



УДК 621.791

THE EFFECT OF THE OPERATING MODES OF THE WELDING SOURCE ON THE HARDNESS OF THE DEPOSITED METAL

ВПЛИВ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗВАЮВАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА НА ТВЕРДІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ

Shvets O.P. / Швець О.П.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-8988-9410

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv,

Dublyany, V. Velykoho 1, 80381

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
ім. С.З. Гжицького, Дубляни, В. Великого, 1, 80381

Анотація. В роботі представлено результати досліджень впливу режимів роботи зварювального джерела живлення (режимів зварювання) на твердість наплавленого шару металу. Під час досліджень досліджувались три різні режими роботи джерела живлення, а саме: Standard – стандартний; Synergic – синергетичний; Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу. Експериментальні дослідження проводились з використанням комплексу серійного зварювального обладнання фірми Fronius. Оцінку впливу режимів роботи зварювального джерела на твердість отриманого наплавленого шару металу здійснювали по методу Роквелла.

В результаті досліджень встановлено, що режим роботи зварювального джерела впливає на якість наплавленого шару металу. Середня твердість наплавленого шару металу, отриманого в режимі Standard становила 58,6 HRC, в режимі Synergic вона складала 63,5 HRC, а в режимі СМТ сягнула 65,2 HRC. Це свідчить про те, що для наплавлення деталей машин спеціальними антифрикційними матеріалами високої твердості в середовищі захисних газів доцільно застосовувати режим СМТ, який дозволяє суттєво зменшити теплову дію дуги на основний матеріал деталі, мінімізувати його змішування з наплавленим шаром та забезпечити максимальну твердість наплавленої поверхні.

Досліджувана в роботі технологія може бути застосована для відновлення робочих органів ґрунтообробної, дорожньої та кар'єрної техніки. Вона дозволяє наплавляти за один прохід до 2 мм відновлювального шару матеріалу забезпечуючи при цьому закладену в матеріалі спеціальних зварювальних твердість.

Ключові слова: наплавлення, зварювальне джерело, режим роботи, твердість.

Вступ.

Актуальними для розвитку машинобудівного комплексу України є питання збільшення виробничого ресурсу деталей, які піддаються інтенсивному зношуванню. Питання впровадження нових технологій та обладнання для вирішення цього завдання є перспективним напрямком. До прогресивних методів відновлення спрацьованих поверхонь деталей машин відносяться методи їх електродугового наплавлення. Вони забезпечують більш високий ступінь зміцнення, що дозволяє підвищити втомну міцність деталей. Розробка та



впровадження в виробництво ефективних способів і засобів відновлення дозволить забезпечити необхідну якість виробів за порівняно низьких витрат енергії і коштів, що є актуальним завданням сьогодення.

Основний текст.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основними способами відновлення, які можуть бути застосовані в різних галузях машинобудування є: ручне дугове наплавлення покритим електродом; дугове наплавлення під флюсом; вібродугове наплавлення; електрошлакове наплавлення; наплавлення відкритою дугою; плазмове наплавлення; дугове наплавлення у захисних газах. Спосіб наплавлення вибирають залежно від конфігурації поверхні, яку слід наплавити, серійності виробництва, наявності обладнання, вимог до якості наплавленого шару [6, 8, 12].

Зварювальний ванна утворюється в результаті розплавлення і перемішування металу деталі та електрода (присадкового матеріалу). Склад зварювальної ванни, і як наслідок, сформованого зварного шва, визначається хімічним складом металу електрода і деталі. Кінцевий склад шва формується після протікання металургійних процесів у зварювальній ванні. Їх особливість полягають у високій швидкості нагріву та охолодження. Так як середня температура крапель електродного металу, які надходять в ванну збільшується зі збільшенням щільності струму і може коливатися від 2200 до 2700 °С, що характеризується значним їх перегрівом. Температура зварювальної ванни також характеризується значним перевищенням температури понад точку плавлення, при чому перегрів може складати 100...500 °С [1, 6, 8].

Під час наплавлення деталей антифрикційним матеріалом суттєвою технологічною проблемою є обмеження теплової дії дуги із одночасним збереженням показників якості наплавленого і основного шарів металу. Одним із підходів до вирішення такої проблеми є спосіб виконання автоматизованого наплавлення в середовищі захисних газів за допомогою обладнання, до складу якого входять цифрові мікропроцесорні джерела живлення, здатні виконувати зварювання на різних режимах [2]. До такого обладнання відносяться



зварювальні апарати фірми Fronius серії TPS з функцією CMT (Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу), яка дозволяє використовувати електричні параметри джерела живлення для регулювання тепловкладень у зону наплавлення [9, 14, 15]. Це дає можливість покращити умови формування та переносу металу з одночасною дією ефекту реверсу зварювального дроту, що повністю виключає розбризкування і появу дефектів наплавленого шару.

Суть роботи зварювального джерела живлення в режимі Synergic полягає в тому, що для налаштування процесу зварювання достатньо задати один із параметрів процесу (товщина листа, зварювальний струм, швидкість подачі дроту тощо), а інші будуть автоматично налаштовані потрібним чином, оскільки значення перелічених параметрів безпосередньо пов'язані між собою. Цей зв'язок закладений в алгоритмі керування цифровим джерелом живлення [15].

Особливістю стандартного ручного MIG/MAG зварювання в режимі Standard є те, що зміна одного з параметрів процесу не призводить до автоматичної зміни налаштування інших параметрів. Усі параметри процесу потрібно налаштовувати окремо. При цьому користувачу доступні такі параметри:

- швидкість подачі дроту 0,5 – 22,0 м/хв;
- зварювальна напруга 10,0 – 34,0 В;
- доступна корекція динаміки короткого замикання в момент переходу крапель металу;
- зварювальний струм відображається лише як індикатор фактичного значення [10, 11].

Процес CMT виконується з використанням повністю цифрових інверторних джерел живлення для MIG/MAG зварювання з блоком дистанційного керування та блоком охолодження пальника. Для забезпечення реверсу дроту установка має комплектуватись високо-динамічним вбудованим у ручний або роботизований зварювальний пальник механізм подачі дроту та дротовим буфером, який забезпечує незалежність приводів основного механізму подачі та механізму пальника [12].



Мета роботи. Дослідження впливу режимів роботи зварювального джерела на твердість наплавленого металу та обґрунтування параметрів роботи комплексу обладнання для забезпечення технології відновлення спрацьованих поверхонь деталей машин методом автоматизованого наплавлення зносостійкого шару металу в середовищі захисних газів.

Методики та матеріали досліджень. Для виконання технологічного процесу наплавлення пропонується використовувати комплект обладнання фірми Fronius (рис. 1), до якого входить зварювальне джерело живлення CMT 4000 Advanced, механізм подачі дроту VR 7000 CMT, пульт дистанційного керування RCU 5000i, пальник Robacta Drive CMT з шланговим пакетом Fronius ROBOTER BRENNER з дровим буфером [7, 12, 15].

Під час досліджень задавались три різні режими роботи джерела живлення: Standard – стандартний; Synergic – синергетичний; Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу. На цих режимах здійснювали наплавлення дослідних зразків зі сталі S235 (аналог сталі 3кп) для подальшого дослідження їх впливу на твердість наплавленого шару.



Рисунок 1 – Загальний вигляд установки для наплавлення

Під час наплавлення забезпечувались поперечні коливання електрода, перпендикулярно до напрямку переміщення головки пальника. Це сприяло утворенню рівного широкого наплавленого валика при малій глибині проплавлення основного металу. Для переміщення пальника та задачі траєкторії його руху використовувався зварювальний візок Fronius FlexTrack 45 Pro з пультом дистанційного керування (див. рис. 2). Візок оснащений модулем для маятникового переміщення пальника (рис. 3), який може працювати в чотирьох різних режимах коливального руху. В його налаштуваннях задавались коливання



великої амплітуди при малій частоті [12].

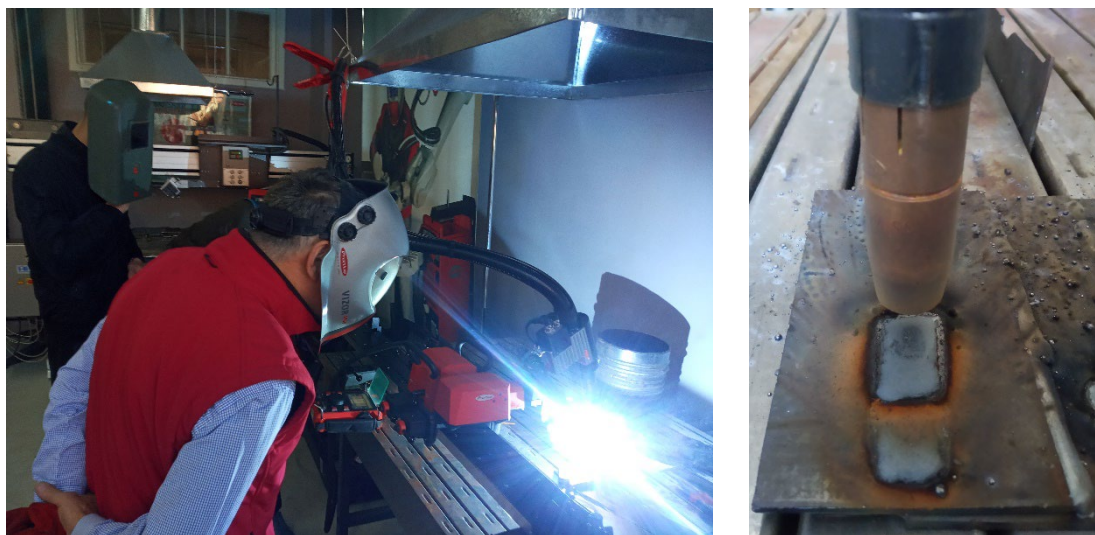


Рисунок 2 – Візок Fronius FlexTrack 45 Pro з пристроєм маятникового переміщення пальника FOU 30/ML10, пальником Robacta Drive CMT та пультом керування

Для формування наплавленої поверхні використовували безшовний порошковий дріт UTR AF ROBOTIC 6011 [4]. Це NiB-легований дріт для наплавлення, який дозволяє отримувати характеристики і структуру зварного шва такі ж, як і в хромованих сплавах, має відмінну стійкість до стирання піском та іншими мінералами. Виробник рекомендує використовувати його для ремонту та відновлення обладнання, яке працює на гірничодобувних та сталеплавильних заводах, а також обладнання і машин будівельної промисловості, сільського господарства, дорожньо-будівельної техніки, ґрунтообробних машин, конвеєрних ланцюгів, змішувальних лопатей, деталей цементних насосів тощо. За механічними властивостями матеріалу, твердість наплавленої поверхні забезпечується в межах 62...67 HRC.

З метою стабілізації дуги під час наплавлення використовувалась суміш аргону з додаванням 18 % вуглекислого газу [5]. Це дозволило істотно підвищити стійкість горіння дуги та покращити якість формування наплавленого шару.

Результати досліджень. В процесі наплавлення сталевий зразок встановлювався на зварювальному столі довшою стороною вздовж лінії переміщення пристрою лінійного переміщення пальника таким чином, щоб напрямок маятнікового переміщення останнього був паралельним до коротшої сторони зони наплавлення.



а)

б)

Рисунок 3 – Процес на плавлення (а) та отриманий зразок (б)

Твердість отриманого наплавленого шару металу визначали за допомогою стаціонарного твердоміра ТР 2140 (рис. 4), призначеного для вимірювання твердості металів і сплавів по методу Роквелла відповідно з ДСТУ 3869-99 [3].



Рисунок 4 – Дослідження твердості наплавленого шару

Отримані результати досліджень відображені на рисунку 5.

В результаті досліджень було встановлено, що середня твердість наплавленого шару металу, отриманого в режимі Standard становила 58,6 HRC, в режимі Synergic вона складала 63,5 HRC, а в режимі CMT сягнула 65,2 HRC.

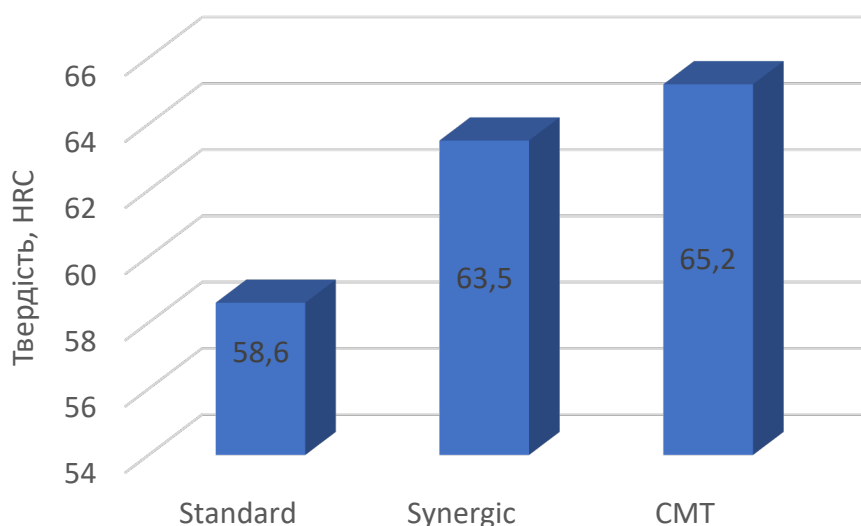


Рисунок 5 – Середня твердість наплавленого шару металу

Висновки.

Аналізуючи отримані результати можна зробити висновок, що режим роботи зварювального джерела впливає на якість наплавленого шару металу.

Встановлено, що для наплавлення деталей машин спеціальними антифрикційними матеріалами високої твердості в середовищі захисних газів доцільно застосовувати режим СМТ, який дозволяє суттєво зменшити теплову дію дуги на основний матеріал деталі, мінімізувати його змішування з наплавленим шаром та забезпечити максимальну твердість наплавленої поверхні.

Досліджувана в роботі технологія може бути застосована для відновлення робочих органів ґрунтообробної, дорожньої та кар'єрної техніки. Вона дозволяє наплавити за один прохід до 2 мм відновлювального шару матеріалу забезпечуючи при цьому закладену в матеріалі спеціальних зварювальних твердість.

Література:

1. Гуменюк І.В. Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
2. Драган С.В. Джерела живлення для зварювання плавленням: навчальний



посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 320 с.

3. ДСТУ 3869-99. Державна повірочна схема для засобів вимірювань твердості за шкалами Роквелла і Супер-Роквелла. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71955.

4. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрiт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT). [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838.

5. ДСТУ ISO 14175:2004 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (ISO 14175:1997, IDT). [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50209.

6. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання: навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.

7. Пальники для роботизованого зварювання MIG/MAG. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnologiyi/informatsiya-pro-produkt/palnyky-robotyzovanoho-zvaryuvannya-mig-mag?referer=>.

8. Рябцев І. А. Наплавка деталей машин і механізмів. Київ: Екотехнологія, 2004. 160 с.

9. Швець О., Березовецький С., Коруняк П. Вплив корекції дуги на параметри процесу MIG/MAG зварювання. Indicators characterizing the role of transport in regional management infrastructure development. The Future of Science, Technology and Economy: Collection of Scientific Papers “International Scientific Unity” with Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference. March 19-21, 2025. Sofia, Bulgaria. 349-352 p. <https://doi.org/10.70286/isu-19.03.2025>.

10. Швець О. П., Березовецький С. А., Коруняк П. С. Вплив параметрів режиму MIG-пайки на формування зварного шва. Perspectives of contemporary science: theory and practice. Proceedings of the 2nd International scientific and



practical conference. SPC —Sci-conf.com.ua. Lviv, Ukraine. 2024. Pp. 341 -344.
[Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://sciconf.com.ua/>

11. Швець О., Березовецький С., Коруняк П., Баранович С., Шеремета Р. Вплив режимів MIG-паяння на параметри зварних швів з врахуванням синергетичного ефекту роботи зварювального півавтомата. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агроінженерія». 2024. № 28. с. 25-31. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.024>.

12. Швець О. П., Талабко Ю. І. Технологічний комплекс для відновлення спрацьованих деталей наплавленням. Modern research in world science. Proceedings of the 5th International scientific and practical conference. SPC -Sci-conf.com.ua. Lviv, Ukraine. 2022. Pp. 21-27. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modernresearch-in-world-science-7-9-08-2022-lviv-ukrayina-arhiv/>.

13. EVS-EN 1011-1: 2009. Welding. Recommendations for welding of metallic materials. General guidance for arc welding.

14. MIG/MAG. Навчальні документи. [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.fronius.com/~~/downloads/Perfect%20Welding/Training%20Documents/PW_TD_MIG_MAG.pdf.

15. Trans Synergic 4000/5000 Trans Puls Synergic 2700 Trans Puls Synergic 3200/4000/5000 TIME 5000 Digital CMT 4000 Advanced. Джерела струму MIG/MAG. Інструкція з експлуатації. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.fronius.com/~~/downloads/Perfect%20Welding/Operating%20Instruction/s/42%2C0426%2C0114%2CRU.pdf>.

Abstract. *Abstract. The present paper sets forth the findings of research conducted into the effect of welding power source operating modes (welding modes) on the hardness of deposited metal. The research study examined three distinct power source operating modes: The following transfer mechanisms are to be considered: Standard, Synergic and Cold Metal Transfer. The experimental studies were conducted using a set of serial welding equipment from Fronius. The effect of welding power source operating modes on the hardness of the deposited metal layer was evaluated using the Rockwell method.*

The research demonstrated that the operating mode of the welding source has a significant impact on the quality of the deposited metal layer. The mean hardness of the deposited metal layer obtained in Standard mode was 58.6 HRC, in Synergic mode it was 63.5 HRC, and in CMT mode it reached 65.2 HRC. This finding suggests that when surfacing machine parts with high-hardness anti-



friction materials in a protective gas environment, it is recommended to employ the CMT mode. This approach has been shown to significantly reduce the thermal effect of the arc on the base material of the part, minimise its mixing with the deposited layer, and ensure maximum hardness of the deposited surface.

The technology examined in this study has the potential to facilitate the restoration of operational components in various sectors, including soil cultivation, road construction, and quarrying machinery. The process enables the deposition of up to 2 mm of the restoration layer in a single pass, while ensuring the hardness of the special welding material embedded in the material.

Key words: *surfacing, welding source, operating mode, hardness.*

Статтю надіслано: 15.11.2025 р.

© Швець О.П.