

УДК 621.791.763

Рижов Р. М., Сидоренко П. Ю., Нестуля С. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Україна, м. Київ

## ОСОБЛИВОСТИ ФОРМУВАННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЇ З'ЄДНАНЬ ПРИ ТОЧКОВОМУ КОНТАКТНОМУ ЗВАРЮВАННІ З ІМПУЛЬСНИМИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ ДІЯМИ

*Наведено результати досліджень впливу зовнішніх електромагнітних дій на процеси кристалізації зварних з'єднань з алюмінієвих сплавів при точковому контактному зварюванні. Досліджені зміни в структурі різних зон зварної точки. При порівнянні зразків, отриманих точковим контактним зварюванням на штатному режимі і з використанням імпульсних ЕМД зафіксовано підвищення дисперсності структури із зменшенням ширини дендритів практично у 2 рази. Досліджено вплив імпульсних ЕМД на довжину лінії сплавлення, що є одним з чинників збільшення міцності зварних з'єднань при точковому контактному зварюванні. Встановлено, що застосування імпульсних ЕМД при точковому контактному зварюванні дозволяє комплексно покращувати показники якості з'єднань. При цьому збільшення частоти КМП призводить до зростання інтенсивності переміщення потоків розплаву.*

*Ключові слова:* точкове зварювання; імпульсні електромагнітні дії; кристалізація; міцність зварних з'єднань.

### Вступ

Точкове контактне зварювання (ТКЗ) є ефективним та продуктивним способом з'єднання тонколистових елементів конструкцій. Його широко застосовують у автомобілебудуванні, приладобудуванні, на підприємствах, що виготовляють побутову техніку, тощо. Через швидкоплинність даного технологічного процесу, показники якості зварних з'єднань істотно залежать від багатьох факторів, таких як стан зварюваних поверхонь, нестационарні зміни енергетичних параметрів режиму зварювання. Це спричи-

няє виникнення проблем, пов'язаних із стабілізацією як геометричних параметрів ядра зварної точки, так і механічних властивостей з'єднань, які, у свою чергу, визначаються процесом їх кристалізації.

Відомо, що застосування зовнішніх електромагнітних дій (ЕМД) при ТКЗ є ефективним способом керування формуванням і кристалізацією з'єднань. Так при генеруванні в робочій зоні поперечного зустрічно-симетричного магнітного поля у розплаві виникають сили, що його обертають вздовж всієї бічної поверхні ядра з'єднання. У наслідок цього відбуваються позитивні

зміни геометричних параметрів зварних точок, зокрема, збільшується її діаметр [1]. Також зафіксовано істотне подрібнення елементів структур литої зони [2].

Для керування при ТКЗ показниками якості з'єднань також застосовують і імпульсні електромагнітні дії (ІЕМД). Їх відмінністю від зазначених вище є більша частота імпульсів магнітного поля, які створюються розрядженням через індуктор високовольтних конденсаторів. В процесі пошукових досліджень зафіксовано деяке поліпшення показників якості з'єднань із конструкційних і нержавіючих сталей [3]. Однак технологічні можливості даного способу зварювання не є вичерпаними. Його реалізація з використанням новітніх пристроїв керування електромагнітними діями дозволяє досягати більш вагомих результатів.

### Постановка задачі

Ефективність використання ІЕМД при зварюванні значною мірою залежить від амплітудних, векторних і частотних характеристик застосованих керуючих магнітних полів (КМП). При реалізації низькочастотних ЕМД керування гідродинамічними процесами у розплаві точки відбуваються тільки в період протікання зварювального струму. Однак процес кристалізації починається

по його закінченню. Для реалізації ІЕМД взаємодія КМП із зварювальним струмом не потрібна. Силовий вплив на розплав ядра відбувається в продовж всього циклу зварювання. З урахування того, що формування та кристалізації з'єднань в умовах ТКЗ є швидкоплинними, частота КМП повинна бути підвищеною.

Виходячи із зазначеного, метою даної роботи є встановлення взаємозв'язків частотних характеристик ІЕМД з показниками якості зварних з'єднань.

### Методика проведення досліджень

Для генерування в зоні зварювання імпульсного керуючого магнітного поля достатньої напруженості через котушку намагнічування індуктора пропускали імпульси струму ( $I_n$ ) заданої амплітуди з максимально крутим переднім фронтом, які створюються спеціалізованим генератором [4]. Його використання дозволяє максимально збільшувати силовий вплив на об'єкт керування. Джерело живлення заряджає робочу ємкість, яка після накоплення необхідної енергії за допомогою комутуючого пристрою розряджається на індуктор. Він являє собою одношарову котушку намагнічування, закріплену на бічній поверхні нижнього електроду машини для ТКЗ у безпосередній близькості до торця (рис. 1).

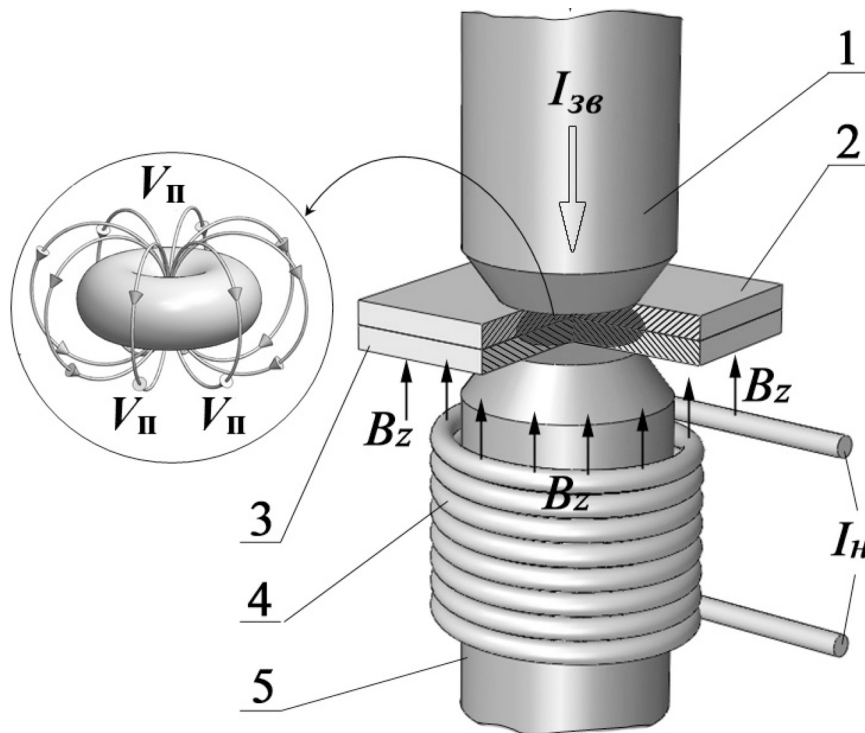


Рис. 1. Схема створення ІЕМД при ТКЗ:

1 і 5 – відповідно верхній і нижній електроди машини для ТКЗ; 2 і 3 – зварювані елементи;  
4 – котушка індуктора;  $B_z$  – вектор індукції КМП;  $I_{зв}$  – зварювальний струм;  
 $I_n$  – струм намагнічування;  $V_p$  – потоки розплаву у ядрі зварної точки

Вектор індукції  $B_z$  КМП співпадає з напрямом протікання зварювального струму  $I_{зв}$ . В результаті силового впливу ІЕМД на розплав ядра діють сили, напрямом яких співпадає з напрямом вектору індукції КМП. Під впливом цих сил в об'ємі розплаву формуються нові гідродинамічні потоки  $V_n$ , траєкторії яких за формою нагадують тороїд (рис. 1).

Експериментальне визначення розподілу в робочій зоні аксіальної складової індукції керуючого магнітного поля ( $B_z$ ) здійснювали за допомогою спеціального приладу, створеного на основі датчика Холла. Вимірювання проводили у площині стикання зварюваних деталей по лінії, що проходить через центр з'єднання. Амплітудні значення імпульсів струму намагнічування ( $I_n$ ) змінювали у межах до 2,6 кА. Це дозволило генерувати в зоні утворення з'єднання імпульсне КМП з індукцією до 120 мТл. Максимальних значень вона набуває на осі електродів і поступово зменшується у напрямку до країв ядра з'єднання (рис. 2).

### Результати досліджень

Експериментальні дослідження проводили на зразках із алюмінієвого сплаву АА5754 (АМг2) товщиною 0,8 мм. Зварювальний струм становив 12 кА, час протікання зварювального струму – 0,24 с, час попереднього підігрівання – 0,18 с, зусилля стискання зразків – 150 кг. Для зварювання застосовували комплект електродів із сферичною формою робочих поверхонь ( $R = 8$  мм).

Виявлено, що зразки, зварені із застосуванням ІЕМД мають значні відмінності форми попереч-

ного перерізу зони розплавлення від тих, що отримані у звичайних умовах (рис. 3). Максимальне проплавлення зразків відбувається ні по осі ядра зварної точки, а на відстані від неї, яка дорівнює половині її радіусу. При цьому істотні зміни діаметрів ядра з'єднань не спостерігаються. До того, із збільшенням частоти ІЕМД висота центральної частини ядра дещо зменшується, а периферійної зони – збільшується. Даний ефект може виникати у наслідок інтенсивного розмивання нижньої і верхньої границь ядра потоками розплаву, що переміщуються кільцевими траєкторіями у напрямку від центру з'єднання. Зазначених змін у процесах формування з'єднань не зафіксовано при зварюванні з ІЕМД конструкційних і нержавіючих сталей [3]. Це пояснюється відмінностями у частотних характеристиках застосованих КМП. Тобто, при зварюванні з ІЕМД частот магнітних полів до 100 Гц, ймовірно, не достатньо для ефективного керування гідродинамікою ядра з'єднань.

Дослідження мікроструктур зварних з'єднань проводили на поперечних шліфах за допомогою електронного мікроскопа РЕМ–106И. Аналізували особливості кристалізації центральної та периферійної частин з'єднання (границі сплавлення з основним металом) (рис. 4).

На зразках, отриманих при зварюванні у звичайних умовах спостерігали ділянки, на яких кристалізація відбувається від вторинних центрів, якими, ймовірно, є тугоплавкі частинки окису алюмінію. При зварюванні з ІЕМД неметалевих включень в металі ядра з'єднань не спостерігали. Це пояснюється очищенням зварюваних поверхонь у початковий період формування з'єднань,

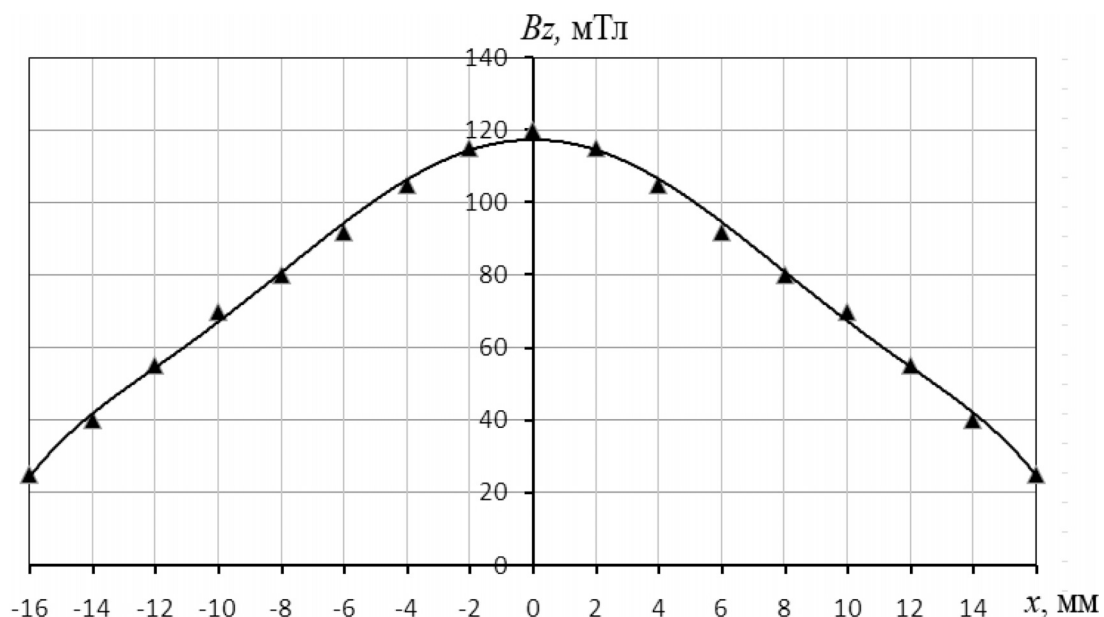
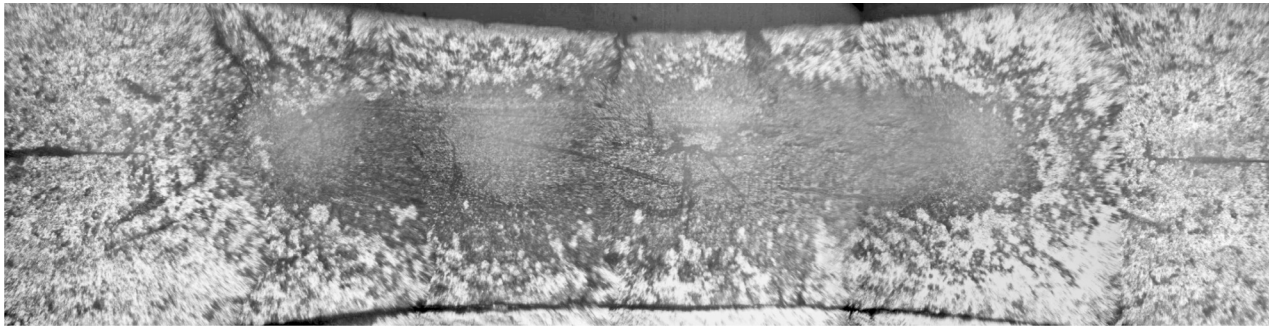
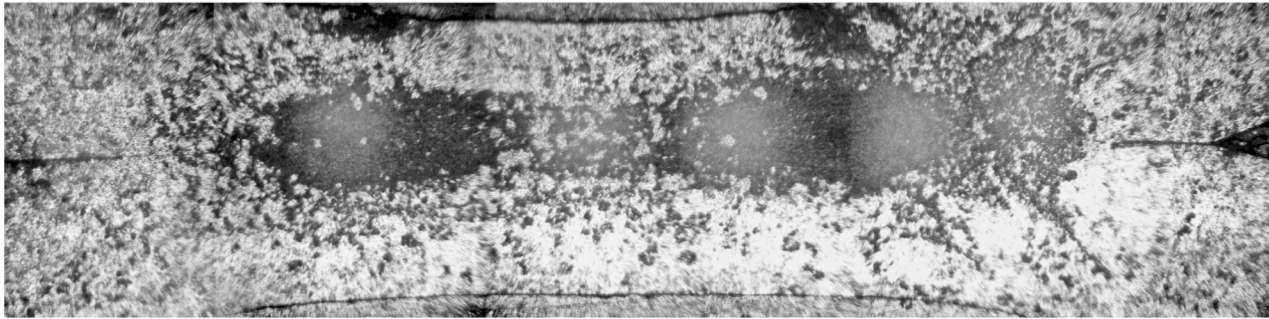


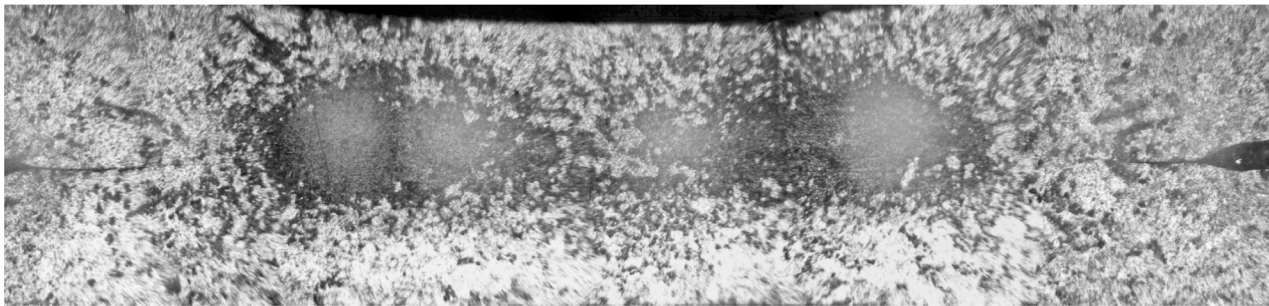
Рис. 2. Розподіл індукції КМП в зоні утворення зварного з'єднання



а)



б)



в)

Рис. 3. Зміни форми перерізу зварних точок:

а – зварювання у звичайних умовах; б, в – зварювання з ІЕМД на частотах відповідно 100 Гц та 300 Гц

впродовж якого електромагнітні сили сприяють винесенню оксидних плівок із робочої зони. Мікроструктури зразків характеризуються зростанням кристалітів у різних напрямках від вже сформованих елементів структури. До того, із збільшенням частоти даних імпульсних дій елементи структури стають більш тонкими, а сумарна протяжність їх границь значно збільшується. Це дозволяє очікувати зменшення хімічної мікро-неоднорідності металу та кращі механічні показники з'єднань.

### Висновки

1. Застосування ІЕМД при ТКЗ дозволяє комплексно покращувати показники якості з'єднань. Однак їх вплив на стадії кристалізації з'єднань зумовлює більш істотні зміни в їх структурах.

2. ІЕМД при ТКЗ дозволяє керувати гідродинамікою розплаву ядра. При цьому збільшення

частоти КМП призводить до зростання інтенсивності переміщення потоків розплаву.

3. При подальших дослідженнях впливу ІЕМД на показники якості зварних з'єднань в умовах ТКЗ необхідне виявлення впливу параметрів КМП на їх механічні властивості та хімічну неоднорідність.

### Література

- [1] Рижев Р.М., Кочубей В.В., Назарук С.М., Нестуля С.О., Болотов Г.П. Застосування зовнішніх електромагнітних дій для керування формуванням з'єднань при точковому контактному зварюванні // Технологические системы. – №3. – 2011. – с. 90–92. <http://technological-systems.com/images/journal/2011/files/ts56.pdf>
- [2] Кочубей В.В., Рижев Р.М., Четверо С.П. Влияние внешних электромагнитных воздействий на микроструктуру швов при точечной контактной сварке //

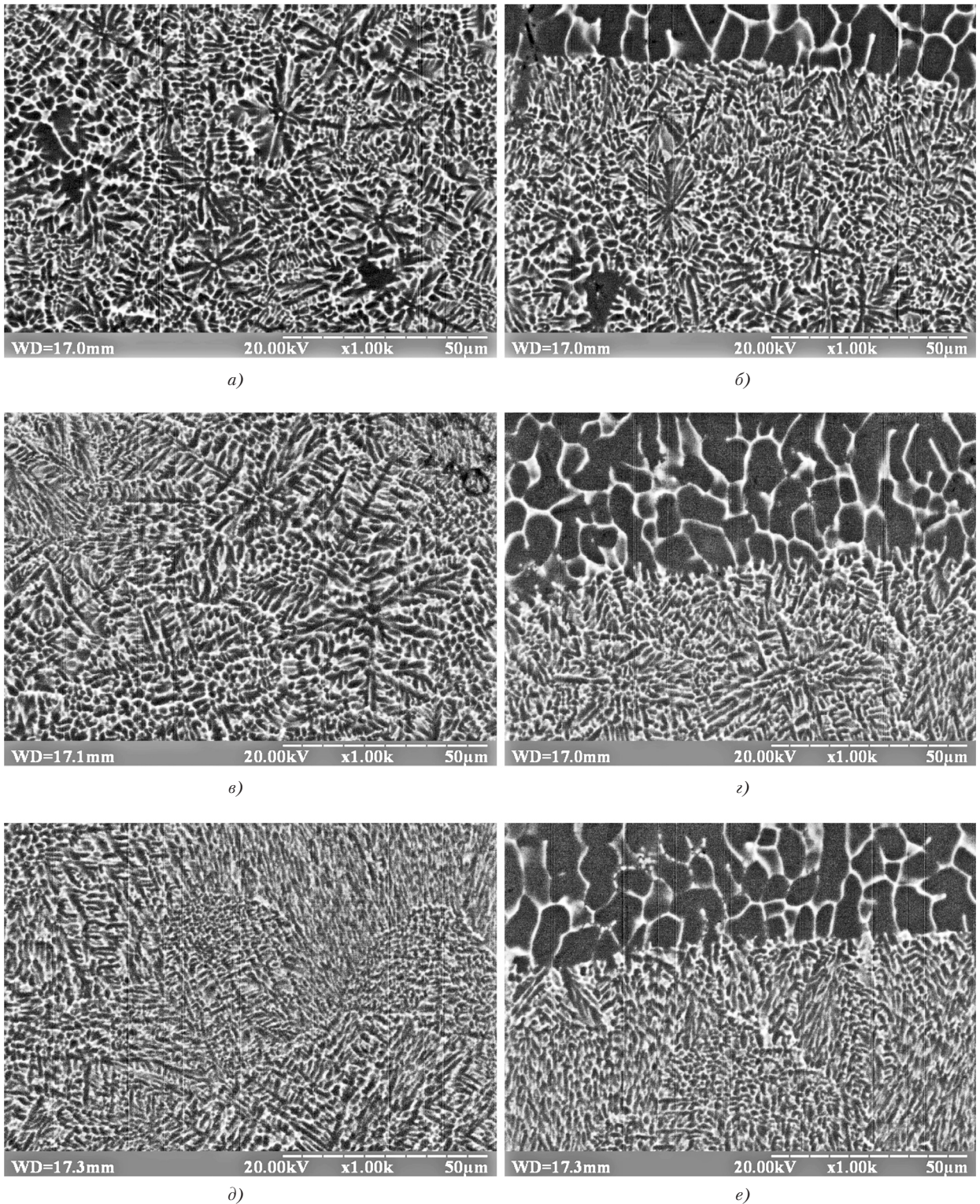


Рис. 4. Мікроструктури з'єднань:

*a, б* – центральна і периферійна частини ядра при зварюванні у звичайних умовах; *в, д* – центральна частина ядра; *з, е* – периферійна частина ядра при зварюванні з ІЕМД, на частотах відповідно 100 та 300 Гц

Технологические системы. – №3. – 2013. – с. 77–81.  
<http://technological-systems.com/images/journal/2013/files/ts64.pdf>

- [3] Рижов Р.М., Сидоренко П.Ю., Нестуля С.О., Кочубей В.В. Застосування імпульсних електромагнітних дій

для керування процесом кристалізації з'єднань при точковому контактному зварюванні // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – №2. – 2014. – с. 62–65.

- [4] Нестуля С.О., Рижов Р.М., Сидоренко П.Ю., Кочубей В.В., Кісліцин А.О. Принципи створення спеціа-

лізованого обладнання для дугового зварювання з імпульсними електромагнітними діями // Технологічні системи. — №4. — 2013. — с. 81–84.

<http://technological-systems.com/images/journal/2013/files/ts65.pdf>

*Ryzhov R., Sydorenko P., Nestoulia S.*

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute». Ukraine, Kyiv

## FEATURES OF THE FORMATION AND CRYSTALLIZATION JOINT WITH SPOT WELDING OF IMPULSIVE ELECTROMAGNETIC AFFECTS

*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, that were received using design mode of spot welding with the impulsive electromagnetic affects, were compared and indentified an increasing in the dispersity structure by 2 times, but the dendrite width was decreased. Impulsive electromagnetic affect influence on weld line length are studied. This is one of the factors to increase welding joint strength for spot welding.*

*Application of impulsive electromagnetic affects for spot welding allow to improve the quality of connections, was established. The increase in the frequency of impulsive electromagnetic field increases the intensity of displacement flow melt.*

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

### References

- [1] Ryzhov R.M., Kochubei V.V., Nazaruk S.M., Nestulia S.O., Bolotov H.P. Zastosuvannia zovnishnikh elektromahnitnykh dii dlia keruvannia formuvanniam z'iednan pry tochkovomu kontaktnomu zvariuvanni // Technological systems. - №3. - 2011. - p. 90 - 92. <http://technological-systems.com/images/journal/2011/files/ts56.pdf>
- [2] Kochubei V.V., Ryzhov R.M., Chvertko Ie.P. Vlyianyie vneshnykh elektromahnytnykh vozdeistvyi na mykrostrukturu shvov pry tochechnoi kontaktnoi svarke // Technological systems. - №3. - 2013. - p. 77 - 81. <http://technological-systems.com/images/journal/2013/files/ts64.pdf>
- [3] Ryzhov R.M., Sydorenko P.Iu., Nestulia S.O., Kochubei V.V. Zastosuvannia impulsnykh elektromahnitnykh dii dlia keruvannia protsesom krystalizatsii z'iednan pry tochkovomu kontaktnomu zvariuvanni // Naukovi visti NTUU "KPI". - №2. - 2014. - p. 62 - 65.
- [4] Nestulia S.O., Ryzhov R.M., Sydorenko P.Iu., Kochubei V.V., Kislitsyn A.O. Pryntsypy stvorennia spetsializovanoho obladnannia dlia duhovoho zvariuvannia z impulsnymy elektromahnitnymy diiamy // Technological systems. - №4. - 2013. - p. 81 - 84. <http://technological-systems.com/images/journal/2013/files/ts65.pdf>