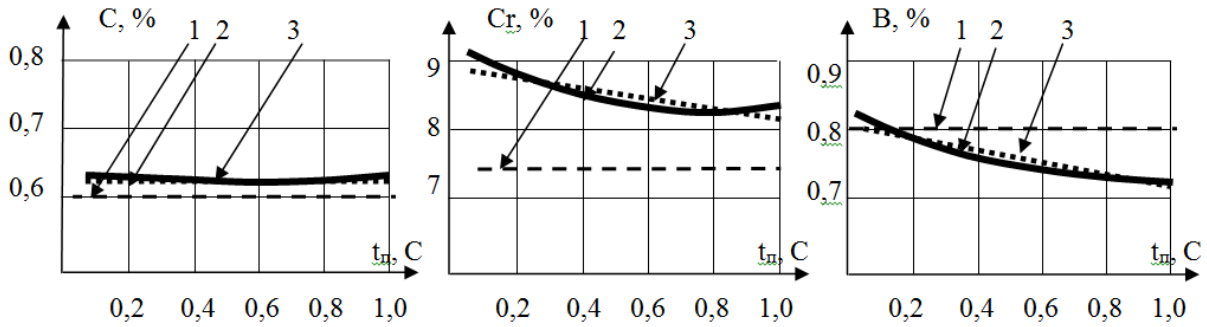


Рис. 6. Зміна вмісту вуглецю, хрому і бору в наплавлених валиках модульованим струмом в залежності від часу паузи за умов постійного часу імпульсу 0,1 с

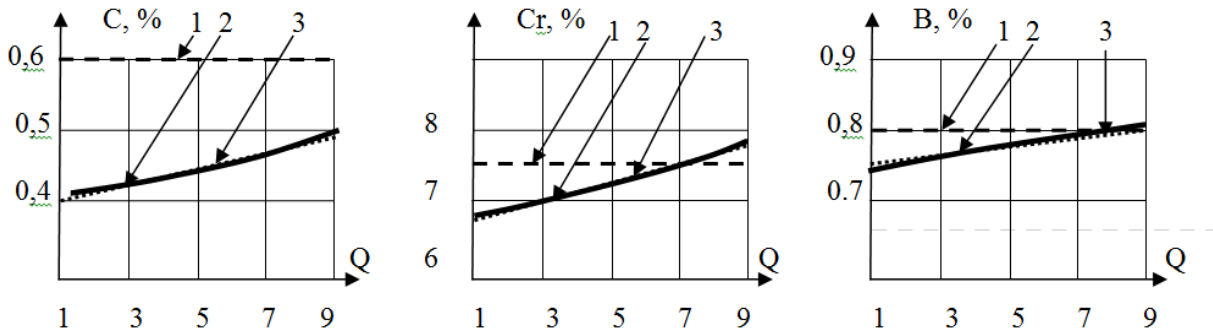


Рис. 7. Зміна вмісту вуглецю, хрому і бору в наплавлених валиках модульованим струмом в залежності від жорсткості режиму при частоті 1 Гц

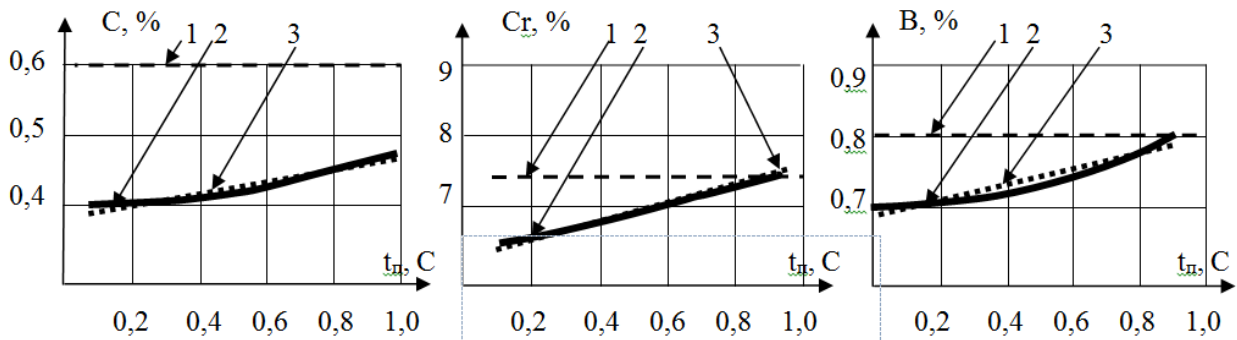


Рис. 8. Зміна вмісту вуглецю, хрому і бору в наплавлених валиках модульованим струмом в залежності від часу паузи при тривалості імпульсу 0,8 с

Параметри $C_1, C_2, Cr_1, Cr_2, B_1, B_2$ відповідають крайнім точкам прямих ліній аппроксимаций 3 на рис. 2–7.

Геометричні розміри перерізів валиків b , висоту h і глибину проплавлення g можна представити рівняннями регресії:

$$b = 11,25 - 0,125x_1 - 0,125x_2 - 0,125x_3 + 1,375x_4, \quad (9)$$

$$h = 2,9 + 0,25x_1 + 0,225x_2 - 0,275x_3 + 0,6x_4, \quad (10)$$

$$g = 2,0375 + 0,1625x_1 + 0,1625x_2 - 0,2875x_3 + 0,0875x_4. \quad (11)$$

Аналогічно до викладеного вище і ґрунтуючись залежності рис. 9–12 можна скласти систему рівнянь для величини Π , яка відбиває вплив характерних параметрів процесу наплавки модульованим струмом на геометричні параметри наплавленого валика:

$$b = b_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(b_2 - b_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}, \quad (12)$$

$$h = h_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(h_2 - h_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}, \quad (13)$$

$$g = g_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(g_2 - g_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}. \quad (14)$$

На рис.9–12 наведено графіки, які побудовано за рівняннями (9)–(11), а також графіків аппроксимаций відповідності з (12)–(14).

На підставі регресійної моделі, рівнянь (7)–(9) і графіків рис. 8–10 з урахуванням аппроксимаций розглянуто і проаналізовано поєднання впливу імпульсу і паузи на геометричні розміри наплавлених валиків в залежності від збільшення паузи за умов постійного імпульсу тривалістю 0,1 с та 0,8 с.

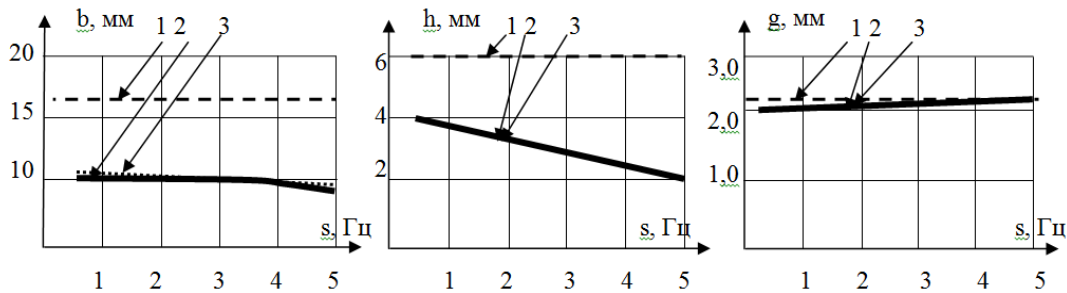


Рис. 9. Зміна геометричних розмірів перерізів наплавлених валиків в залежності від частоти модуляції процесу наплавки в діапазоні 1–5 Гц

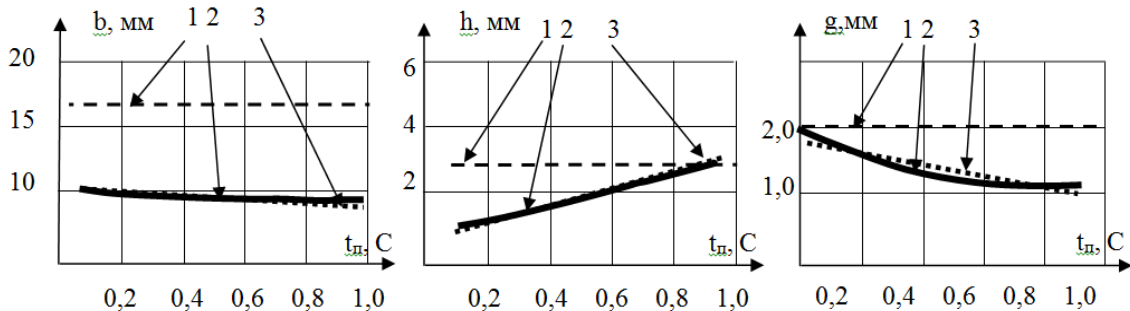


Рис. 10. Зміна геометричних розмірів перерізів наплавлених валиків модульованим током в залежності від часу паузи при постійному часі імпульсу 0,1 с

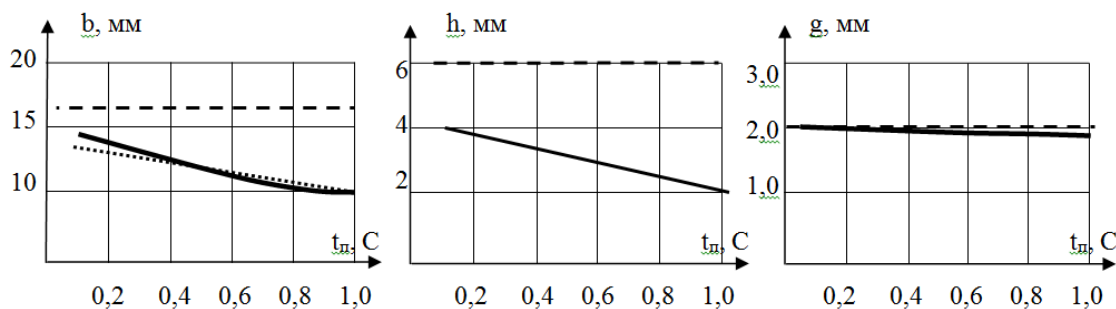


Рис. 11. Зміна геометричних розмірів перерізів наплавлених валиків модульованим током в залежності від часу паузи при постійному часі імпульсу 0,8 с

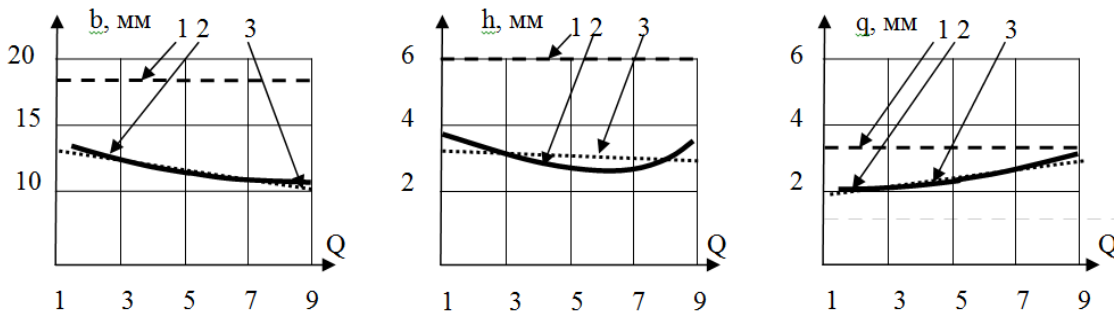


Рис. 12. Зміна геометричних розмірів перерізів наплавлених валиків модульованим током в залежності від жорсткості режиму при частоті 1 Гц

Можна відзначити зміну геометричних розмірів перерізів наплавлених валиків із зміною частоти модуляції і жорсткості режимів дугових процесів.

Встановлено зменшення геометричних розмірів наплавленого металу: ширина від 15 до 10 мм. При стаціонарному режимі ширина складає близько 15 мм. Висота зменшується з 4 мм до 2 мм (при стаціонарному режимі 6 мм). Проплавлення майже не змінюється. Зміна жорсткості режиму за умов модуляції призводить до зменшення ширини наплавленого металу з 15 мм до 10 мм (за умов стаціонарного режиму 20 мм), висота зменшується з 4 мм до 3 мм, потім знов збільшується до 4 мм. За умов стаціонарного режиму висота дорівнює 6 мм. Проплавлення збільшується з 2 мм до 4 мм.

Ширина є меншою, ніж за умов стаціонарного режиму і складає 12 мм. Висота зменшується від 4 мм до 2 мм. При стаціонарному режимі висота дорівнює 6 мм. Проплавлення майже не змінюється і складає в двох режимах 2 мм.

Збільшення паузи з 0,1 с до 1,0 с за умов постійної тривалості імпульсу 0,8 с призводить до зміни вмісту вуглецю, хрому, бору, а також величини твердості і геометричних розмірів наплавленого валика. Встановлено, що вміст вуглецю збільшується від 0,40 % до 0,43 % (за умов стаціонарного режиму 0,67 %). Вміст хрому збільшується від 6,5 % до 8,0 %. За умов стаціонарного режиму вміст хрому складає 8,0 %. Твердість наплавленого металу при такому режимі збільшується від 52 HRC_э до 63 HRC_э, при стаціонарному режимі складає 57...59 HRC_э

Відзначено зменшення геометричних розмірів перерізів наплавлених валиків при застосуванні модуляції режимів дугового процесу. Ширина є меншою, ніж при стаціонарному режимі і складає 12 мм. Висота зменшується від 4 мм до 2 мм. За умов стаціонарного режиму висота дорівнює 6 мм. Проплавлення майже не змінюється і для обох режимів складає 2 мм.

Можна стверджувати, що гострота імпульсу, тобто режим з більшою паузою, для певних випадків більше впливає на вихідний результат, наприклад порівняння графіків на рис. 6 і рис. 8, а також рис. 10 і рис. 11.

Висновки

© Лебедев В. А., Тіщенко В. А., Бриков М. М., 2022
DOI 10.15588/1607-6885-2022-1-9

1. Регресійні рівняння, які отримано на підставі експериментальних даних, а також лінеаризовані рівняння дозволяють прогнозувати вміст вуглецю, кремнію, бору, в наплавленому металі в залежності від параметрів режиму автоматичного електродугового наплавлення модульованим током з використанням порошкового дроту ПП-АН140 діаметром 2 мм.

2. Хімічний склад наплавленого металу залежить від всіх параметрів модульованого струму. В результаті експериментів хімічний склад наплавленого металу модульованим струмом може відрізнитися від того, який отримують в результаті наплавлення стаціонарною дугою.

3. Оскільки вміст елементів в наплавленому металі впливає на його механічні й інші властивості, необхідно враховувати дані, які отримано в роботі, під час вибору параметрів наплавлення модульованим струмом для реальних процесів.

4. Вибір оптимальних параметрів режиму наплавлення для отримання необхідних характеристик наплавленого шару слід використовувати рекомендації, що забезпечують належну якість процесу й наплавленого металу з потрібними експлуатаційними властивостями.

Список літератури

1. Лебедев В. А. Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки / Лебедев В. А., Лендел И. В. // Научно-технические технологии в машиностроении. – № 9. – 2015. – С. 20–27.
2. Солодский С. А. / Солодский С. А., Луговцева Н. Ю., Борисов И. С. Технология mig-mag сварки с низкочастотной модуляцией тока дуги // Технологии и материалы. – № 1. – 2015. – С. 11–14.
3. Технологические особенности сварки пульсирующей дугой под флюсом / Меркулов Б.А. и др. // Сварочное производство. – 1975. – № 3. – С. 13–15.
4. Singh PK, Patel D and Prasad SB (2016) Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welded joints. Indian Journal of Science and Technology 9 (35): 1–6.

5. Лебедев В. А. О выборе оборудования для наплавки пульсирующей дугой матриц штампов / Лебедев В. А. Тищенко В. А. // Автоматическая сварка. – № 8. – 1997. – С. 51–52.

6. Сидняев, Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / М. : Издательство Юрайт, 2018. – 495 с.

Одержано 08.05.2022

Lebedev V., Tishchenko V., Brykov M. The study of the peculiarities of the mechanized electric arc cladding with periodic variation of the modes of the process

Purpose. Research of the influence of modulation of arc processes on characteristics of clad metal with revealing the dependences of chemical composition and geometrical dimensions of the clad metal on the modulation parameters, as well as the development of mathematical models of these dependences with the purpose of predicting the results of modulation to improve the quality of deposited layers.

Methods of research. Well-known methods of surfacing metal research were used:

spectral analysis of metal composition, metallographic analysis of the obtained samples of cross-sections of the cladding rolls. Special computerized programs were used to measure geometric dimensions of the roll. Methods of regression analysis were used in order to obtain generalized mathematical models of dependencies of chemical elements and geometrical dimensions on modulation parameters.

Results. In the process of research with electric-arc cladding of electrode flux-cored self-shielded wire, generalized results of dependences of carbon, chromium and boron content, width, amplification and penetration of cross-sectional area on the frequency and modulation duty cycle of electric-arc process parameters were obtained. Method of mathematical description of modulation effect on chemical composition and shape of the weld bead was developed.

Scientific novelty. It was suggested to carry out estimation of the results by applying mathematical models when carrying out the electric arc process with periodic change of power parameters of current surfacing due to controlling the electric drive of the electrode wire feeding mechanism and also with change of voltage when controlling the output voltage of the welding current source.

Practical value. A set of studies concerning the effects of modulation of power parameters of the welding process using an original development of the modulator allows, based on relatively simple systems of automatic and mechanized equipmen makes it possible, to obtain a controlled process of influence on the characteristics of the fused metal with their improvement for the implementation in industrial production.

Key words: arc surfacing, melting electrode, modulation modes, parameters, experiments, processing of results, mathematical models.