

УДК 621.791.763

Р.М. Ришов, П.Ю. Сидоренко, С.О. Нестуля, В.В. Кочубей

## ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ДІЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КРИСТАЛІЗАЦІЇ З'ЄДНАНЬ ПРИ ТОЧКОВОМУ КОНТАКТНОМУ ЗВАРЮВАННІ

Results of external influenced impulsive electromagnetic affect research to crystallization joint process with construct and stainless steel, and dissimilar material joints for spot welding are researched. Changes in different weld spot structures are shown. The samples obtained using design mode of spot welding with the impulsive electromagnetic affects, were compared and an increasing in the dispersity structure by twice times was indentified, but the dendrite width was decreased. Impulsive electromagnetic affect influence on weld line length is studied. This is one of the factors to increase welding joint strength for spot welding. The efficiency of the use of electromagnetic affect for different steel types of welding and dissimilar joints are estimated. More symmetric weld spot form in welding joints of dissimilar materials with the impulsive electromagnetic affects are observed. The symmetry of form compounds indicates an intensification of the hydrodynamic movement of the melt. The result is an averaging of thermal properties.

**Keywords:** spot welding, pulsed electromagnetic affect, crystallization, strength of welded joints

### Вступ

У багатьох галузях промислового виробництва для зменшення маси виробів і, відповідно, їх собівартості металеві складові конструкцій виготовляють із тонколистових сталей та сплавів. При цьому на етапі створення заготовок існує можливість широкого застосування штампувальних операцій, що сприяє забезпеченню заданої точності їх виготовлення й істотно підвищує продуктивність виробництва. До того ж завдяки наданню елементам конструкцій розвиненої просторової форми збільшується їх жорсткість. Особливістю зазначених виробництв є широке застосування в процесі складання окремих вузлів точкового контактного зварювання (ТКЗ) [1].

При ТКЗ параметри режиму призначають з урахуванням хімічного складу зварюваних матеріалів і геометричних характеристик з'єднань. Однак показники їх якості значною мірою залежать і від коливань живлячої напруги та тиску в пневмережі [2]. Стабілізація зазначених параметрів в умовах виробництва часто неможлива. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є застосування зовнішніх електромагнітних дій (ЕМД) [3, 4].

Проведені в останні роки серії експериментальних досліджень дають змогу стверджувати, що перемішування в процесі ТКЗ за допомогою ЕМД розплаву з'єднань супроводжується зменшенням рівня їх мікронеоднорідності, позитивними змінами в мікроструктурі й істотним покращенням параметрів формування ядра [5]. Такі імпульсні дії було реалізовано за допомогою низькочастотних керуючих магнітних полів, які генерували в робочій зоні

за допомогою чотириполюсної електромагнітної системи. Однак з урахуванням того, що швидкість зміни температур при ТКЗ може досягати 3000 °C/c, технологічні можливості розробленої технології не є вичерпаними. Задля подальшого поліпшення якості з'єднань необхідне застосування високочастотних керуючих магнітних полів (КМП).

### Постановка задачі

Метою роботи є експериментальне дослідження впливу електромагнітних дій на основі імпульсних керуючих магнітних полів на кристалізацію з'єднань при точковому контактному зварюванні.

### Методика експериментальних досліджень

При ТКЗ імпульсні ЕМД ґрунтуються на переміщеннях розплаву в замкненому об'ємі ядра з'єднання силами, що виникають при взаємодії вихрових струмів, наведених у робочій зоні імпульсним КМП, з магнітним полем індуктора 4 (рис. 1), розмішеного на бічній поверхні нижнього електрода 5 зварювальної машини. Таке розміщення індуктора не перешкоджає візуальному спостереженню зварювальника за ходом процесу зварювання.

Для створення в котушці індуктора імпульсів струму  $I_n$  заданої частоти використано прилад, розроблений для умов дугового зварювання [4]. Його особливістю є те, що задля забезпечення максимально крутого переднього фронту імпульсів і, відповідно, збільшення величини вихрових струмів у коло живлення індуктора було ввімкнено накопичувач енергії, створе-

ний на основі високовольтних конденсаторів. Слід зазначити, що особливістю використаних ЕМД є те, що електромагнітні сили  $F_e$ , які переміщують розплав, виникають не тільки впродовж часового інтервалу проходження зварювального струму  $I_{зв}$  через зразки 2 і 3, а й при подальшій кристалізації з'єднання.

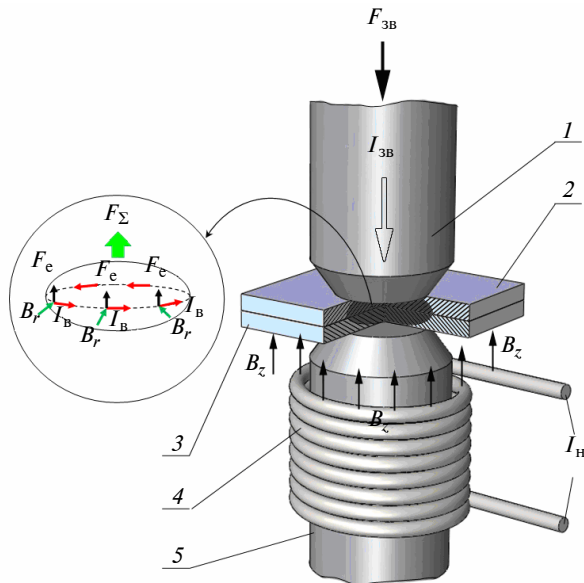


Рис. 1. Фізична модель створення електромагнітної сили при застосуванні імпульсних КМП: 1, 5 – електроди; 2, 3 – зварювальні деталі; 4 – індуктор

У процесі проведення експериментальних досліджень створювали з'єднання із низьковуглецевої сталі Ст3 товщиною 1 мм, нержавіючої сталі Х18Н10Т товщиною 1 мм і різномірні з'єднання із зазначених матеріалів. Через значні відмінності хімічного складу даних сталей і, відповідно, їх фізичних властивостей задля запобігання виплескам розплаву зварювальний струм змінювали в межах 7–10 кА.

Шліфи для проведення металографічних досліджень виготовляли за рекомендаціями стандартних методик з використанням алмазних паст різної дисперсності. Для виявлення мікроструктур попередньо відполіровані зразки із низьковуглецевої сталі Ст3 піддавали хімічному травленню в 4%-ному розчині азотної кислоти в спирту. Зразки із нержавіючої сталі Х18Н10Т піддавали електрохімічному травленню в 20%-ному розчині сірчанокислого амонію при напрузі 12 В упродовж 15 с. Зразки із різномірних матеріалів піддавали комбінованому травленню.

Металографічні дослідження проводили з використанням мікроскопа Neofot-32 за різних режимів збільшення. Цифрове зображення мікроструктур отримували за допомогою фотокамери Olympus C5050. Твердість вимірювали на мікротвердомірі М-400 фірми Лесо при навантаженні 10 Н.

### Результати досліджень

На всіх досліджуваних зразках кристалізація розплаву відбувається у напрямку від поверхонь ядер до їх середини. Унаслідок цього вони мають стовбчасті дендритні структури. В центральній частині ядер по лінії сплавлення зафіксовано повне змикання дендритів. Слід зазначити, що зразки із низьковуглецевої сталі Ст3 характеризуються ломаною конфігурацією лінії сплавлення, перпендикулярної відносно напрямку зростання дендритів. У периферійній зоні зварних точок виявлено оксидні включення. При порівнянні зразків, отриманих точковим контактним зварюванням у штатному режимі і з використанням імпульсних ЕМД з частотою 100 Гц, зафіксовано підвищення дисперсності структури. До того ж ширина дендритів зменшується з 35–40 до 15–20 мкм, тобто практично у 2 рази. Застосування досліджуваних імпульсних дій зумовлювало деяке збільшення твердості металу з 3220–3360 до 3510–3540 МПа. Виходячи із зовнішнього вигляду структур і твердості, можна зробити висновок, що в цьому випадку мікроструктура металу ядра являє собою бейніт і тонкодисперсний перліт, розміщений на границях кристалітів. В обох випадках у зоні термічного впливу на периферії з'єднань формується мартенситна структура, яка має твердість 4010–4050 МПа.

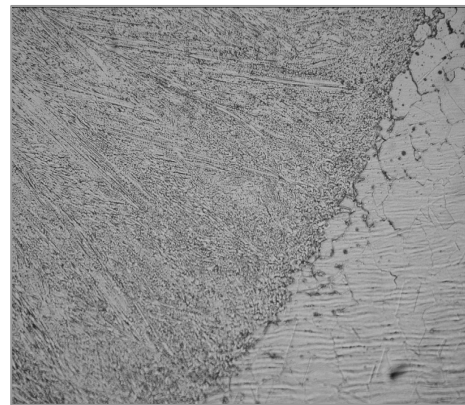
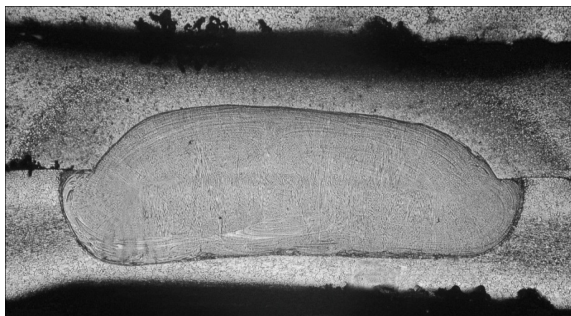


Рис. 2. Мікроструктура зразка зі сталі Х18Н10Т при зварюванні з імпульсними ЕМД

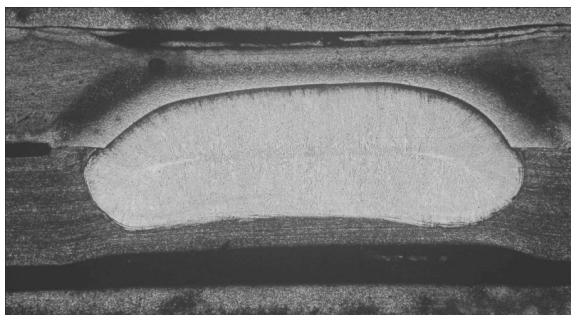
Мікроструктура зразків із нержавіючої сталі X18H10T, отриманих точковим контактним зварюванням з імпульсними ЕМД, являє собою аустеніт з виділенням  $\delta$ -фериту на границях кристалітів (рис. 2).

У периферійній зоні ядер з'єднань зафіксована наявність дрібнодисперсної структури шириною 40–120 мкм. У цьому випадку твердість металу змінюється в діапазоні 2060–2360 МПа, а відстань між дендритними гілками – 5–7 мкм. Це мінімальний параметр для всіх досліджених зразків. Слід зазначити, що на периферії литої зони спостерігаються частково оплавлені зерна аустеніту.

На рис. 3 наведено структури з'єднань із різномірних матеріалів (Ст3 і X18H10T). Виявлено, що в цьому випадку центральна частина ядер має твердість 3660 МПа.



а



б

Рис. 3. Поперечні макрошліфи з'єднань із різномірних матеріалів Ст3 і X18H10T: а – зварювання за штатною технологією, б – зварювання з імпульсними ЕМД

При зварюванні за штатною технологією у з'єднаннях збоку нержавіючої сталі зафіксовано затікання основного металу і мікротріщини

в периферійній зоні на лінії сплавлення. Збоку низьковуглецевої сталі на периферії ядра утворюється мартенситна структура з твердістю 4010 МПа.

При зварюванні з імпульсними ЕМД спостерігається більш симетрична форма ядер. До того ж зафіксовано відсутність ступеневого переходу від Ст3 до X18H10T на периферії ядра зварного з'єднання. Зазначений негативний ефект відбувається через відмінність теплофізичних властивостей зварюваних матеріалів і спостерігається у більшості випадків при ТКЗ різномірних матеріалів за традиційними технологіями. Ступеневий перехід являє собою концентратор напружень, наявність якого істотно знижує механічні властивості зварних з'єднань. Симетричність форми з'єднань, отриманих при застосуванні імпульсних ЕМД, свідчить про інтенсифікацію гідродинамічних переміщень розплаву, його перемішування і, як наслідок, усереднення теплофізичних властивостей. Цим і пояснюється отриманий позитивний ефект. Крім того, спостерігається збільшення до 5 % довжини лінії сплавлення, що також є одним із чинників підвищення міцності зварних з'єднань.

Таким чином, застосування імпульсних електромагнітних дій при точковому зварюванні позитивно впливає на процеси кристалізації та параметри міцності зварних з'єднань.

### Висновки

Застосування імпульсних електромагнітних дій є ефективним способом впливу на процеси кристалізації з'єднань при точковому контактному зварюванні широкого класу матеріалів.

Різнорідні з'єднання зі сталей Ст3 і X18H10T, отриманих зварюванням з імпульсними ЕМД, характеризуються більшою довжиною лінії сплавлення, збільшенням твердості металу та симетричною формою ядер без характерних ступеневих переходів у периферійній зоні ядра.

Подальші роботи доцільно вести в напрямі визначення ступеня впливу імпульсних електромагнітних дій при точковому контактному зварюванні алюмінієвих сплавів.

**Список літератури**

1. *V.H. López-Cortéz and F.A. Reyes-Valdés*, “Understanding Resistance Spot Welding of Advanced High-Strength Steels”, *Welding J.*, vol. 78, pp. 36–40, 2008.
2. *A. Aravinthan and C. Nachimani*, “Analysis of Spot Weld Growth on Mild and Stainless Steel”, *Ibid*, vol. 90, pp. 143s–147s, 2011.
3. *Y.B. Li et al.*, “Magnetically Assisted Resistance Spot Welding of Dual-Phase Steel”, *Ibid*, vol. 92, pp. 124s–132s, 2013.
4. *Попов В.А.* Влияние магнитного поля на формирование соединения при контактной точечной сварке // Сварочное производство. – 1992. – № 10. – С. 28–29.
5. *Рижов Р.М., Кочубей В.В, Сидоренко П.Ю.* Визначення механічних властивостей зварних з’єднань, виконаних точковим контактним зварюванням із застосуванням зовнішніх електромагнітних дій // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2014. – № 1. – С. 58–63.

Рекомендована Радою  
зварювального факультету  
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції  
28 січня 2014 року