

СПЕЦИФІКА ВИКОРИСТАННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ДУГИ ТА ДУГИ ПОСТІЙНОЇ ПОТУЖНОСТІ В 3D ТЕХНОЛОГІЯХ НАПЛАВЛЕННЯ

Є.В. Шаповалов, А.С. Новодранов, В.М. Ващенко, О.М. Савицький, Д.Д. Топчев

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: artur19940731@gmail.com

У роботі представлені результати дослідження впливу дуги періодичної дії та дуги постійної потужності при багатопаровому наплавленні на якість наплавленого металу. Для реалізації наплавлення застосовувався комплекс обладнання на базі антропоморфного робота, оснащеного системою машинного зору. Для забезпечення високої якості наплавлення робототехнічну систему оснащено системою машинного зору на базі нейромережових технологій для виявлення поверхневих дефектів. Показано, що кожний спосіб наплавлення має свої переваги. Багатопарове наплавлення дугою періодичної дії, за рахунок подвійного термоцикування, забезпечує в наплавленому металі дрібнозернисту структуру. Шари кристалізації фактично не проявляються. При наплавленні дугою постійної потужності монолітну структуру отримати не вдалося, шари кристалізації проявляються чітко. Проте даний спосіб характеризується вищою продуктивністю через відсутність імпульсів і пауз. Дослідження механічних властивостей показали, що в усіх випадках наплавлений низьковуглецевий метал має високі показники пластичності при достатньо високій міцності. Бібліогр. 14, табл. 6, рис. 5.

Ключові слова: 3D технологія, антропоморфний робот, система машинного зору, дуга періодичної дії, дуга постійної потужності

Вступ. В останні роки в промислово розвинутих країнах інтенсивно впроваджується у виробництво такий напрямок як 3D технології. В основі даного напрямку лежить широке застосування робототехніки та програмування для виготовлення кінцевого продукту за допомогою комп'ютерних 3D моделей виробів, що мінімізує непродуктивні витрати матеріалів, припуски на механічну обробку, якщо така взагалі потрібна, скорочує технологічний цикл виготовлення виробів. Крім цього, зводиться до мінімуму або практично повністю виключається вплив людського фактора на технологічний процес виробництва, що підвищує якість виробів та стабілізує їх експлуатаційні характеристики від виробу до виробу.

Одним із процесів, який доцільно застосовувати при виготовленні металоконструкцій із використанням 3D технологій, є дугове наплавлення в захисних газах. Даний спосіб наплавлення дозволяє в широких межах регулювати тепловий стан металу зварних з'єднань і забезпечувати високу якість наплавленого металу [1–10].

Тому головною метою роботи було порівняння впливу вказаних способів циклічного чергування нагріву та охолодження на якість наплавленого металу при багатопаровому наплавленні, у тому числі й зносостійкими матеріалами. Для цього необхідно було вирішити ряд завдань:

– обґрунтувати вибір обладнання для вирішення визначеної задачі; розробити методику ідентифікації поверхневих дефектів;

– дослідити якість формування низьковуглецевого наплавленого металу, його структуру та механічні властивості, а також твердість зносостійкого шару при наплавленні без підігріву, який вимагає додаткових енерговитрат і робочого часу.

Обладнання, матеріали та методика проведення експериментів. Для забезпечення чистоти експериментальної частини роботи необхідно звести до мінімуму вплив людського фактора на результати експериментів. Тому обладнання повинно забезпечувати максимальний рівень автоматизації процесу наплавлення. Для цього найкраще використовувати робототехнічний комплекс. До його складу входить: зварювальний антропоморфний робот Fanuc ARC Mate 100iC/7L (рис. 1, а), контролер робота (рис. 1, б), зварювальне інверторне джерело живлення (рис. 1, в), система машинного зору (рис. 1, г). Порівняно зі звичайними автоматами для зварювання або наплавлення, зварювальний робот забезпечує більшу точність позиціонування пальника, гнучкість перепрограмування на іншу задачу, а також більші можливості для автоматизації процесу наплавлення.

Антропоморфний робот призначений для автоматизації процесу наплавлення. До переваг застосування роботів при наплавленні виробів слід віднести високу точність ($\pm 0,03$ мм) відтворення запрограмованої траєкторії наплавлення, а також високу продуктивність. Висока продуктивність наплавлення за допомогою робота пояснюється можливістю безперервної роботи з високою точністю

Шаповалов Є.В. – <https://orcid.org/0000-0001-5063-9556>, Новодранов А.С. – <https://orcid.org/0000-0002-3380-3745>, Ващенко В.М. – <https://orcid.org/0009-0008-1476-3689>, Савицький О.М. – <https://orcid.org/0000-0002-2605-9647>, Топчев Д.Д. – <https://orcid.org/0000-0002-7885-7907>

© Є.В. Шаповалов, А.С. Новодранов, В.М. Ващенко, О.М. Савицький, Д.Д. Топчев, 2025

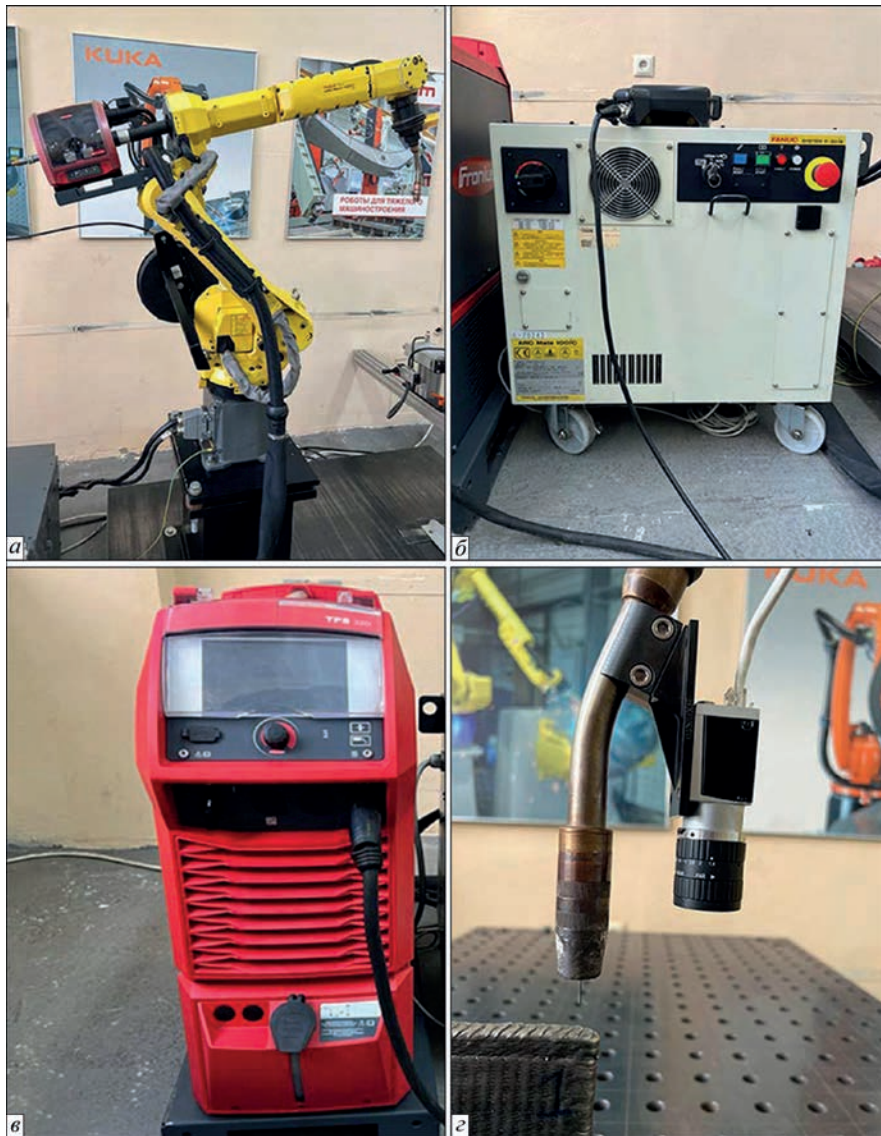


Рис. 1. Робототехнічна система: *а* – зварювальний робот; *б* – контролер роботи; *в* – зварювальне джерело живлення; *г* – система машинного зору

та швидкістю, а також автоматичним контролем параметрів наплавлення. Швидкість переміщення робота між позиціями може сягати 250 мм/с. За допомогою цифрових входів/виходів робот може динамічно змінювати швидкість подачі дроту, швидкість переміщення пальника, зварювальний струм і напругу, а також величину вильоту електрода.

Наплавлення основних шарів металу виконувалося трьома способами низьковуглецевим низьколегованим дротом суцільного перерізу Esab OK Aristo Rod 12.50 діаметром 1,2 мм, характеристики та хімічний склад якого наведено в табл. 1. В якості захисного газу використовувалася суміш 85 % Ar + 15 % CO₂.

Перший спосіб передбачав наплавлення в імпульсному режимі (дугою періодичної дії) за алгоритмом:

в імпульсі – зупинка пальника та наплавлення, в паузі – переривання дуги та переміщення пальника. Наплавлення виконувалося без коливань електрода.

Другий спосіб передбачав наплавлення в імпульсному режимі (дугою періодичної дії). На відміну від першого способу, в імпульсі відбувалося переміщення пальника та наплавлення, а в паузі – переривання дуги та зупинка. Наплавлення виконувалося із круговими коливаннями електрода.

Третій спосіб передбачав наплавлення дугою постійної потужності із круговими коливаннями електрода.

Параметри режимів наплавлення для трьох вищезазначених способів наведені в табл. 2. Між проходами відбувалося охолодження попередньо-

Таблиця 1. Характеристики дроту для наплавлення основних шарів металу

Марка дроту	Тип дроту	Діаметр дроту, мм	Хімічний склад, %		
			C	Si	Mn
Esab OK Aristo Rod 12.50	суцільного перерізу	1,2	0,10	0,72	1,11

го наплавленого шару до температури 70 °С. Кожний наступний прохід починався з точки закінчення попереднього. Після досягнення висоти наплавлених шарів, яка склала 130 мм (рис. 2, а), виконувалося наплавлення зносостійкими дротами (рис. 2, б). Характеристики та хімічний склад зносостійких дротів наведено в табл. 3, а параметри режиму наплавлення – в табл. 4. Висота зносостійких шарів склала 10 мм.

Із наплавленого металу вирізалися заготовки для виготовлення зразків для випробувань на розтягнення; вивчення макроструктури; дослідження твердості зносостійкого шару. Випробування на розтягування проводилися на зразках Ми 12 тип II при температурі + 20 °С. Заготовки для зразків вирізалися вздовж і впоперек шарів наплавлення. Твердість зносостійкого шару вимірювали методом Роквелла на приладі «ТК 2м 441» за шкалою С, з навантаженням 150 кгс за допомогою алмазного індентора.

Отримані результати та їх аналіз. Застосування антропоморфного робота для наплавлення без систем адаптації не може гарантувати належну якість наплавленого виробу. Тому при багатошаровому наплавленні застосовувалася апаратно-програмна опція TouchSense, що дозволяє визначати поточну висоту та просторову орієнтацію наплавленого виробу, а також автоматично оновлювати координати всіх точок програми наплавлення. Основна перевага застосування опції TouchSense полягає в підтриманні однакового вильоту електрода в початковій точці наплавлення. Для підтримання однакового вильоту електрода на всій траєкторії наплавлення використовувався дуговий сенсор, а також набір програмних опцій, серед яких опції автоматичного керування напругою дуги Automatic Voltage Control (AVC) і FANUC Through Arc Seam Tracking (TAST) [11]. Опція AVC (рис. 3) призначена для забезпечення стійких енергетичних параметрів режиму наплавлення шляхом аналізу напруги електричної дуги, тим самим контролюючи

Таблиця 2. Параметри режимів наплавлення основних шарів металу

Спосіб	I, A	$V_{WF}, м/с$	$U, В$	$F, Гц$	$A, мм$	$\tau_1, с$	$\tau_2, с$	$V_R, мм/с$	$\Delta, мм$
№ 1	160	6	26	–	–	1	2	4	6
№ 2	154	5,3	26	2	0,5	1	2	4	6
№ 3	154	5,3	26	2	0,3	–	–	4	–

Примітки. I – зварювальний струм; V_{WF} – швидкість подавання дроту; U – напруга дуги; F – частота коливань; A – амплітуда коливань; τ_1 – тривалість імпульсу горіння дуги; τ_2 – тривалість паузи горіння дуги; V_R – швидкість переміщення пальника; Δ – крок переміщення пальника.

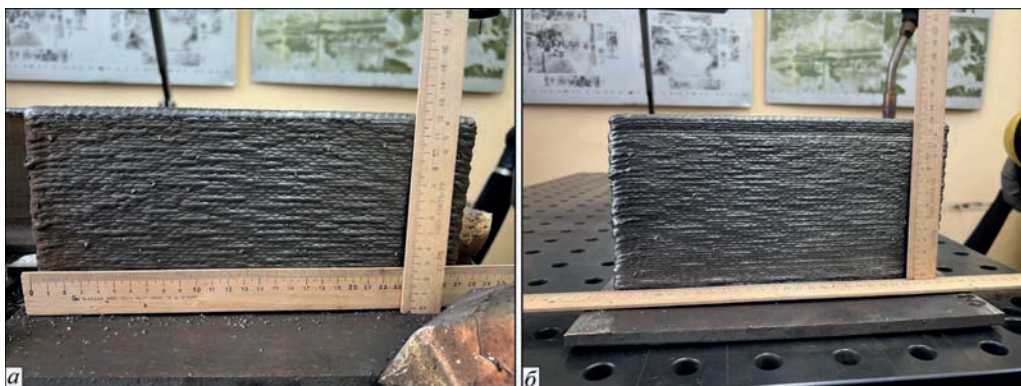


Рис. 2. Загальний вигляд зразка, наплавленого: а – низьковуглецевим низьколегованим дротом Esab OK Arisnto Rod 12.50 (висота 130 мм); б – зносостійким дротом Esab OK Autrodur 58 GM (верхній зносостійкий шар 10 мм)

Таблиця 3. Параметри дроту для наплавлення зносостійких шарів металу

Спосіб	Марка дроту	Заявлена твердість, HRC	Тип дроту	Діаметр дроту, мм	Хімічний склад, %							
					C	Si	Mn	Cr	W	Co	Mo	V
№ 1	Esab OK Tubrodur 53 GM	50...55	Порошковий	1,6	0,4	1,1	1,1	1,8	8,0	2,0	0,4	0,4
№ 2	Esab OK Autrodur 58 GM	58...60	Суцільний	1,2	1,04	1,82	1,87	0,48	–	–	–	–
№ 3	Esab OK Autrodur 58 GM	58...60	Суцільний	1,2	1,04	1,82	1,87	0,48	–	–	–	–

Таблиця 4. Параметри режиму зносостійкого наплавлення

Спосіб	I, A	$V_{WF}, м/с$	$U, В$	$F, Гц$	$A, мм$	$\tau_1, с$	$\tau_2, с$	$V_R, мм/с$	$\Delta, мм$
№ 1	220	4,0	30	–	–	1	2	4	6
№ 2	154	5,3	26	2	0,5	1	2	4	6
№ 3	154	5,3	26	2	0,5	–	–	4	–

величину дугового проміжку. У випадку зміщення зварювального шва вгору або вниз відносно зварювальної траєкторії напруга дуги відповідно зменшується або зростає. Це відбувається внаслідок зміни опору дуги, що викликано зміною довжини дуги. Програмування траєкторій наплавлення може виконуватися як безпосередньо з пульта керування роботом, так і за допомогою спеціалізованого програмного пакету для моделювання Fanuc Roboguide.

При наплавленні можливе утворення таких дефектів як тріщини. Тому для гарантування повної відсутності вказаних дефектів у наплавленому шарі застосовано систему машинного зору на базі нейромережових технологій. Дана система шляхом своєчасного виявлення поверхневих дефектів сповіщає оператора робототехнічного комплексу про виявлений дефект у вигляді стоп кадру на моніторі із зазначенням типу дефекту та місця розташування, тим самим запобігаючи його розповсюдженню в наступні шари. Система машинного зору включає в себе промислову високошвидкісну камеру Basler acA1920-48gc і контролер обробки зображень. Камера оснащена протоколом передачі даних GigabitEthernet, що дозволяє досягти швидкості сканування 50 кадрів на секунду. Контролер обробки кадрів виконує функцію попередньої обробки зображень, а саме, нормалізацію яскравості та контрастності, видалення шуму та зміну розміру зображення до 640×640 пікселів. Камера жорстко закріплена позаду пальника робота, що дозволяє провести процедуру калібрування її координат відносно системи координат робота. Така процедура необхідна для подальшого визначення фізичних розмірів і розміщення дефектної області відносно наплавленого шару.

Програмну частину даної системи створено на базі моделі згорткової нейронної мережі

YOLO-NAS. Вибір даної моделі обумовлений її високою швидкістю одночасно з високим рівнем точності. Для навчання нейронної мережі зібрано 62 кольорових зображень поверхневих дефектів типу тріщина. Після розмітки дефектних зон на зображеннях і застосування методу аугментації, тобто штучного збільшення набору даних для навчання шляхом геометричних і кольорових трансформацій, отримано набір із 248 кадрів. Навчання моделі тривало 300 епох, що в реальному часі складало приблизно 4 год. Варто вказати, що тривалість навчання безпосередньо залежить від потужності обладнання, на якому воно відбувається. Результат розпізнавання дефектів на поверхні наплавленого шару представлено на рис. 4. Інформація про виявлені дефекти надається у форматі JSON для використання в подальшому в розрахунках геометричних розмірів дефектів та їх розміщення відносно наплавленого шару.

Сканування поверхні наплавленого шару виконується під час його охолодження, між проходами, що економить виробничий час. У процесі сканування система машинного зору сповіщає оператора робототехнічного комплексу в разі виявлення тріщин.

Застосований метод контролю якості показав повну відсутність гарячих тріщин у наплавлених шарах металу, в тому числі й у зносостійких. Це підтверджують також і поперечні макрошліфи (рис. 5). Видно, що тріщин, несплавлень, зашлакувань немає. Аналіз макрошліфів металу, наплавленого трьома різними способами, показує, що при наплавленні дугою періодичної дії фактично не проявляються шари кристалізації (рис. 5, а, б). Метал має дрібнокристалічну, близьку до монолітної, структуру.

При наплавленні дугою постійної потужності, навпаки, шари кристалізації проявляються чітко

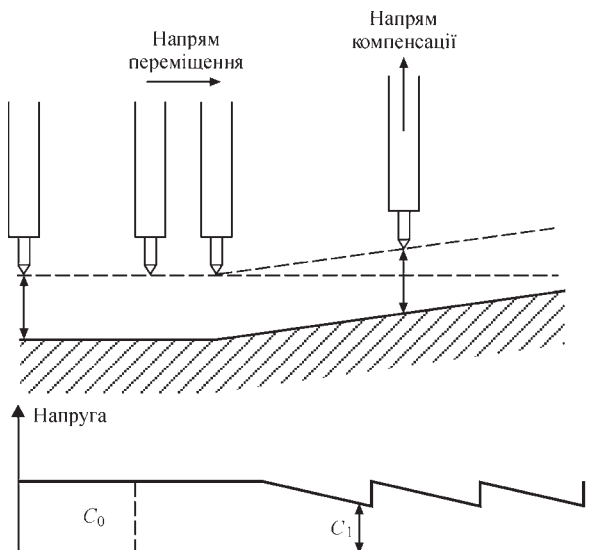


Рис. 3. Принцип роботи опції Fanuc Automatic Voltage Control: C_0 – опорна напруга; C_1 – зменшена напруга дуги внаслідок зміщення зварного шва вгору [11]



Рис. 4. Результат розпізнавання та класифікації поверхнього дефекту наплавленого шару

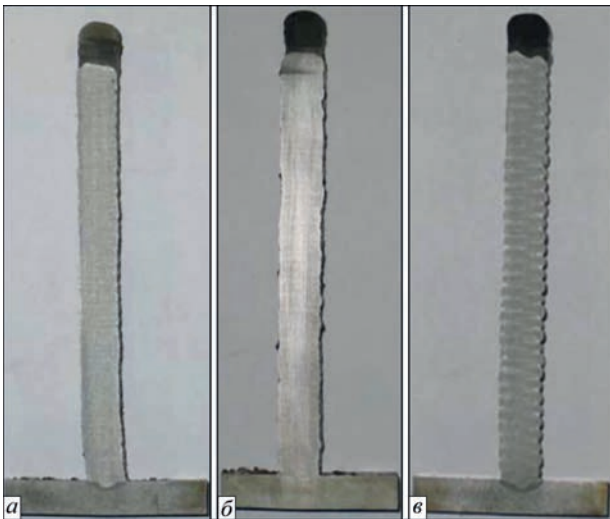


Рис. 5. Макрошліфи наплавленого металу виконаного: а, б – дугою періодичної дії; в – дугою постійної потужності

Таблиця 5. Результати випробувань на розтягування

Спосіб	Вирізка зразка	σ_r , МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %
№ 1	Вздовж наплавлення	376,90	491,40	40,50	76,40
	Поперек наплавлення	378,60	489,90	39,67	76,90
№ 2	Вздовж наплавлення	362,70	473,50	47,07	76,10
	Поперек наплавлення	361,20	468,60	39,04	74,80
№ 3	Вздовж наплавлення	389,80	489,90	41,00	77,90
	Поперек наплавлення	381,30	487,80	43,01	77,50

Примітки. σ_r – границя текучості; σ_b – границя міцності; δ – залишкове відносне видовження; ψ – залишкове відносне звуження.

(рис. 5, в). Такі відмінності можна пояснити лише тим, що при наплавленні дугою постійної потужності циклічне чергування нагріву та охолодження металу відбувається шляхом послідовного наплавлення шарів. А при наплавленні дугою періодичної дії циклічне чергування нагріву та охолодження відбувається ще й у межах одного проходу за рахунок чергування імпульсів і пауз горіння дуги. Крім цього, при наплавленні дугою періодичної дії відбувається періодична повна кристалізація ванни, що також сприяє подрібненню кристалітів [4, 5, 7, 13, 14]. Зважаючи на це, наплавлення дугою періодичної дії має переваги перед дугою постійної потужності. Вагомою перевагою наплавлення дугою постійної потужності є більша продуктивність через відсутність імпульсів і пауз.

У табл. 5 наведено результати випробувань на розтягування. Ці дані показують, що наплавлений метал має достатньо високі, як для низьковуглецевої низьколегованої сталі, показники міцності. При цьому різниця в показниках міцності для всіх трьох способів наплавлення складає 4,6 %,

Таблиця 6. Параметри твердості зносостійких шарів

Спосіб наплавлення	Твердість, HRC				
	Замір				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
№ 1	52,0	51,5	53,0	51,0	50,5
№ 2	42,0	44,0	46,0	47,0	45,0
№ 3	40,0	42,0	44,5	45,0	45,5

тобто знаходиться в межах статистичної похибки. Наплавлений метал має також і високі показники пластичності. Різниця між відносними звуженнями для усіх трьох способів наплавлення не перевищує 3,6 %, тобто в межах статистичної похибки, а різниця між відносними подовженнями досягає 9,4 %.

Таким чином, результати пошарового контролю якості наплавленого металу із застосуванням системи машинного зору, дослідження макрошліфів і результатів механічних випробувань свідчать про високу якість металу при багатшаровому наплавленні усіма трьома способами.

У табл. 6 наведено результати визначення твердості зносостійкого шару. Порівняння цих даних із заявленою твердістю (табл. 3) показує, що тільки перший спосіб наплавлення зносостійким порошковим дротом забезпечив відповідність показників твердості, отриманих у результаті експериментів і заявлених виробником. При цьому різниця між експериментальними показниками в усіх п'яти замірах не перевищує 2,5 HRC. Проте більшість показників ближчі до нижньої межі заявленого інтервалу. У випадку наплавлення зносостійкого шару другим і третім способом, а саме дротом суцільного перерізу, його твердість суттєво нижча від заявленого інтервалу.

Висновки

1. Перевагою наплавлення дугою періодичної дії є подвійне термоциклування за рахунок циклічної зміни імпульсів і пауз, а також почергового наплавлення шарів металу, що забезпечує практично монолітний наплавлений метал. Однак при цьому продуктивність, порівняно з дугою постійної потужності, знижується в 2,3 рази.

2. Наплавлений низьковуглецевий метал має високі показники пластичності ($\delta \leq 47,7\%$, $\psi \leq 77,9\%$) при достатньо високій міцності ($\sigma_b \leq 489,9$ МПа).

3. Заміри твердості на поверхні зносостійкого шару показали, що тільки наплавлення дугою періодичної дії порошковим дротом першим способом забезпечило відповідність експериментальних показників твердості та твердості, зазначеної у технічній документації на дріт. У випадку наплавлення зносостійкого шару другим і третім способом дротом суцільного перерізу його твердість суттєво нижча від твердості, зазначеної в технічній документації на зносостійкі дроти.

4. Застосування робототехнічного комплексу з інтегрованою системою машинного зору забезпечило автоматизацію процесу наплавлення, що дозволило досягти точної відповідності геометричних розмірів наплавленого зразка до заданих при моделюванні, а також відсутності поверхневих дефектів у наплавлених шарах.

Список літератури

1. Патон Б.Е. (1974) *Технология электрической сварки плавлением*. Москва, Машиностроение.
2. Стеренбоген Ю.А., Петров П.Ф. (1979) Влияние температурного интервала кристаллизации на склонность сталей к образованию кристаллизационных трещин при сварке. *Автоматическая сварка*, 7, 10–13.
3. Savitsky, A.M., Savitsky, M.M., Novikova, D.P. (2004) Influence of welding speed and duration of periodical cooling on structure formation in welded joints of hardening steels in arc welding with thermal cycling. *The Paton Welding J.*, 8, 39–43.
4. Вагнер Ф.А. (1980) Термоциклирование при сварке вольфрамовым электродом. *Сварочное производство*, 2, 4–6.
5. Савицький О.М., Савицький М.М., Кузнецов В.Д. (2005) Технології наплавлення з керованим структуроутворенням в зварних з'єднаннях. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*, 47, 24–27.
6. Nazarchuk, A.T., Snisar, V.V., Demchenko, E.L. (2003) Portioned heat input as a method to control structure of the weld and HAZ metal. *The Paton Welding J.*, 12, 34–37.
7. Савицький О.М., Савицький М.М. (2017) Вплив структури на властивості зварних з'єднань сталей, схильних до загартування. *Металознавство та обробка металів*, 4, 40–47.
8. Савицький О.М. (2005) Вплив швидкісних нагрівів на структуру вуглецевих сталей при локальній термічній дії. *Металознавство та обробка металів*, 4, 33–35.
9. Savytsky, A.M., Savytsky, M.M., Bajic, D. et al. (2018) Characteristics of structures within welding joints of hardened steel depending on the weld thermal cycle. In: *The 4th IIV South – East European Welding Congress «Safe Welded Construction by High Quality Welding»*, Belgrade, Serbia, October 10–13, pp. 1–7.
10. Прохоров Н.Н. (1976) *Физические процессы в металлах при сварке*. Москва, Металлургия.
11. FANUC Robotics America Corporation. (2013) *FANUC Robotics SYSTEM R-30iB ArcTool Setup and Operations Manual*, Document ID: MAROVAR8203131E, REV A, Version 8.20 series.
12. Савицький А.М., Савицький М.М. (2009) Управление формирования структуры металла околошовной зоны при сварке углеродистых сталей. *Праці національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. Збірник наукових праць*, 3, 95–103.

13. Савицький О.М. (2006) Керування структуроутворенням у вуглецевих сталях при локальному термічному впливі. *Металознавство та обробка металів*, 3, 13–18.
14. Nazarchuk, A.T. (2000) Improvement of process of consumable electrode welding with an intermittent arc. *The Paton Welding J.*, 7, 28–31.

References

1. Paton, B.E. (1974) *Electric fusion welding technology*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Sterenbogen, Yu.A., Petrov, P.F. (1979) Influence of crystallization temperature range on the tendency of steels to form crystallization cracks during welding. *Avtomaticheskaya Svarka*, 7, 10–13 [in Russian].
3. Savitsky, A.M., Savitsky, M.M., Novikova, D.P. (2004) Influence of welding speed and duration of periodical cooling on structure formation in welded joints of hardening steels in arc welding with thermal cycling. *The Paton Welding J.*, 8, 39–43.
4. Vagner, F.A. (1980) Thermal cycling in tungsten electrode welding. *Svaroch. Proizvodstvo*, 2, 4–6 [in Russian].
5. Savitskyi, O.M., Savitskyi, M.M., Kuznetsov, V.D. (2005) Surfacing technologies with controlled structure formation in welded joints. *Bulletin of the NTUU «Kyiv Polytechnic Institute»*, 47, 24–27 [in Ukrainian].
6. Nazarchuk, A.T., Snisar, V.V., Demchenko, E.L. (2003) Portioned heat input as a method to control structure of the weld and HAZ metal. *The Paton Welding J.*, 12, 34–37.
7. Savitskyi, O.M., Savitskyi, M.M. (2017) Influence of the structure on the properties of welded joints of steels prone to hardening. *Metaloznavstvo ta Obrobka Metaliv*, 4, 40–47 [in Ukrainian].
8. Savitskyi O.M. (2005) The influence of rapid heating on the structure of carbon steels during local thermal action. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv*, 4, 33–35 [in Ukrainian].
9. Savytsky, A.M., Savytsky, M.M., Bajic, D., Vaschenko, V.N., Shkrabalyuk, Y.M. (2018) Characteristics of structures within welding joints of hardened steel depending on the weld thermal cycle. In: *The 4th IIV South – East European Welding Congress on Safe Welded Construction by High Quality Welding*, Belgrade, Serbia, October 10–13, 1–7.
10. Prokhorov, N.N. (1976) *Physical processes in metals during welding*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
11. FANUC Robotics America Corporation (2013) *FANUC Robotics SYSTEM R-30iB ArcTool Setup and Operations Manual*, Document ID: MAROVAR8203131E, REV A, Version 8.20 series.
12. Savitskyi, A.M., Savitskyi, M.M. (2009) Control of the formation of the metal structure of the heat-affected zone during welding of carbon steels. *Pratsi Natsionalnoho Un-tu Korablebudivanniya*, 3, 95–103 [in Russian].
13. Savitskyi, O.M. (2006) Control of structure formation in carbon steels under local thermal influence. *Metaloznavstvo ta Obrobka Metaliv*, 3, 13–18 [in Ukrainian].
14. Nazarchuk, A.T. (2000) Improvement of process of consumable electrode welding with an intermittent arc. *The Paton Welding J.*, 7, 28–31.

SPECIFICS OF USING PULSED ARC AND CONSTANT POWER ARCS IN 3D WELDING TECHNOLOGIES

E.V. Shapovalov, A.S. Novodranov, V.M. Vashchenko, O.M. Savytskyi, D.D. Topchev

E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU. 11 Kazymyr Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: artur19940731@gmail.com

The paper presents the results of the study of the influence of the periodic action and constant power arcs in multilayer surfacing on the quality of the deposited metal. An anthropomorphic robot-based equipment complex with a machine vision system was used for the surfacing process. To ensure the high quality of surfacing, the robotic system is equipped with a machine vision system based on neural network technologies to detect surface defects. It is shown that each surfacing method has its own advantages. Owing to double thermocycling, multilayer surfacing using a periodic arc ensures a fine-grained structure in the deposited metal. Crystallisation layers are almost invisible. It was impossible to produce a monolithic structure in surfacing using a constant power arc, and the crystallisation layers were clearly visible. However, this method is characterised by higher efficiency due to the absence of pulses and pauses. Studies of mechanical properties have shown that in all cases the deposited low-carbon metal has high indices of ductility at sufficiently high strength. 14 Ref., 6 Tabl., 5 Fig.

Keywords: 3D technology, anthropomorphic robot, machine vision system, periodic arc, constant power arc

Отримано 25.10.2024

Отримано у переглянутому вигляді 21.01.2025

Прийнято 04.03.2025