DOI: 10.59647/978-617-520-936-3/1

Двумірний статистичний аналіз електричних параметрів процесу шовного контактного електрозварювання

Дмитро Боровик, студент [1] (ORCID: 0009-0002-9066-7505), **Ілля Панько,** студент [1] (ORCID: 0009-0003-5023-3347), **Ольга Остапущенко,** к.т.н., доцент[1] (ORCID: 0000-0001-8114-349X), **Ігор Кравченко,** асистент[1] (ORCID: 0000-0001-7077-1546)

[1] *Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037*

АНОТАЦІЯ

Представлено результати дослідження електричного шовного контактного зварювання з метою побудови такої математичної моделі процесу, яка б забезпечила стабільну якість зварного з'єднання будівельних виробів. Проаналізовані основні електричні параметри процесу, виявлені їх взаємодії при електрозварюванні. Зазначені сукупності контрольованих і неконтрольованих параметрів, які впливають на формування показника якості зварного з'єднання діаметр литого ядра.

Ключові слова: шовне контактне електрозварювання, електричні і неелектричні параметри, лите ядро, критерій якості.

1. ВСТУП

Технологічний процес електричного шовного електро зварювання на підприємствах по виготовленню будівельних виробів і конструкцій є типовим об'єктом автоматизації. Основне завдання управління процесом при цьому полягає в підтриманні на оптимальному рівні величини діаметра литого ядра, який вважається показником якості зварювання [1], оскільки як зменшення цього показника, так і його перевищення призводить до технологічного браку. Безпосередньо цей параметр не піддається вимірюванню, тому його визначають опосередковано − по математичній моделі процесу, в котрій враховані всі основні чинники, що впливають на формування литого ядра.

2. МЕТА РОБОТИ

Дослідження процесу шовного контактного електрозварювання показало, що всі фактори впливу на формування литого ядра можна поділити на дві групи: неелектричні (сила стиску, ширина робочої поверхні електродів, швидкість пересування металевої стрічки) і електричні [2]. Виявлення серед останніх тих, що мають найбільший вплив на формування якісного з'єднання шляхом побудови двомірних статистичних моделей і є метою даної роботи.

3. ВИЯВЛЕННЯ ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ШОВНОГО КОНТАКТНОГО ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ

Герметичний зварний шов утворюється в результаті формування так званих литих ядер, що накладаються одне на одне при переміщенні металевої стрічки в процесі зварювання. Самі ядра виникають в результаті складної взаємодії електричних, теплових і механічних процесів. Математичний опис створення шву має з достатньої точністю відображати закономірності, притаманні фізиці процесу, тобто мати задану ступінь ізоморфності по відношенню до об'єкту, що розглядається. Основним шляхом підвищення ізоморфності є зменшення долі невизначеності за рахунок включення в модель якнайбільшої кількості електричних параметрів, тому що саме вони і формують литі зварні ядра. Однак досвід показує, що не завжди збільшення кількості вхідних величин призводить до підвищення точності математичного опису, особливо коли мова йде про реальний виробничий процес. Тому доцільно зробити якісний аналіз взаємозв'язків між електричними параметрами та впливу кожного з них на формування литого ядра з метою їх використання в математичній моделі процесу.

Попередній аналіз технологічного процесу в умовах виробництва дозволив виділити електричні параметри, що здійснюють найбільший вплив на величину литого ядра: напруга мережі живлення, опір зварного контуру і міжелектродний опір, міжелектродна напруга і зварювальний струм.

4. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ НА ФОРМУВАННЯ ЛИТОГО ЯДРА

4.1. Напруга мережі живлення

Коли в приміщенні працюють декілька зварювальних машин, то при ввімкненні будь-якої напруга живлення на інших знижується, особливо, якщо всі вони працюють на одній фазі. Машини відносяться до споживачів, для яких відхилення напруги можливе (згідно з Державним стандартом України) до 5% від номінальної. Але на практиці ці відхилення можуть складати до 20%.

4.2. Опір зварювального контуру і міжелектродний опір

Опір зварювального контуру є паспортним параметром зварювальної машини, оскільки впливає на величину струму зварювання. В процесі технологічного обслуговування машини перевіряються на відповідність $z_{2k} \leq 25$ мкОм ($z_{2к}$ − повний опір машини в процесі зварювання, який приведений до вторинної обмотки трансформатора в режимі короткого замикання). В умовах виробництва ця перевірка має низьку точність. Однак цей параметр має принципове значення, - за його величиною будують навантажувальну характеристику. Точка перетинання її зі спадом напруги на деталі, що зварюється, і дозволяє визначити зварювальний струм для заданого опору в конкретному випадку. Практика експлуатації зварювальних машин показала, що опір зварювального контуру в реалії залежить від багатьох

факторів: механічний стан контуру; температура контакту; наявність мастила в контакті; натискне зусилля пружин у вузлах та ін.

Важливою характеристикою зони зварювання є міжелектродний опір R_{ee}, оскільки саме він впливає на умови нагріву метала і температурне поле. R_{ee} складається з опорів власне деталей R_{∂} і контактних опорів $R_{e\partial}$ і залежить від властивостей і товщини метала, розмірів з'єднання та обраного режиму роботи. Наявність рухомого контакту електрод-деталь практично не впливає на величину R_{ee}, яка в процесі формування литої зони має спадаючий характер.

Дослідження залежності $R_{ee} = f(t)$, де t − час напрацювання електроду, довели, що в перші півгодини R_{ee} зростає на 12-14% і далі стабілізується на період від 3 до 4 годин в залежності від режиму зварювання.

Таким чином, якщо параметр R_{∂} підтримується постійним при технічному обслуговуванні, то R_{ee} необхідно контролювати впродовж процесу зварювання.

4.3. Міжелектродна напруга

Для отримання зварного з'єднання стабільної якості необхідний узагальнюючий параметр, який прямо або опосередковано був би пов'язаний зі зміненням литої зони при зварюванні. Одним із таких є температура ядра і його окола. Однак скористатися ним технічно неможливо. Тому застосуємо непряму характеристику − міжелектродну напругу U_{ee}. Саме вона пов'язана з міжелектродним опором R_{ee}, який при інших рівних умовах є функцією температури. Експерименти, наведені в [3], показали, що при зварюванні міжелектродна напруга зменшується, причому залежність має нелінійний характер.

При збуреннях (підвищенні сили стиску, збільшенні опору електродів, шунтуванні, зниженні струму зварювання), які зменшують литу зону, міжелектродна напруга також змінюється в порівнянні з U_{ee} при зварюванні в номінальному режимі. При зниженні сили стиску і збільшенні струму (лита зона при цьому збільшується) міжелектродна напруга підвищується. Отже, існує залежність між розмірами литої зони і величиною міжелектродної напруги, що є складною функцією змінень U_{ee} і $I_{зв}$ (зварювального струму).

В подальшому планується дослідити сумісні змінення R_{ee} і U_{ee}, а також U_{ee} і $I_{зв}$.

Можна зробити висновок, що якщо U_{ee} змінюється в тому ж напрямку, як і розміри литої зони, то змінення R_{ee} не завжди пов'язане з напрямком її змінення. Отже, величина U_{ee} може слугувати параметром контролю розмірів зварної зони з'єднання в процесі зварювання і має бути представлена в математичній моделі.

4.4. Зварювальний струм

Найбільш важливим електричним параметром контактного зварювання є величина струму. При контактному зварюванні розплавлення металу відбувається за рахунок теплової дії струму, який протікає через деталі в зоні зварювання. Значення $I_{зв}$ і його змінення в процесі зварювання можна визначити за допомогою зовнішньої характеристики машини $U_2 = f(I_2)$. Перетинання кривою осі абсцис відповідає режиму короткого замикання ($R_{ee} = 0$), а перетинання з віссю ординат − режиму холостого ходу ($R_{ee} = \infty$). Перетинання промінів, що відповідають різним значенням R_{ee}, з кривою дають величину $I_{зв}$ для метала заданої товщини.

Отже, саме струм зварювання має бути керуючим параметром процесу зварювання, оскільки:

- теплова дія струму призводить до розплавлення металу з утворенням в подальшому литого ядра,
- зварювальний струм має прямий зв'язок з іншими електричними параметрами, тому, змінюючи струм, можна змінити в необхідному напрямку міжелектродну напругу при незмінному опорі «електрод-електрод»;
- струм зварювання легко піддається корекції впродовж технологічного процесу.

Для визначення характеру впливу кожного із цих параметрів на величину литого ядра проводився двомірний статистичний аналіз по результатах експериментальних зварювань, наведених в [3]. Двомірний аналіз надав можливість визначити порядок залежності $d_я = f(p_i)$, де p_i − параметри процесу, і порівняти її з експериментальною. Аналізувалися двомірні моделі вигляду:

$y = b_0 + b_1 x$ − лінійні; $y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$ − нелінійні.

В якості критерію переходу до залежності більш високого порядку приймалось значення (за критерієм Фішера) зменшення залишкової дисперсії на рівні $q = 0,05$.

5. ВИСНОВКИ

1.На формування литого ядра − показника якості зварного з'єднання − впливають як неелектричні, так і електричні параметри процесу.

2.Аналіз експериментальної інформації показав, що з множини електричних факторів зварювання найбільший вплив на результат виявляють U_{ee}, R_{ee} і $I_{зв}$.

3.Двумірний статистичний аналіз показав, що математична модель процесу має бути нелінійною.

Список літератури

[1] Контроль якості зварювання. Неруйнівні методи контролю / Камель Г.І. та ін. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 244 с.

[2] Технологія та обладнання електричного контактного зварювання: навч. посіб. / Биковський Д.М. та ін. Київ: Техніка, 2001. 240 с.

[3] Соловьев А.А. Устройство управления качеством сварки стальных отопительных радиаторов: дис. канд. техн. наук. Киев, 1995. 172 с.