

4. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М.Болдырев, Ю.С.Ткаченко, Н.П.Толоконников [и др.] // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С.70-71.
5. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / Спиридонов А.А. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012.

УДК 612.791

НОСОВ Д.Г., к.т.н., доцент
КЛИМЕНКО В.В., студент
МАЛЬЦЕВ В.В., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ВПЛИВ ЧАСТОТИ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ВАЛИКА, НАПЛАВЛЕНОГО ПІД ФЛЮСОМ (ЧАСТИНА II)

Вступ. Електромагнітні дії, застосовувані при зварюванні, наплавленні та споріднених процесах, мають розширену класифікацію [1], тому і науково-технічна інформація, доступна досліднику стосовно цього питання, має подекуди протилежний характер [2-4]. Аналіз опублікованих робіт дозволив виділити напрям вектора керуючого магнітного поля та його частотні характеристики як основні ознаки цієї класифікації.

Розрізняють постійні, імпульсні, низько-, середньо- та високочастотні подовжні (ПДМП), поперечні (ПОМП) та комбіновані (КМП) магнітні поля, що впливають на краплю електродного металу, дугу, рідкий метал зварної ванни та його кристалізацію, процеси формування валика та ін.

В попередній роботі експериментальним шляхом було визначено вплив частоти ПОМП, сили струму та швидкості наплавлення на геометричні параметри (ширину e , висоту g та глибину проплавлення h) валика, формованого при електродуговому наплавленні під флюсом. В даній роботі запропоновано результати досліджень впливу частоти та величини індукції ПОМП на згадані показники наплавленого валика та зроблено загальні висновки.

Постановка задачі. Об'єктом дослідження є технологічний процес дугового наплавлення дротом під флюсом із застосуванням зовнішнього впливу поперечного магнітного поля. Предметом дослідження виступають процеси формоутворення валиків при дуговому наплавленні дротом під флюсом з дією ПОМП залежно від його частоти.

Метою даної роботи є дослідження впливу частоти та індукції подовжнього магнітного поля на геометричні параметри валика при електродуговому наплавленні під флюсом та узагальнення результатів досліджень, виконаних в попередній роботі.

Результати роботи. Дослідження по встановленню параметрів зони проплавлення основного металу при дуговому наплавленні дротом під флюсом з дією ПОМП виконані на установках з використанням стандартних методик та устаткування в лабораторних умовах [5].

Для визначення впливу частоти зовнішнього магнітного поля на геометричні параметри валика при електродуговому наплавленні під флюсом використовували метод статистичної обробки даних, отриманих експериментальним шляхом в роботі [6].

Вплив частоти та величини індукції ПОМП на геометричні параметри валика. При визначенні впливу частоти та величини індукції ПОМП на геометричні розміри

валика (ширину e , висоту g та глибину проплавлення h) було встановлено, що взаємозв'язки зазначених параметрів носять нелінійний характер.

Для зручності попередній аналіз отриманих експериментальним шляхом даних виконували шляхом їх обробки за допомогою графічного оператора 3D Contours Plots математичного пакета STATISTIKA 6.0. Отримані залежності наведено на рис.1-6.

Ширину наплавленого валика e можна збільшити шляхом поєднання наступних показників при наплавленні: індукція ПОМП $B_x = 20 \dots 50$ мТл при частоті ПОМП $\omega = 2 \dots 7$ Гц. Збільшення частоти ПОМП не призводить до збільшення ширини валика (рис.1). Це може бути пояснено позитивним впливом на контрольований параметр саме зовнішнього магнітного поля B_x .

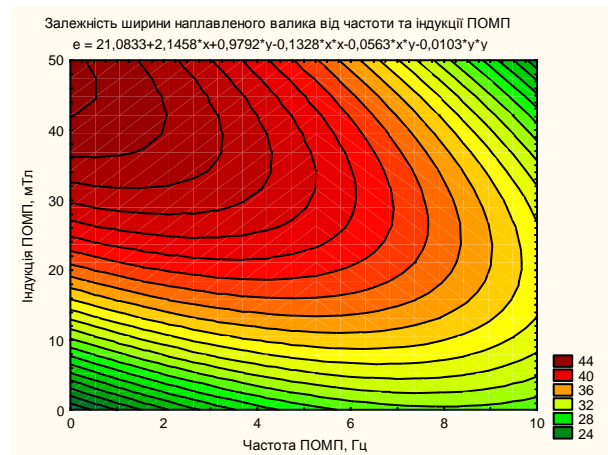


Рисунок 1 – Залежність ширини наплавленого валика від частоти та індукції ПОМП

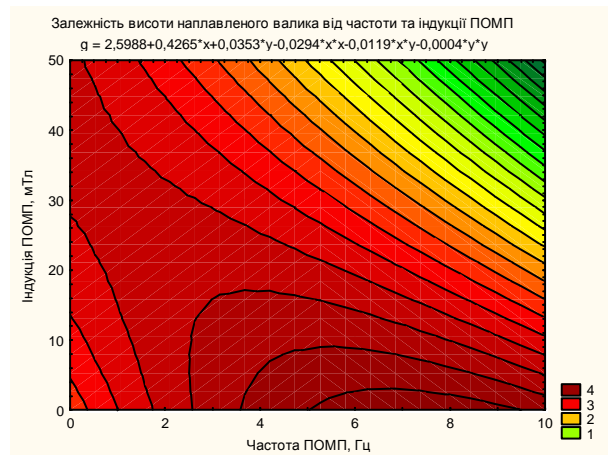


Рисунок 2 – Залежність висоти наплавленого валика від частоти та індукції ПОМП

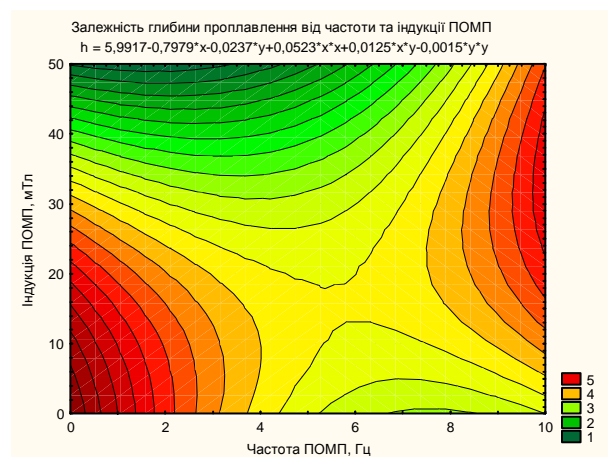


Рисунок 3 – Залежність глибини проплавлення від частоти та індукції ПОМП

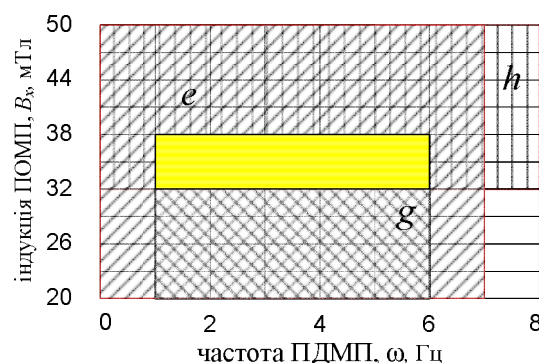


Рисунок 4 – Карта оптимізації частоти та індукції ПОМП за геометричними параметрами валика

На рис.1 чітко простежується область максимальних значень ширини наплавленого валика, а саме струм наплавлення $B_x = 63 \dots 52$ мТл при частоті ПОМП $\omega = 0 \dots 3$ Гц. За цих умов ширину наплавленого валика можна збільшити майже удвічі.

Висота наплавленого валика g , як видно з рис.2, значно залежить від зовнішнього впливу ПОМП. Максимальні значення цього показника можна отримати в достатньо широких межах індукцій ПОМП B_x . Причому, збільшення частоти магнітного поля ω

при менших значеннях індукції B_x викликає зростання висоти наплавленого валика, а при більш високих значеннях B_x спостерігали зворотній ефект, тобто висота валика зменшувалась.

За оптимальні режими в цьому випадку можна признати наступні: частота ПОМП $\omega = 1 \dots 6$ Гц при індукції ПОМП $B_x = 18 \dots 38$ мТл. На рис.2 чітко простежується область мінімальних значень висоти наплавленого валика, а саме індукція ПОМП $B_x = 30 \dots 50$ мТл при частоті ПОМП $\omega = 7 \dots 10$ Гц. За цих умов висота наплавленого валика близька до значень висоти, отриманих при електродуговому наплавленні під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

На рис.3 наведено залежність глибини проплавлення h від частоти та індукції ПОМП. Як видно, залежності носять складний характер та мають три зони екстремальних значень контрольованого параметра. Так, при наплавленні з впливом ПОМП $B_x = 0 \dots 20$ мТл частотою ω до 2 Гц глибина проплавлення має максимальні значення. Близькі до цих значень глибини проплавлення отримано при наплавленні з ПОМП $B_x = 20 \dots 45$ мТл частотою ω , більшою від 9 Гц.

Значне зменшення глибини проплавлення спостерігали при наплавленні на наступних режимах: індукція ПОМП $B_x = 32 \dots 50$ мТл частотою ω до 8 Гц (рис.3). За цих умов глибину проплавлення можна зменшити в 3...5 рази порівняно з процесом електродугового наплавлення під флюсом без застосування зовнішнього електромагнітного впливу.

Математично залежність геометричних параметрів валика (ширини e , висоти g та глибини проплавлення h) від частоти ω та індукції ПОМП B_x можна виразити через наступні рівняння:

$$\begin{aligned} e &= 21,0833 + 2,1458 \cdot \omega + 0,9792 \cdot B_x - 0,1328 \cdot \omega^2 - 0,0563 \cdot \omega \cdot B_x - 0,0103 \cdot B_x^2; \\ g &= 2,5988 + 0,4265 \cdot \omega + 0,0353 \cdot B_x - 0,0294 \cdot \omega^2 - 0,0119 \cdot \omega \cdot B_x - 0,0004 \cdot B_x^2; \\ h &= 5,9917 - 0,7979 \cdot \omega - 0,0237 \cdot B_x + 0,0523 \cdot \omega^2 + 0,0125 \cdot \omega \cdot B_x - 0,0015 \cdot B_x^2. \end{aligned}$$

За отриманими рівняннями визначимо графічно область оптимальних частот ПОМП для отримання валика з меншою глибиною проплавлення і найбільшою шириною та висотою (рис.4), яку виділено сірим кольором.

Складання багатofакторних математичних моделей та оптимізація технологічних режимів наплавлення з дією ПОМП. Для розробки математичних моделей прогнозування геометричних розмірів наплавленого валика використовували регресійний метод. Функція поверхні відгуку, що відображає будь-яку геометрію валика y , може бути виражена як $y = f(I, V, B_x, \omega)$, а вибрана залежність, що є поверхнею відгуку другого порядку, має вигляд:

$$\begin{aligned} y &= b_1 + b_2 \cdot I + b_3 \cdot V + b_4 \cdot B_x + b_5 \cdot I \cdot V + b_6 \cdot I \cdot B_x + b_7 \cdot V \cdot B_x + b_8 \cdot I^2 + b_9 \cdot V^2 + \\ &+ b_{10} \cdot B_x^2 + b_{11} \cdot \omega + b_{12} \cdot I \cdot \omega + b_{13} \cdot V \cdot \omega + b_{14} \cdot B_x \cdot \omega + b_{15} \cdot \omega^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Обробку результатів експерименту при розрахунках коефіцієнтів регресії виконували з використанням програмного пакету *STATISTICA 6.0*. Результати статистичної обробки наведено в табл.1.

Оцінку статистичної значимості знайдених коефіцієнтів та перевірку адекватності отриманих залежностей виконували з використанням критеріїв Стьюдента та Фішера.

Як видно з табл.1, найбільше впливає на зміну конфігурації формування валика при електродуговому наплавленні під флюсом частота та індукція поперечного магнітного поля (коефіцієнти $b_4, b_{10}, b_{11}, b_{15}$).

Сумісного впливу струму I та швидкості V наплавлення залежно від частоти ПОМП ω не виявлено, так як коефіцієнт для системи рівнянь (1) $b_5 = 0$. Остаточна мате-

Таблиця 1 – Коефіцієнти рівняння (1)

	<i>e</i>	<i>g</i>	<i>h</i>
<i>b</i> ₁	-57,7084	-2,28776	-77,1296
<i>b</i> ₂	0,4758	0,09858	0,1619
<i>b</i> ₃	-3,3021	-1,28854	2,1052
<i>b</i> ₄	1,3375	0,16792	0,0867
<i>b</i> ₅	0	0	0
<i>b</i> ₆	0,0002	0,00002	0
<i>b</i> ₇	-0,0125	-0,00438	0,0006
<i>b</i> ₈	-0,0004	-0,00009	-0,0001
<i>b</i> ₉	0,0456	0,01784	-0,0303
<i>b</i> ₁₀	-0,0115	-0,00015	-0,0049
<i>b</i> ₁₁	2,8125	-0,14792	-0,3333
<i>b</i> ₁₂	0,0013	0,00013	-0,0003
<i>b</i> ₁₃	-0,0313	0,0125	0,0094
<i>b</i> ₁₄	-0,0563	-0,01188	0,0125
<i>b</i> ₁₅	-0,1615	-0,0224	-0,0307

матичні моделі впливу частоти ПОМП на геометричні розміри наплавленого валика наведено нижче:

$$e = -57,7084 + 0,4758 \cdot I - 3,3021 \cdot V + 1,3375 \cdot B_x + 0,0002 \cdot I \cdot B_x - 0,0125 \cdot V \cdot B_x - 0,0004 \cdot I^2 + 0,0456 \cdot V^2 - 0,0115 \cdot B_x^2 + 2,8125 \cdot \omega + 0,0013 \cdot I \cdot \omega - 0,0313 \cdot V \cdot \omega - 0,0563 \cdot B_x \cdot \omega - 0,1615 \cdot \omega^2 \quad (2)$$

$$g = -2,28776 + 0,09858 \cdot I + 1,28854 \cdot V + 0,16792 \cdot B_x - 0,00438 \cdot V \cdot B_x - 0,00009 \cdot I^2 + 0,01784 \cdot V^2 - 0,00015 \cdot B_x^2 - 0,14792 \cdot \omega + 0,00013 \cdot I \cdot \omega + 0,0125 \cdot V \cdot \omega - 0,01188 \cdot B_x \cdot \omega - 0,0224 \cdot \omega^2 \quad (3)$$

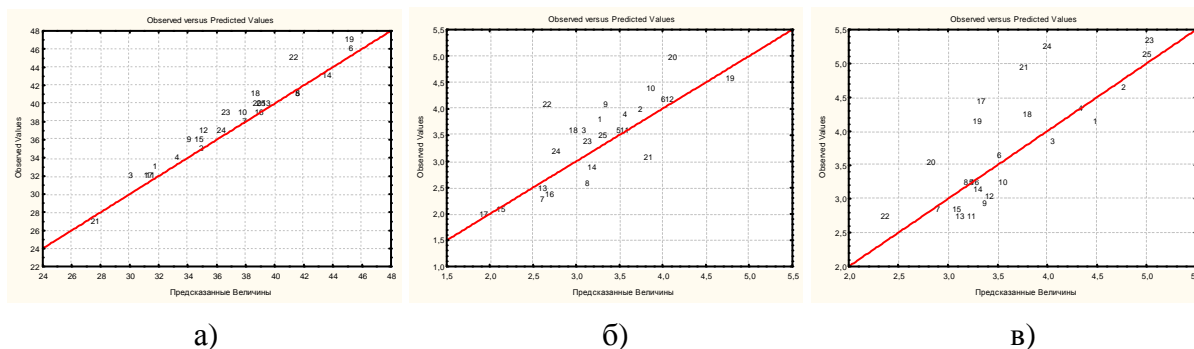
$$h = -77,1296 + 0,1619 \cdot I + 2,1052 \cdot V + 0,0867 \cdot B_x + 0 \cdot I \cdot V + 0 \cdot I \cdot B_x + 0,0006 \cdot V \cdot B_x - 0,0001 \cdot I^2 - 0,0303 \cdot V^2 - 0,0049 \cdot B_x^2 - 0,3333 \cdot \omega - 0,0003 \cdot I \cdot \omega + 0,0094 \cdot V \cdot \omega + 0,0125 \cdot B_x \cdot \omega - 0,0307 \cdot \omega^2 \quad (4)$$

Значимість коефіцієнтів перевіряли за допомогою *t*-тесту, а також методу зворотного виключення. Розроблені моделі перевіряли на адекватність за допомогою регресійного аналізу. Адекватність розроблених моделей також перевіряли за допомогою дисперсійного аналізу.

Достовірність отриманих моделей була також перевірена шляхом складання діаграм розкиду, які показують ступінь збігу експериментальних і прогнозованих значень розмірів валиків. Характерні діаграми розкиду для основних параметрів валика (ширини *e*, висоти *g* та глибини проплавлення *h*) наведено на рис.5. Крім того, були визначені відхилення експериментальних даних від розрахованих за формулами (2)-(4). Середнє сумарне відхилення для ширини валика *e* (2) складає мінус $0,3 \cdot 10^{-6}$, для висоти валика *g* (3) – $1 \cdot 10^{-6}$, для глибини проплавлення *h* (4) – мінус $2 \cdot 10^{-6}$, тобто отримані моделі мають достатній рівень верифікації та можуть бути визнані за адекватні.

Оптимізацію виконували по групах режимів (табл.2), на базі якої побудовано діаграму (рис.6) взаємозв'язку частоти ω ПОМП за групами контрольованих параметрів струм наплавлення (*I*) – швидкість наплавлення (*V*) – індукція ПОМП (*B_x*).

Тобто, за оптимальну частоту змінного поперечного магнітного поля слід визнати $\omega = 4 \dots 5$ Гц індукцією $B_x = 32 \dots 38$ мТл при наплавленні струмом силою $I = 575 \dots 625$ А зі швидкістю $V = 26 \dots 29$ м/год.



а) – ширина валика e ; б) – висота валика g ; в) – глибина проплавлення h
 Рисунок 5 – Діаграми розкиду експериментальних і прогнозованих значень розмірів валиків

Таблиця 2 – Зведена таблиця оптимізації режимів за геометричними параметрами валика

I , А	ω , Гц	V , м/год	ω , Гц	B_x , мТл	ω , Гц
575...625	3...5	26...29	0...10	20...50	2...7
550...595	2,5...4,5	25...30	0...5	18...38	1...6
440...620	4...6	26...32	4...8	32...50	0...8
575...625 А 4,0...4,5 Гц		26...29 м/год. 4...5 Гц		32...38 мТл 1...6 Гц	

Сірим кольором на рис.6 зазначено область, в якій всі контрольовані параметри мають необхідні геометричні характеристики для підвищення ефективності процесу електродугового наплавлення під флюсом з впливом зовнішнього магнітного поля.

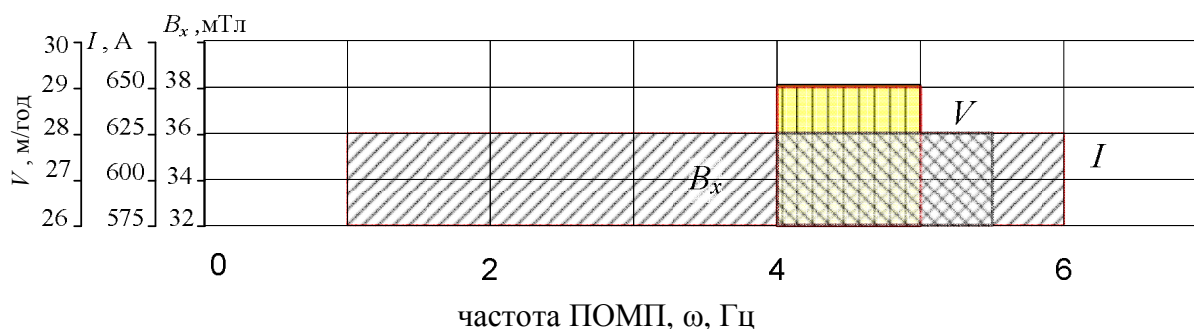


Рисунок 6 – Оптимальні частоти ω ПОМП за групами струм наплавлення (I); швидкість наплавлення (V); індукція ПОМП (B_x)

Висновки. При дослідженні технологічного процесу дугового наплавлення дротом під флюсом із застосуванням зовнішнього впливу змінного поперечного магнітного поля було визначено режимні умови, за яких можливе ефективне керування формоутворенням валиків: частота змінного ПОМП $\omega = 4...5$ Гц, індукція $B_x = 32...38$ мТл, струм наплавлення $I = 575...625$ А, швидкість наплавлення $V = 26...29$ м/год.

Застосування зазначених режимів при дуговому наплавленні дротом під флюсом дозволить збільшити ширину та висоту валика на 28...34% та 20...26% відповідно, що

дозволить підвищити продуктивність процесу наплавлення та зменшити глибину проплавлення до 30%, що дозволить зменшити витрати на наплавні матеріали.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыжов Р.Н. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавке (обзор) / Р.Н.Рыжов, В.Д.Кузнецов // Автоматическая сварка. – 2006. – № 10. – С.36-44.
2. Размышляев А.Д. Влияние продольного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при электродуговой наплавке под флюсом / А.Д.Размышляев, А.А.Дели, М.В.Миронова // Автоматическая сварка. – 2007. – № 6. – С.31-35.
3. Носов Д.Г. К вопросу о повышении производительности дуговой наплавки посредством внешнего электромагнитного воздействия / Д.Г.Носов, Л.Алехина // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: VII Всероссийская науч.-практ. конф. с международным участием, 26-29 мая 2009 г.: сб. трудов. – Юрга, 2009. – С.21-25.
4. Рыжов Р.Н. Применение комбинированных электромагнитных воздействий для улучшения качества швов при сварке / Рыжов Р.Н. // Автоматическая сварка. – 2005 – №7. – С.159-161.
5. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М.Болдырев, Ю.С.Ткаченко, Н.П.Толоконников [и др.] // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С.70-71.
6. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / Спиридонов А.А. – М.: Машиностроение, 1981. – 184с.

Надійшла до редколегії 30.11.2012.

УДК 621.791

ЧИНАХОВ Д.А., к.т.н., доцент
ЗУЕВ А.В., аспирант

Юргинский технологический институт
Национального исследовательского Томского политехнического университета
г. Юрга, Россия

ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ СТРУИ ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА ПЕРЕНОС КАПЕЛЬ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Введение. Сварочные процессы быстро протекают по сложным физико-химическим законам при высокой температуре. Совокупность различных факторов и явлений определяет качество сварных соединений. Особенно сильно это влияние сказывается при сварке сталей, склонных к закалке. Формирование структуры и фазового состояния металла зависит от его химического состава и условий теплового воздействия, зависящих при прочих равных условиях от режима и условий сварки [1-12]. Основная роль при формировании свойств сварных соединений отводится процессам, протекающим в капле расплавленного электродного металла и в металле сварочной ванны [1, 2, 3, 13].

Постановка задачи. Перенос электродного металла зависит от различных факторов в зоне варки. Известно [1, 3, 11], что при сварке в защитных газах с традиционной одноструйной защитой на каплю электродного металла действуют следующие ос-