

# ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І МЕТАЛУРГІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МІДІ ПРИ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОМУ ЗВАРЮВАННІ

В.М. Нестеренков, Л.А. Кравчук, М.О. Русиник

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Проведено дослідження щодо впливу технологічних і металургійних чинників на формування зварних з'єднань при електронно-променевому зварюванні міді марки М1 завтовшки  $\delta = 18$  мм вертикальним електронним пучком, в нижньому положенні, за один прохід. Система комп'ютерного управління процесу електронно-променевого зварювання на установці УЛ-209М дозволяє виконувати в єдиному технологічному циклі чистку прилеглої зони стику від залишків забруднень і оксидів за допомогою сфокусованого на поверхні металу малопотужного електронного пучка. Застосування високошвидкісної локальної розгортки електронного пучка по колу дозволило істотно знизити температуру в центральній частині зварювальної ванни і, таким чином, виключити пропали і виплеск металу шва. Встановлено, що оптимальна швидкість зварювання при прискорюючій напрузі  $U_{\text{приск.}} = 60$  кВ знаходиться в діапазоні  $v_{\text{зв}} = 6 \dots 8$  мм/с. Металургійна обробка зварювальної ванни за допомогою вставок з алюмінієвої і титанової фольги усуває схильність до утворення пір в металі шва. Бібліогр. 16, табл. 1, рис. 5.

*Ключові слова:* електронно-променеве зварювання, електронний пучок, комп'ютерне управління, кругова розгортка, глибина проплавлення, погонна енергія, швидкість зварювання, ширина лицьового валика, пористість

При електронно-променевому зварюванні (ЕПЗ) міді має місце ряд труднощів, які обумовлені в основному її високою теплопровідністю, підвищеною рідкоплинністю, інтенсивним випаровуванням у вакуумі при нагріванні вище температури плавлення, а також значною активністю металу при взаємодії з киснем та воднем в розплавленому стані. Висока теплопровідність призводить до підвищених швидкостей охолодження металу шва і біляшовної зони і до малого часу перебування зварювальної ванни в рідкому стані, що призводить до погіршення формування шва і необхідності додаткових досліджень по зниженню пористості швів.

Підвищена рідкоплинність міді не дозволяє виконувати одностороннє стикове зварювання з повним проплавленням кромок в нижньому і вертикальному положеннях. Для задовільного формування шва із зворотнього боку застосовують підкладки, які щільно прилягають до зварювального металу, або обмежуються замковим з'єднанням при некрізному проплавленні.

Застосування при зварюванні міді електронних пучків з нормальним (гаусовським) розподілом щільності потужності призводить до перегріву металу у приосьовій зоні, інтенсивному його випаровуванню і, як наслідок, розбризкуванню та незадовільному формуванню шва [1]. У зв'язку з цим, при електронно-променевому зварюванні міді товщиною  $\delta > 4$  мм використовують електронно-оптичні системи, що забезпечують рівномірність струму по перерізу пучка, або системи,

в яких максимальна щільність струму зміщена за межі приосьової зони [2, 3].

Великий вплив на якість зварних з'єднань при ЕПЗ міді надає вміст у ній домішок [4]. Найбільш шкідливою домішкою, що знижує механічні, технологічні та антикорозійні властивості міді, є кисень, вміст якого має бути обмеженим і зведено до мінімуму шляхом розкислення [5].

У зв'язку з викладеним вище було проведено комплекс досліджень по ЕПЗ міді марки М1 товщиною  $\delta = 18$  мм з метою визначення оптимальних енергетичних, тимчасових та геометричних параметрів електронного пучка, а також впливу підготовки кромок, що зварюються, і металургійних методів на формування і якість зварних з'єднань.

**Методика досліджень.** ЕПЗ плоских зразків з марки міді М1 товщиною  $\delta = 18$  мм розміром  $200 \times 80 \times 18$  мм виконували в нижньому положенні, вертикальним електронним пучком на установці УЛ-209М з комп'ютерним управлінням всіма параметрами і системами (вакуум, переміщення і поворот електронно-променевої гармати (ЕПГ), струм зварювання, швидкість зварювання, фокусування і відхилення електронного пучка, локальна розгортка), створеної в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України [6]. Установа УЛ-209М укомплектована енергетичним комплексом на базі ЕЛА-60/60 та ЕПГ, що переміщується всередині вакуумної камери по лінійним координатам  $X, Y, Z$ , а також що повертається навколо осі  $Y-Y$  на кут  $0 \dots 90^\circ$ . При прискорюючій напрузі  $U_{\text{приск.}} = 60$  кВ ЕПГ з металевим вольфрамовим катодом

Нестеренков В.М. – <https://orcid.org/0000-0002-7973-1986>, Русиник М.О. – <https://orcid.org/0000-0002-7591-7169>

© В.М. Нестеренков, Л.А. Кравчук, М.О. Русиник, 2021

діаметром 3 мм забезпечує діапазон струму електронного пучка  $I_n = 0...500$  мА, а також виконання технологічних розгорток пучка в процесі ЕПЗ. Забезпечується точність позиціонування ЕПГ по координатам не гірше 0,1 мм. Суміщення електронного пучка зі стиком забезпечується системою РАСТР з точністю не гірше 0,1 мм [7].

Робоча відстань від торця ЕПГ до поверхні зварювальних зразків складала 200 мм, залишковий тиск в зварювальній камері досягав  $1 \cdot 10^{-2}$  Па. Безпосередньо перед зварюванням зразки знежирували бензином авіаційним (ГОСТ1012-72) або уайт-спіритом (ГОСТ 3134-52), а потім торці і прилеглі до них ділянки шириною 10 мм шабрили вручну. Електронний пучок фокусували над поверхнею зварюваних встик зразків, а величину струму зварювання встановлювали таким чином, щоб при оптимальній погонній енергії забезпечувалося наскрізне проплавлення за один прохід з гарантованим формуванням лицьового валика шва і точковими проколами зі зворотного боку шва.

Механічні випробування на розтяг круглих (тип II) зразків зварних з'єднань і основного металу проводили на розривній машині типу ЦДМ-10Р (Німеччина) по ГОСТ 6996-66. При виготовленні круглих зразків на розтягнення вибирали середню частину зварного шва по глибині проплавлення. Виготовляли також плоскі зразки з V-подібним надрізом (тип XI) для визначення ударної в'язкості.

Структуру зварних з'єднань досліджували на оптичному мікроскопі типу «Неофот-32» при збільшенні  $\times 20...500$ . Характер зниження міцності основного металу у ЗТВ визначали шляхом вимірювання твердості на поперечних шліфах на мікротвердометрі типу М-400 фірми «КОМПАС» при навантаженні 1Н (час прикладання 10 с) на трьох рівнях по глибині проплавлення (верх, середина, низ).

Хімічний склад марки міді М1, наведений в таблиці, визначали методом емісійного спектрального аналізу на установці ІСАР6500 DUO («Thermo Electron Corporation», Великобританія). Газовий аналіз, проведений на установці RO-316 («LECO», США) та установці RH-402 («LECO», США), показав, що вміст кисню і водню в досліджуваній міді М1 менше допустимих значень ГОСТу і становить  $O_2 = 0,0028$  мас. %,  $H = 0,0012$  мас. %, відповідно.

Оцінку результатів ЕПЗ міді М1 товщиною  $\delta = 18$  мм виробляли за наступними критеріями:

стабільність процесу, відтворюваність результатів, формування заданої геометрії проплавлення, щільність і міцність зварного з'єднання, мінімальна пористість і відсутність тріщин.

**Результати технологічних досліджень.** Позбавлення високотемпературної приосьової частини плями нагріву при ЕПЗ міді М1 досягалось шляхом високошвидкісної розгортки електронного пучка по колу, коли розподіл результуючого теплового потоку являє собою прямокутний імпульс з плоскою вершиною і пологими краями або криву з двома максимумами [8, 9]. При цьому потужність електронного пучка розподіляється уздовж траєкторії розгортки практично рівномірно при частотах  $f_{розг} \geq 1000$  Гц [8]. Як показано на рис. 1, змінюючи діаметр обертання електронного пучка, можна істотно знизити температуру в центральній частині зварювальної ванни і, таким чином, виключити пропали і виплеск металу шва.

Однак, через теплофізичні властивості міді, що призводять до високих швидкостей охолодження металу шва, було встановлено, що при струмі електронного пучка  $I_n \geq 150$  мА, швидкості зварювання  $v_{зв} \geq 5$  мм/с і діаметрі кругової розгортки  $D > 1,5$  мм стає неможливим формування зварного шва без кратерів і розбризування металу шва (рис. 2). Дослідні проплавлення на міді глибиною до  $h_{пр} = 18$  мм і при  $D = 1,5$  мм показали, що положення фокуса електронного пучка відносно поверхні зразка в межах  $\pm 5\%$  не призводить до усунення згаданих дефектів. Подальші дослідження з підбору режимів ЕПЗ міді марки М1 проводилися при діаметрі кругової розгортки  $D = 1,5$  мм.

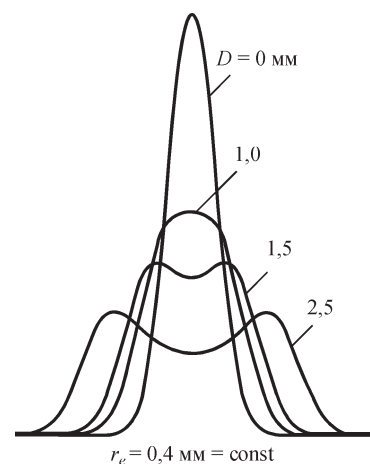


Рис. 1. Розподіл щільності потужності електронного пучка при вимірюванні діаметра кругової розгортки  $D$  та постійному ефективному радіусі пучка  $r_e$

**Хімічний склад міді, мас. %**

Марка міді	Вміст домішок, не більше											Склад міді
	Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	Zn	P	Ag	
М1*	0,0003	-	0,0007	0,004	0,0001	0,0013	0,0001	-	0,0017	-	0,0055	99,98

М\* – хімічний склад міді визначали емісійним спектральним методом.

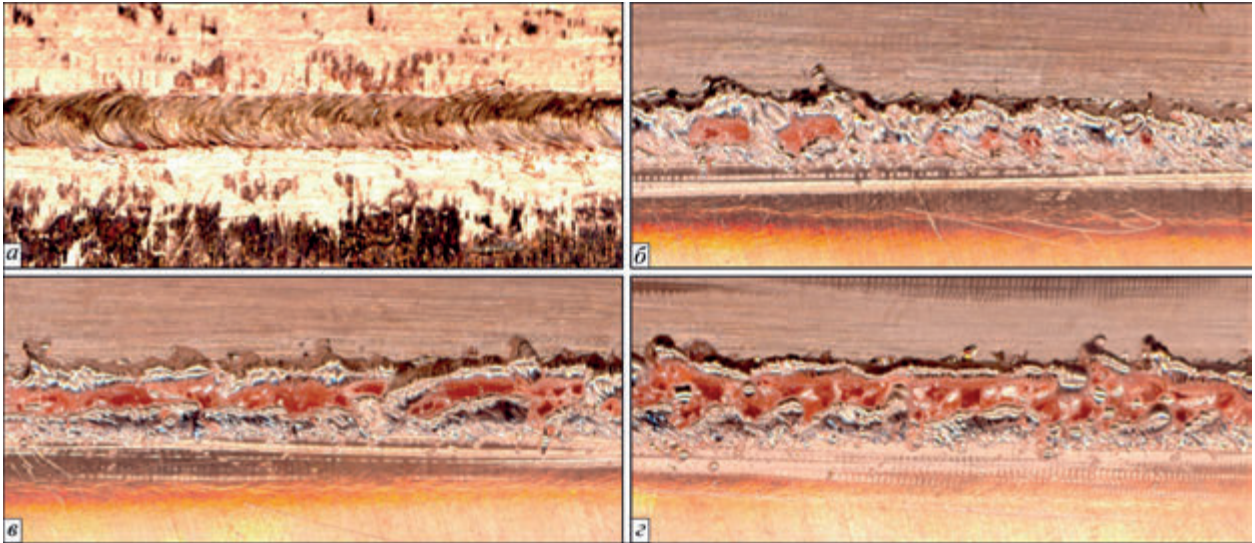


Рис. 2. Формування лицьового валику шва при ЕПЗ міді марки М1 товщиною  $\delta = 18$  мм з різними діаметрами кругової розгортки: а –  $D = 1,5$  мм; б – 2,0; в – 2,5; з – 3,0. Режим ЕПЗ:  $U_{пр} = 60$  кВ,  $I_{п} = 190$  мА;  $v_{зв} = 7,5$  мм/с;  $\Delta I_{ф} = 0$  мА;  $l_{роб} = 200$  мм ( $\times 2$ )

Вибір оптимального значення швидкості зварювання визначається, з одного боку, умовою мінімальної інтенсивності гідродинамічних збурень в зварювальній ванні [10], з іншого, умовою мінімальної ширини шва для зниження деформацій, підвищення тріщиностійкості, зниження до мінімуму пористості зварного з'єднання. Швидкість зварювання істотно впливає на здатність проплавлення електронного пучка і величину погонної енергії зварювання. У роботах [11, 12] показано, що при ЕПЗ міді марки М1 завтовшки 12,5 мм з прискорюючою напругою  $U_{приск.} = 28$  кВ оптимальним є діапазон швидкостей зварювання 6...8 мм/с, а при підвищених швидкостях зварювання збільшується нестабільність глибини проплавлення і величина несплавлення в корені шва. Для уточнення впливу швидкості зварювання на величину погонної енергії нами були проведені дослідження по визначенню характеру залежності  $q/v = f(v_{зв})$  в діапазоні швидкості зварювання  $v_{зв} = 5...10$  мм/с при прискорюючій напрузі  $U_{пр} = 60$  кВ. Як показано на рис. 3, величина погонної енергії в досліджуваному діапазоні швидкості зварювання змінюється істотно: спочатку зменшується досить різко по залежності  $q/v$ , а починаючи зі швидкості зварювання  $v_{зв} = 7,5$  мм/с зниження сповільнюється. Аналогічним чином змінюється залежність  $B_1 = f(v_{зв})$  і при швидкості зварювання  $v_{зв} = 7,5$  мм/с ширина лицьового валика шва становить  $B_1 \approx 2,5$  мм/с. З урахуванням даних роботи по пористості металу шва [11] і на підставі отриманих нами залежностей подальші дослідження проводилися при швидкості зварювання  $v_{зв} = 7,5$  мм/с.

Основний дефект металу шва при ЕПЗ міді – пористість. Для попередження пір необхідно спочатку забезпечити видалення з поверхні кромок, що зварюються, оксидів, адсорбованої вологи і

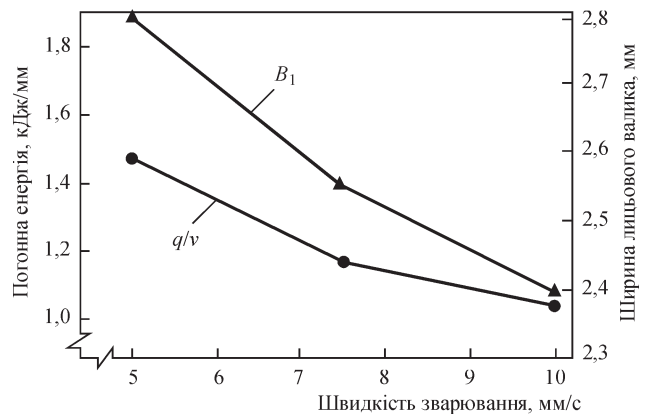


Рис. 3. Залежність величини погонної енергії  $q/v$  та ширини лицьового валика шва  $B_1$  від швидкості ЕПЗ міді марки М1 товщиною  $\delta = 18$  мм. Режим ЕПЗ:  $U_{приск.} = 60$  кВ;  $\Delta I_{ф} = 0$  мА;  $l_{роб} = 200$  мм;  $D = 1,5$  мм

жирових плівок. В єдиному технологічному циклі ЕПЗ на установці УЛ-209М може бути додатково проведена чистка прилеглої зони стику від залишків забруднень і оксидів за допомогою сфокусованого на поверхні металу електронного пучка потужністю, що не приводить до розплавлення кромок стику. У режимі  $U_{приск.} = 60$  кВ,  $I_{п} \approx 10$  мА,  $v_{зв} = 7,5$  мм/с,  $D \approx 10$  мм виконувався прохід по всій довжині стику перед виконанням основного зварювального проходу [6].

Металургійна обробка зварювальної ванни для усунення схильності до утворення пір в металі шва і поблизу лінії сплавлення, а також кристалізаційних тріщин при ЕПЗ міді М1 здійснювалася за допомогою вставляння в стик фольги з алюмінію (сплав АД0 товщина 0,04 мм) і титану (сплав ВТ1-00, товщина 0,05 мм), що виконують роль активних розкислювачів і нітридоутворюючих елементів [13, 14]. Змінюючи ширину і товщину фольги, була вирішена проблема дозованої подачі цих елементів в зварювальну ванну. Як показали дослідні зварювання, про-

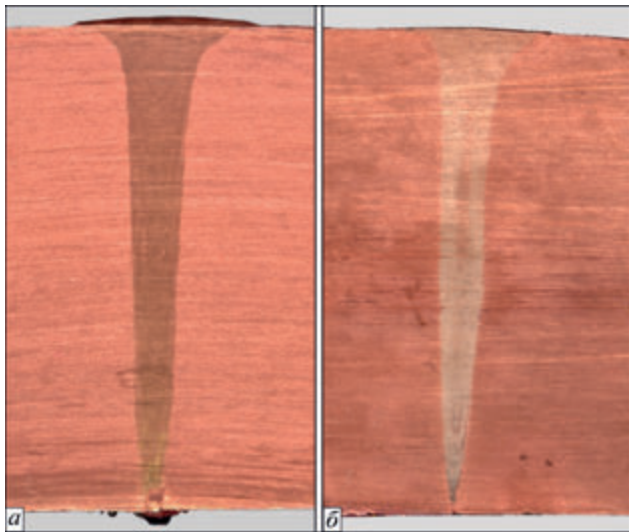


Рис. 4. Формування поперечного перетину шва з легуючими проставками при ЕПЗ в нижньому положенні вертикальним електронним пучком марки М1 ( $\times 5$ ): *a* – фольга алюмінію марки АД0 товщиною  $\delta = 0,04$  мм; *б* – фольга титану марки ВТ1-00 товщиною  $\delta = 0,05$  мм. Режим ЕПЗ:  $U_{\text{приск.}} = 60$  кВ;  $I_{\text{п}} = 197$  мА;  $v_{\text{зв}} = 7,5$  мм/с;  $+\Delta I_{\phi} = 5$  мА;  $l_{\text{роб}} = 200$  мм;  $D = 1,5$  мм



Рис. 5. Формування металу шва в продольному перетині по вісі з міді марки М1 довжиною 100 мм при ЕПЗ у нижньому положенні по стику ( $\times 1,5$ ): *a* – без проставки; *б* – з проставкою з ВТ1-00 товщиною  $\delta = 0,05$  мм. Режим ЕПЗ:  $U_{\text{приск.}} = 60$  кВ,  $I_{\text{п}} = 197$  мА;  $v_{\text{зв}} = 7,5$  мм/с;  $+\Delta I_{\phi} = 5$  мА;  $l_{\text{роб}} = 200$  мм;  $D = 1,5$  мм

цес ЕПЗ міді з застосуванням легуючих вставок з алюмінію і титану характеризується високою гідродинамічною стабільністю зварювальної ванни і відсутністю розбризкування рідкого металу, що забезпечує задовільне формування лицьового валика шва і стабільність глибини проплавлення по довжині шва (рис. 4).

При складі в металі шва алюмінію або титану в межах 0,1 мас. % і більше величина пористості може бути доведена до мінімального значення (менше 10 мм<sup>2</sup> на довжині шва 100 мм), а шви по всій довжині матимуть щільну макроструктуру (рис. 5).

Необхідно відзначити, що мікролегування шва, яке при цьому відбувається, дозволяє, з одного боку, підвищити механічні властивості зварних з'єднань, з іншого боку, призводить до зниження теплопровідності [15] і зменшення електропровідності [16].

## Висновки

1. Застосування розгортки електронного пучка по колу діаметром до  $D = 1,5$  мм при ЕПЗ марки міді М1 товщиною  $\delta = 18$  мм, з прискорюючою напругою  $U_{\text{приск.}} = 60$  кВ забезпечує формування зварного шва без кратерів і розбризкування металу в приосьовій зоні.

2. Встановлено, що при ЕПЗ марки міді М1 товщиною  $\delta = 18$  мм оптимальна швидкість зварювання знаходиться в діапазоні  $v_{\text{зв}} = 6 \dots 8$  мм/с.

3. Металургійна обробка зварювальної ванни за допомогою вставок з алюмінієвої і титанової фольги при ЕПЗ міді М1 товщиною  $\delta = 18$  мм усуває схильність до утворення пір в металі шва.

## Список літератури

1. Кайдалов А.А., Назаренко О.К. (1973) Некоторые вопросы теории электронно-лучевой сварки. *Электрон. обраб. материалов*, **3**, 9–13.
2. Шилов Г.А., Акопьянц К.С., Касаткин О.Г. (1983) Влияние частоты и диаметра круговой развертки электронного пучка на проплавление металла при ЭЛС. *Автоматическая сварка*, **8**, 25–28.
3. Рыжков Ф.Н., Башкатов А.В., Закомолдин А.Ф. и др. (1973) Сварка бронзы Бр.Х0,8 и стали ЭИ811 колеблющимся электронным пучком. *Там же*, **5**, 56–58.
4. Johnson, L.D. (1970) Some observation on the electron-beam Welding of copper. *Weld. J.*, **49**, **2**, 55–60.
5. Аношин В.А., Илюшенко В.М., Бондаренко А.Н. и др. (2014) Комплексная оценка влияния основных примесей на свариваемость меди. *Автоматическая сварка*, **11**, 27–30.
6. Патон Б.Е., Назаренко О.К., Нестеренков В.М. и др. (2004) Компьютерное управление процессом электронно-лучевой сварки с многокоординатными перемещениями пушки и изделия. *Там же*, **5**, 3–7.
7. Нестеренков В.М., Кравчук Л.А., Архангельский Ю.А. и др. (2015) Электронно-лучевая сварка камеры среднего давления газотурбинного двигателя. *Там же*, **12**, 31–35.
8. Назаренко О.К., Кайдалов А.А., Ковбасенко С.Н. и др. (1987) *Электронно-лучевая сварка*. Киев, Наукова думка.
9. Скрябинський В.В., Нестеренков В.М., Русиник М.О. (2020) Електронно-променеве зварювання з програмуванням розподілу густини потужності променя. *Автоматичне зварювання*, **1**, 51–56. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.01.07>
10. Нестеренков В.М. (2003) Особенности капиллярных волн в парогазовом канале при электронно-лучевой сварке металлов большой толщины. *Автоматическая сварка*, **4**, 8–13.
11. Агарков В.Я. (1980) Электронно-лучевая сварка меди (Обзор). *Там же*, **11**, 42–43.
12. Назаренко О.К., Агарков В.Я., Иконников В.И. (1986) Влияние способа обработки кромок на образование пор в шве при электронно-лучевой сварке. *Там же*, **2**, 21–25.
13. Гончаров А.Н., Кривошея В.Е. (1980) *Влияние добавок легирующих элементов на свариваемость меди. Актуальные проблемы сварки цветных металлов*. Киев, Наукова думка, сс. 221–225.
14. Илюшенко В.М., Аношин В.А., Бондаренко А.Н. и др. (1980) Исследование влияния примесей и ряда легирующих элементов на образование трещин при сварке меди. *Там же*, сс. 217–221.
15. Колачев Я.Л., Ливанов В.А., Елагин В.И. (1981) *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов*. Москва, Металлургия.
16. Si, L., Zhou, L., Zhu, X. et al. (2016) Microstructure and property of Cu–2,7Ti–0,15Mg–0,1Ce–0,1Zr alloy treated with a combined aging process. *Mater. Sci. Eng. A*: **650**, 345–353.

References

1. Kajdalov, A.A., Nazarenko, O.K. (1973) Some problems of theory of electron beam welding. *Elektron. Obrab. Materialov*, **3**, 9-13 [in Russian].
2. Shilov, G.A., Akopyants, K.S., Kasatkin, O.G. (1983) Influence of frequency and diameter of electron beam circular scan on metal penetration in EBW. *Avtomatch. Svarka*, **8**, 25-28 [in Russian].
3. Ryzhkov, F.N., Bashkatov, A.V., Zakomoldin, A.F. et al. (1973) Welding of bronze Br.Kh0.8 and steel EI811 with oscillating electron beam. *Ibid.*, **5**, 56-58 [in Russian].
4. Johnson, L.D. (1970) Some observation on the electron-beam welding of copper. *Weld. J.*, **49**, **2**, 55-60.
5. Anoshin, V.A., Ilyushenko, V.M., Bondarenko, A.N. et al. (2014) Integrated evaluation of effect of main impurities on weldability of copper. *The Paton Welding J.*, **11**, 24-27.
6. Paton, B.E., Nazarenko, O.K., Nesterenkov, V.M. et al. (2004) Computer control of electron beam welding with multi-coordinate displacements of the gun and workpiece. *Ibid.*, **5**, 2-5.
7. Nesterenkov, V.M., Kravchuk, L.A., Arkhangelsky, Yu.A. et al. (2015) Electron beam welding of medium-pressure chamber of gas turbine engine. *Ibid.*, **12**, 29-33.
8. Nazarenko, O.K., Kajdalov, A.A., Kovbasenko, S.N. et al. (1987) Electron beam welding. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
9. Skryabinskyi, V.V., Nesterenkov, V.M., Rusynyk, M.O. (2020) Electron beam welding with programming of beam power density distribution. *The Paton Welding J.*, **1**, 49-53. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.01.07>
10. Nesterenkov, V.M. (2003) Special features of capillary waves in the vapour-gas channel in electron beam welding of thick metal. *Ibid.*, **4**, 7-12.
11. Agarkov, V.Ya. (1980) Electron beam welding of copper (Review). *Avtomatch. Svarka*, **11**, 42-43 [in Russian].
12. Nazarenko, O.K., Agarkov, V.Ya., Ikonnikov, V.I. (1986) Influence of method of edge preparation on weld pore formation in electron beam welding. *Ibid.*, **2**, 21-25 [in Russian].
13. Goncharov, A.N., Krivosheya, V.E. (1980) *Effect of alloy additives on weldability of copper. In: Current problems of welding of nonferrous metals*. Kiev, Naukova Dumka, 221-225 [in Russian].
14. Ilyushenko, V.M., Anoshin, V.A., Bondarenko, A.N. et al. (1980) Investigation of influence of additives and a number of alloying elements on crack formation in welding of copper. *Ibid.*, 217-221 [in Russian].
15. Kolachev, Ya.L., Livanov, V.A., Elagin, V.I. (1981) *Metals science and heat treatment of nonferrous metals and alloys*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
16. Si, L., Zhou, L., Zhu, X. et al. (2016) Microstructure and property of Cu-2,7Ti-0,15Mg-0,1Ce-0,1Zr alloy treated with a combined aging process. *Mater. Sci. Eng.: A650*, 345-353.

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL AND METALLURGICAL FACTORS ON FORMATION OF COPPER WELDED JOINTS IN ELECTRON BEAM WELDING

V.M. Nesterenkov, L.A. Kravchuk, M.O. Rusynyk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

The influence of technological and metallurgical factors on the formation of welded joints in electron beam welding of M1 copper grade with the thickness  $\delta = 18$  mm by a vertical electron beam in the flat position in a one pass was studied. The system of a computer control of the process of electron beam welding in the installation UL-209M allows performing cleaning of the adjacent joint zone from the remnants of contaminants and oxides using a low-power electron beam focused on the metal surface in a single technological cycle. The use of high-speed local scanning of the electron beam in a circle allowed a significant reduction in the temperature in the central part of the welding pool and, thus, eliminated burnouts and splashes of weld metal. It was established that the optimal welding speed at accelerating voltage  $U_{acc} = 60$  kV is in the range  $v_w = 6..8$  mm/s. Metallurgical treatment of welding pool with the inserts of aluminium and titanium foil eliminates the tendency to formation of pores in the weld metal. 16 Ref., 1 Tabl., 5 Fig.

*Keywords: electron beam welding, electron beam, computer control, circular scanning, penetration depth, input energy, welding speed, facial bead width, porosity*

Надійшла до редакції 30.11.2020

ПЕРЕДПЛАТА 2021

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	пів року	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	240	720	1440	2880
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	240	480	960
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	240	480	960
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	520	1560	3120	6240

\*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою бандероллю.

\*\*«The Paton Welding Journal» – переклад журналу «Автоматичне зварювання» на англійську мову.

Передплату на журнали можна оформити по каталогах передплатних агентцій «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництвах. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

Передплата на електронну версію журналів.

Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>  
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>  
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>

На сайті видавництва у 2020 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2018 рр.