

УДК 621.326

Тарас Майданчук, к.т.н, старший дослідник; Анатолій Бондаренко^a, Євгенія Лук'яненко^a, Сергій Мариненко^b, Дмитро Степченко^a

^aІнститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, Україна

^bТернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ЗВАРЮВАННЯ ТОНКОЛИСТОВОЇ СТАЛІ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ВПЛИВОМ НА ЗВАРЮВАЛЬНУ ВАННУ

В проведених дослідженнях визначено вплив електромагнітного поля на зварювальну дугу та поведінка розплаву зварювальної ванни при накладанні полів різних типів та конфігурацій в діапазоні частот від 0 до 1 кГц. З метою визначення кореляції параметрів зовнішнього магнітного поля з власними коливаннями зварювальної ванни розроблена методика реєстрації останніх та досліджено їх спектр. Визначені оптимальні режими зварювання та параметри керуючого магнітного поля при зварюванні з впливом на зварювальну ванну пульсуючого поздовжнього реверсивного електромагнітного поля. Оцінка якості швів, виконаних розробленою технологією показала суттєві переваги порівняно зі звичайним аргонодуговим зварюванням при неprecизійній збірці зварюваних конструкцій.

Ключові слова: зварювання, коливання, магнітне поле, індукція, постійні, перемінні, пульсуючі, реверсні електромагнітні поля, резонансні частоти, збірка стика

Taras Maydanchuk^a, Anatolii Bondarenko^a, Yevheniia Lukianchenko^a, Sergiy Marynenko^b, Dmytro Stepchenko^a

^aE.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

^bTernopil Ivan Pului National Technical University, Ukraine

WELDING OF THIN-SHEET STEEL WITH ELECTROMAGNETIC INFLUENCE ON THE WELD POOL

The influence of electromagnetic influence on the welding arc and the behavior of the weld pool melt, optimal welding modes and parameters of the control magnetic field when applying fields of various types and configurations have been determined.

Key words: welding, oscillations, magnetic field, induction, electromagnetic fields

Для зварювання металів малих товщин (0,2...2 мм) широке розповсюдження знайшов спосіб аргонодугового зварювання неплавким електродом. Обладнання для цього процесу легко адаптується для роботи у складі механізованих та автоматизованих ліній. Проте для отримання якісних зварних з'єднань, особливо при автоматичному зварюванні, до збирання стику та підготовки кромки пред'являють високі вимоги, виконання яких досить утруднено, особливо при зварюванні швів великої протяжності та швів, де утруднений візуальний контроль за якістю збирання стику.

Одним із способів підвищення якості зварного шва, що знайшов широке застосування, є вплив на зварювальну дугу та метал зварювальної ванни зовнішніми магнітними полями [1]. Це дозволяє регулювати процеси як в самій зварювальній дузі, так і в рідкому металі зварювальної ванни, що дає можливість управляти кристалізацією зварювальної ванни і формуванням шва.

Головною особливістю дугового зварювання є те, що в ділянці активного технологічного процесу речовина присутня у вигляді слабоіонізованої плазми, газу, рідини та твердого тіла. У кожному з цих станів відбуваються коливальні процеси [2, 3], що характеризуються певними частотами. Причому діапазон частот дуже великий: від

плазмових коливань в районі сотень МГц до акустичних хвиль у сотні кГц, що виникають при утворенні та зникненні бульбашок газу, а також мікротріщин при кристалізації та інфранизьких частот коливань ванни розплаву.

Наявність коливальних процесів в зварювальній ванні та їх роль в процесі формування шва зумовила доцільність вивчення впливу зовнішніх джерел коливань на метал зварювальної ванни з метою управління якістю зварних швів.

Аналіз літературних даних показав, що практично немає досліджень по магнітному управлінню зварювальним процесом при зварюванні металу товщиною до 2 мм. Крім того, мало вивчено вплив магнітних полів різних конфігурацій на формування і структуру зварних швів, які отримують за допомогою малоамперних дуг в широкому діапазоні частот, починаючи з інфранизьких – менше 1 Гц, і до 1 кГц, а також дані і щодо впливу на зварювальну ванну магнітних полів з частотами близькими до частот власних коливань зварювальної ванни.

Метою даної роботи є дослідження поведінки зварювальної ванни при впливі на дугу та рідкий метал магнітних полів різної конфігурації; визначення оптимальних умов управління якістю швів з допомогою магнітного поля при автоматичному аргонодуговому зварюванні; виявлення роздільних і сукупних умов отримання якісних зварних з'єднань при непрецизійному збиранні зварюваних крайок.

Методика досліджень. Зварювання виконувалось струмом прямої полярності від джерела ВСВУ-315 неплавким вольфрамовим електродом Ø 3 мм заточеним на конус у 60° і притуплення 0,5 мм. Довжина дуги у всіх експериментах залишалась постійною – 1,5 мм, що відповідало напрузі 9 В. В якості зварюваного металу використовували зразки зі сталей 08КП та Х18Н9Т товщиною 0,8 і 2 мм. Магнітне поле в зоні зварювання створювалось магнітною лінзою соленоїдального типу, змонтованого на соплі пальника. Керуючий сигнал створювався генератором-синхронізатором функцій, завдяки якому, вводяться необхідні параметри через його програмний пристрій, можна отримувати в зоні зварювання магнітні поля різних типів.

Виконувались зварні шви стикових з'єднань в нижньому положенні на графітовій підкладці та на весу, горизонтальні шви на вертикальній площині – стикові та по відбортовці. При зварюванні кожного типу зварного з'єднання вимірювались частота та амплітуда власних коливань зварювальної ванни і відповідно до цих значень задавалась частота зовнішнього магнітного поля. Застосовувались реверсивні пульсуючі магнітні поля з віссю симетрії при нульовому значенні (В). Частота реверсування при цьому задавалась тривалістю групи імпульсів в позитивній та негативній областях магнітної індукції. Кількість імпульсів в групі залишалась постійною – рівною п'яти. Конфігурація магнітного поля зумовлена найбільшою стабільністю зварювальної дуги, яка визначалась осцилографуванням значень зварювального струму та напруги на дузі. Величина магнітної індукції змінювалась від 0 до ± 15 мТл. Результати вимірів параметрів власних коливань зварювальної ванни досліджуваних товщин металів і типів зварних з'єднань наведені в таблиці 1.

Отримані результати. При зварюванні тонколистового металу для отримання якісних швів необхідно суворо витримувати співвідношення в режимах особливо при наявності неточностей в зборці стику. Підбором режимі зварювання усунути дефекти, що з'являються, вдається не завжди. Використання технології магнітокерованого аргонодугового зварювання має суттєві переваги. Накладання пульсуючих магнітних полів в резонансному із власними коливаннями ванни діапазоні частот дозволяє підвищити стабільність якості швів навіть при значних неточностях збірки крайок.

Використання магнітного поля дозволяє отримувати стабільну якість зварних швів при збільшенні зазору, більше ніж у 4...8 раз (в залежності від товщини металу). Встановлено також, що переважання крайок може складати до 20% від товщини металу

без втрати якості зварного з'єднання, що переважає допустиме при звичайному зварюванні у 2...3 рази. Величини допустимого відхилення дуги також зростає в 2...3 рази і складає 1,5...2...0 товщини крайок. Також слід зазначити, що інтенсивний рух рідкого металу, який виникає при електромагнітному впливі на ванну, достатньо впливав на її дегазацію і отримання щільних швів. Дефекти у вигляді пор були відсутні на всіх досліджуваних зразках при зварюванні з електромагнітним впливом. В той самий час при зварюванні звичайною дугою, особливо при зварюванні по відбортовці, час від часу візуально спостерігались дефекти у вигляді раковин та свищів. Подрібнення структури шва сприяло також і відсутності тріщин.

Таблиця 1

Тип зварного з'єднання		Товщина зварюваного металу, мм	Частота, Гц	Амплітуда, mV
В нижньому положенні	стикове на весу	0,8	75...80	130...140
		2,0	55...60	100...110
	на підкладці	0,8	110...120	80...90
		2,0	85...90	65...70
Горизонтальне на вертикальній площині	стикове на весу	2,0	45...50	110...120
	по відбортовці	0,8	90...100	75...80
		2,0	70...85	55...60

Примітка: зварювання виконувалось при ретельному збиранні стику по зачищеним та обезжиреним крайкам. $I_{д. - const} = 2$ мм для:

- $\delta = 0,8$ мм, $I_{зв.} = 40...50$ А, $V_{зв.} = 30...35$ м/год;
- $\delta = 2,0$ мм, $I_{зв.} = 80...100$ А, $V_{зв.} = 20...25$ м/год.

Застосування магнітних полів розширює можливість управління рухом рідкого металу при зварюванні на весу, особливо при виконанні швів на горизонтальній площині. Тобто підбором режиму зварювання можна отримати шви аналогічні виконаним на підкладці (без посилення). Таким чином характерною відмінністю зварювання з електромагнітним впливом від звичайного аргонодугового зварювання є те, що цим способом можна отримати необхідну форму шва, управляючи рухом зварювальної ванни, підібравши відповідний характер магнітного поля

Суттєвою перевагою даної технології є і те, що використання резонансного впливу на зварювальну ванну дозволяє використовувати магнітні поля з малою величиною магнітної індукції. При зварюванні товщин до 2,0 мм достатньо магнітного поля з індукцією не більше 0,15 Тл, що дозволяє впливати на розплав електромагнітами невеликої потужності і габаритів, які можуть бути легко скомпоновані з серійними пальниками для аргонодугового зварювання.

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Зварювання з електромагнітним впливом є процесом більш гнучким у порівнянні зі звичайним аргонодуговим зварюванням.

2. Вивчення особливостей формування шва під впливом магнітних полів показало можливість управління формування зварного шва при зварюванні різних типів з'єднань в різних просторових положеннях.
3. При зварюванні з електромагнітним впливом реверсивного пульсуючого магнітного поля на резонансних частотах, встановлено, що оптимальне значення магнітної індукції знаходиться в зворотньопропорційній залежності від зварювального струму і прямопропорційній від швидкості зварювання.
4. Оптимізація режимів зварювання і параметрів управляючого магнітного поля при зварюванні з електромагнітним впливом дозволили суттєво знизити вимоги до точності збирання стиків без порушення якості зварних швів. Були встановлені діапазони режимів зварювання і максимально допустимі відхилення в зборці стику при виконанні зварних швів без електромагнітного впливу, що забезпечують отримання бездефектних зварних швів.
5. Можливість зниження вимог до збирання стиків, чистоті зварюваних крайок у сукупності з простотою використовуваного обладнання визначає доцільність використання цього способу зварювання в різних областях машинобудування.

Перелік посилань

1. Juanyan Miao, Yiwen Li, Siyu Zhang, Honglei Zhao, Wenfeng Zou, Chenhe Chang and Yunlong Chang. Magnetic controlled arc welding technology: a review // Rapid Prototyping Journal. – 2024. – **30 (9)**. – P. 1929-1955.
2. Черныш В.П., Кузнецов В.Д., Брисман А.Н. и др. Сварка с электромагнитным перемешиванием. Под ред. В.П. Черныш. Киев; Техника, 1983. 127с.
3. Демьянцевич В.П., Матюхин В.И. Особенности движения жидкого металла в сварочной ванне при сварке неплавящимся электродом // Сварочное производство. – 1979. – 3. – С. 1-3.