

УДК 621.791

**ВПЛИВ РЕЖИМІВ MIG-ПАЯННЯ НА ПАРАМЕТРИ ЗВАРНИХ ШВІВ З
УРАХУВАННЯМ СИНЕРГЕТИЧНОГО ЕФЕКТУ
РОБОТИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПІВАВТОМАТА**

*Олексій Швець, к. т. н., Сергій Березовецький, к. т. н., Петро Коруняк, к. т. н.,
Сергій Баранович, к. т. н., Роман Шеремета, к. т. н.*

*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: shvets2882@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.024>

Швець О., Березовецький С., Коруняк П., Баранович С., Шеремета Р. Вплив режимів MIG-паяння на параметри зварних швів з урахуванням синергетичного ефекту роботи зварювального півавтомата

У технологічних процесах машинобудування для з'єднання одно- та різнорідних матеріалів усе частіше застосовують метод паяння в інертних газах за допомогою зварювальних півавтоматів. Цей метод ще називають MIG-паяння. Попри всі його переваги, оператори зварювального обладнання не мають чітких рекомендацій щодо вибору режимів роботи обладнання та їх впливу на параметри швів зварних з'єднань.

Дослідження процесу MIG-паяння сталі 09Г2С зварювальним півавтоматом Trans Puls Synergic (TPS) 2700 СМТ від Fronius проводили з використанням спеціального мідно-кремнієвого дроту CuSi3 діаметром 1,2 мм в захисному середовищі чистого аргону з використанням зварювальної колони, призначеної для виконання лінійних зварних швів з метою виявлення особливостей впливу режимів і параметрів технологічного процесу на форму та якість отримуваних з'єднань.

У результаті проведених досліджень встановлено, що процес MIG-паяння сталі за допомогою зварювального півавтомата апаратом Fronius TPS 2700 СМТ має певні особливості налаштування технологічних параметрів на різних режимах його роботи. Синергетика джерела живлення дозволяє задавати основні параметри процесу в певних межах залежно від обраного режиму його роботи.

Найкраща якість MIG-паяння була досягнута при роботі зварювального півавтомата в режимах Synergic та СМТ. Для зварювання листової сталі товщиною 1...3 мм на цих режимах струм зварювання слід задавати в діапазоні 90...160 А при швидкості подачі дроту 3...5 м/хв відповідно. Також встановлено, що зі збільшенням швидкості переміщення пальника ширина шва зменшується, а отже, опуклість шва зростає.

У результаті досліджень сформовані рекомендації щодо налаштування зварювального півавтомата з врахуванням синергетичного ефекту його роботи.

Ключові слова: MIG-паяння, зварні шви, параметри процесу, налаштування зварювального півавтомата.

Shvets O., Berezovetskyi S., Koruniak P., Baranovych S., Sheremeta R. Influence of MIG brazing modes on welding parameters taking into account the synergistic effect of the semi-automatic welding machine

In the technological processes of mechanical engineering, the method of brazing in inert gas using semi-automatic welding equipment is increasingly used for joining single and dissimilar materials. This method is also known as MIG brazing. Despite all its advantages, there are no clear recommendations for the operators of welding equipment regarding the choice of the operating modes of the equipment and their influence on the welding parameters.

The study of the MIG brazing process of 09Г2С steel with a Trans Puls Synergic (TPS) 2700 SMT semi-automatic welding machine from Fronius was carried out using a special copper-silicon CuSi3 wire with a diameter of 1.2 mm in a protective environment of pure argon with a welding column designed for linear welds, in order to identify the peculiarities of the influence of process modes and parameters on the shape and quality of the resulting joints.

As a result of the research, it was found that the process of MIG brazing of steel using a semi-automatic welding machine with Fronius TPS 2700 СМТ has certain characteristics of setting technological parameters in different operating modes. The synergy of the power supply allows the main process parameters to be set within certain limits, depending on the selected operating mode.

The best MIG brazing quality is achieved when the semi-automatic machine is operated in Synergic and SMT modes. To weld steel sheets with a thickness of 1...3 mm in these modes, the welding current should be set in the range of 90...160 А at a wire feed speed of 3...5 m/min respectively. It was also found that by increasing the speed of the torch movement, the width of the weld decreases, and therefore the weld bulge increases.

As a result of the research, recommendations were made for the construction of a semi-automatic welding machine, taking into account the synergistic effect of its operation.

Keywords: MIG brazing, weld seams, process parameters, semi-automatic welding machine settings.

Постановка проблеми. У технологічних процесах машинобудівних, монтажних та інших виробництв під час виконання зварювальних робіт усе частіше застосовують метод паяння в інертних газах за допомогою зварювальних напівавтоматів (MIG-паяння). Ця технологія багато в чому подібна до MIG/MAG зварювання, однак відрізняється від нього тим, що під час MIG-паяння не відбувається розплавлення основного матеріалу зварюваних деталей. Процес зварювання відбувається за допомогою суцільного твердого припою на основі міді. Електрична дуга горить між електродним дротом і зварюваним металом. Подача в зону зварювання захисного інертного газу захищає дугу і розплавлений дріт від впливу навколишнього повітря, а особливо від наявного в ньому кисню, який призводить до окиснення розплавленого металу і зниження якості зварювання.

До переваг цього способу можна віднести:

- менше розбрикування металу завдяки його подачі у зварювальну ванну без короткого замикання;
- легшу обробку зварного з'єднання завдяки меншій твердості матеріалу дроту;
- меншу деформацію деталі завдяки зниженню температури зварювання;
- зниження ймовірності пропалювання тонких деталей;
- хороше ущільнення вздовж шва.

Попри всі переваги процесу MIG-паяння та наявність на ринку сучасних зварювальних півавтоматів, які здатні його забезпечувати, зварювальники не мають чітких рекомендацій щодо вибору режимів роботи обладнання та їх впливу на параметри швів зварних з'єднань. Дослідження впливу режимів паяння на параметри зварних швів з врахуванням синергетичного ефекту роботи зварювальних півавтоматів дозволить розробити необхідні рекомендації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для виконання процесу MIG-паяння листової сталі як зварювальний електрод використовують спеціальний мідно-кремнієвий дріт (CuSi3) або бронзовий дріт (CuAl8 і CuSn6) [2; 16]. Температура плавлення таких дротів ≈ 1060 °C, що значно нижче за температуру плавлення сталювого дроту при MIG/MAG зварюванні ≈ 1650 °C. За таких умов плавиться лише присадковий метал, не розплавляючи при цьому навколишній метал у зоні зварювання. Розплав зварювального дроту формує зварний шов на

поверхні деталі, не проникаючи в основний метал. Завдяки цьому досягають низького тепловкладення та знижується ризик деформації навіть дуже тонких деталей [6; 17]. При цьому міцність з'єднань майже така, як під час зварювання. Для захисту зварювальної ванни і розплавленого дроту рекомендується інертний захисний газ аргон (Ar 100 %) [8; 16; 20].

Дослідженням процесів MIG-паяння присвячено багато праць як вітчизняних, так і закордонних вчених. Зокрема, у праці [11] обґрунтовано можливість заміни контактної точкової зварювання кузовних деталей закритого перерізу. У праці [12] встановлено, що якість процесу MIG-паяння залежить від струму, напруги та технологічної швидкості паяння. Праця [13] присвячена дослідженню впливу чистоти поверхні деталей на якість з'єднань. Авторами встановлено, що стан поверхні деталі впливає на зварне з'єднання. Так, наявність покриття на поверхні деталі може викликати дефекти в зоні зварювання. Воно також впливає на механічні властивості з'єднання.

Окремі праці присвячені дослідженню можливості з'єднання сталі з матеріалами різної міцності методом MIG-паяння. Так, у праці [18] встановлено, що нові процеси з'єднання, такі як лазерне зварювання у вакуумі, MIG-паяння алюмінію зі сталлю або нові технології для з'єднання сталі з пластмасами армованими волокнами спрямовані на створення нових можливостей для виготовлення складних конструкцій. Міцність та працездатність таких з'єднань доведена дослідженнями, викладеними у праці [15]. Її результатами встановлено, що міцність на розрив паяних з'єднань для сталей різного складу майже не відрізняється, а подекуди є вищою, ніж в основного матеріалу.

У працях [4; 5; 21] доведено, що застосування MIG-паяння дозволяє зберегти захисне покриття при з'єднанні оцинкованих деталей. Авторами встановлено, що при дуговому паянні, на відміну від дугового зварювання, захисне покриття не випаровується, а можливе лише розплавлення цинку в прилеглих до шва ділянках за рахунок меншого температурного впливу. Ділянка найбільшого пошкодження покриття при дуговому паянні не перевищує 1 мм. Корозійна стійкість з'єднань оцинкованих деталей, виконаних методом MIG-паяння, є набагато вищою від стійкості зварних з'єднань, а також самі шви є корозійностійкими.

Постановка завдання. Проведений аналіз досліджень, присвячених вивченню процесу

MIG-паяння, показав, що незначна їх частина присвячена розробці практичних рекомендацій щодо виконання цього процесу сучасними зварювальними апаратами. Знайдені відомості щодо роботи зварювального обладнання мають загальний характер і не підтверджені експериментальними дослідженнями. Тому метою нашої роботи є дослідження впливу параметрів процесу MIG-паяння конструкційної сталі з врахуванням синергетичного ефекту роботи зварювального півавтомата.

Виклад основного матеріалу. Для виконання поставленого в роботі завдання на першому етапі проводили наплавлення валиків спеціальним мідно-кремнієвим дротом CuSi3 діаметром 1,2 мм. Наплавлення здійснювали на пластині товщиною 6 мм зі сталі 09Г2С.

Для експериментальних досліджень використовували зварювальний півавтомат Trans Puls Synergic (TPS) 2700 CMT інверторного типу фірми Fronius з мікропроцесорним керуванням та вбудованим 4-роликівим механізмом подачі зварювального дроту. Апарат був оснащений пальником Fronius PullMig з додатковим механізмом подачі дроту. З основним механізмом подачі дроту він з'єднаний шланговим пакетом Pull Mig Job Master з демпферним пристроєм. Зварювання виконували в захисному середовищі чистого аргону (Ar 100 %) в автоматичному режимі за допомогою зварювальної колони APS, призначеної для лінійного переміщення пальника зварювального автомата відносно зони зварювання (виконання лінійних зварних швів) [8–10].



Рис. 1. Установка для автоматичного зварювання:

a – загальний вигляд; b – панель керування зварювальної колони; c – панель керування джерела струму

Fig. 1. Automatic welding unit:

a – general view; b – welding column control panel; c – control panel of power source

У процесі досліджень валики наплавляли в чотирьох різних режимах роботи джерела живлення: Standard – стандартний; Synergic – синергетичний; Pulse Synergic – пульсуючий синергетичний; Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу [9; 20]. Джерело живлення

було налаштоване на струм зварювання $I_{зв} = 155$ А, а швидкість зварювання (швидкість переміщення пальника) забезпечувалась зварювальною колоною на рівні $V_{зв} = 2,5$ м/хв. Загальний вигляд отриманих наплавлених валиків наведено на рис. 2.



Рис. 2. Наплавлені валики методом MIG-паяння в режимах:

CMT – Cold Metal Transfer; PS – Pulse Synergic; S – Synergic; St – Standard

Fig. 2. Welded rollers by MIG brazing in the modes:

CMT – Cold Metal Transfer; PS – Pulse Synergic; S – Synergic; St – Standard

Як бачимо (рис. 3), найкраща якість формування зварного валика отримана під час зварювання в режимі «Synergic». Дуга горіла стабільно без розбризкування розплавленого металу електродного дроту. При напавленні валиків у режимах CMT і Pulse Synergic спостерігалось

незначне розбризкування розплавленого металу та несплавлення валиків з основним матеріалом. Найгірша якість валиків була при MIG-паянні в режимі Standard. Дуга горіла нестабільно з обривами, метал розбризкувався, шов був нерівномірний з підрізами та місцями не сплавлявся

з основним металом.

Джерело живлення TPS 2700 CMT, як і більшість сучасних зварювальних півавтоматів, здатне забезпечувати ефект синергетичного керування. Цей ефект (синергетика) ґрунтується на використанні мікропроцесорних систем (мікроконтролерів) для вибору та забезпечення оптимальних величин, параметрів імпульсів і виду зварювального струму з урахуванням марки, товщини та властивостей металу виробу, а також особливостей зварювальних матеріалів: діаметра та марки дроту, виду та складу захисного газу тощо. Синергетика дозволяє користувачу змінювати всі налаштування зварювального апарата, змінюючи лише один з пара-

метрів процесу зварювання. Якщо, наприклад, змінити на апараті товщину зварюваних деталей, це спричинить зміну зварювального струму та напруги, швидкості подачі дроту і вплине на індуктивність дуги та кількість імпульсів у ланцюзі змінного струму [1; 3].

Другий етап досліджень полягав у визначенні впливу синергетики на параметри процесу MIG-паяння. У налаштуваннях джерела живлення задавалась постійна товщина зварюваної деталі та визначали значення струму зварювання $I_{зв}$, швидкості подачі дроту V_d та напруги зварювання $U_{зв}$ на різних режимах роботи півавтомата. Отримані результати досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Параметри процесу MIG-паяння металу товщиною 3 мм на різних режимах роботи зварювального півавтомата TPS 2700 CMT

Table 1. Parameters of the MIG brazing process for 3 mm thick metal in different operating modes of the TPS 2700 CMT semi-automatic welding machine

Режим MIG-паяння	Товщина деталі δ , мм	Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/хв	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Швидкість подачі дроту V_d , м/хв	Напруга зварювання $U_{зв}$, В
Synergic	3	2,5	158	5,0	14,7
Pulse Synergic			89	2,9	19,6
Cold Metal Transfer			225	9,6	20,5
Standard*			-	0-22	17,5

* Для режиму Standard джерело живлення Fronius TPS 2700 CMT відображає поточні значення зварювального струму та швидкості подачі дроту під час запалювання і горіння дуги

У результаті досліджень встановлено, що, задаючи постійне значення товщини зварюваних деталей на різних режимах роботи, мікропроцесорна система джерела живлення TPS 2700 CMT задає різні значення інших параметрів процесу зварювання. За сталої швидкості зварювання це призводить до отримання звар-

них швів з різними геометричними параметрами (табл. 2).


Розміри наплавлених валиків вимірювали електронним штангенциркулем з точністю до 0,01 мм (рис. 3). Середні значення результатів вимірювання наведені в табл. 2.



Рис. 3. Вимірювання розмірів зварного шва
Fig. 3. Measuring of weld dimensions

Таблиця 2. Параметри зварних валиків, отриманих методом MIG-паяння металу товщиною 3 мм на різних режимах роботи зварювального півавтомата TPS 2700 CMT

Table 2. Parameters of welded rolls produced by MIG brazing of 3 mm thick metal in different operating modes of the semi-automatic welding machine TPS 2700 CMT

Режим MIG-паяння	q , мм	e , мм	Вигляд шва
Synergic	1,58	6,34	
Pulse Synergic	2,21	8,28	
Cold Metal Transfer	2,27	12,88	
Standard	2,38	9,93	

У результаті досліджень встановлено, що синергетичний ефект керування працює тільки в межах обраного режиму. При постійній товщині деталей на різних режимах зварювання необхідно додатково коригувати параметри струму, подачі дроту та швидкості зварювання.

Таблиця 3. Параметри процесу MIG-паяння зварювальним півавтоматом TPS 2700 CMT

Table 3. Process parameters for MIG brazing with the TPS 2700 CMT semi-automatic welding machine

Режим MIG-паяння	Товщина деталі δ , мм		Струм зварювання $I_{зв}$, А		Швидкість подачі дроту V_d , м/хв		Напругазварювання $U_{зв}$, В	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Synergic	0,8	5,3	58	270	2,0	8,9	12,4	25,2
Pulse Synergic	0,6	5,9	17	270	1,0	10,2	15,8	25,8
Cold Metal Transfer	0,6	2,9	23	225	0,8	9,6	6,5	20,5
Standard**	-	-	-	-	0,5	22	17,2	

** У режимі Standard для джерела живлення Fronius TPS 2700 CMT можна регулювати тільки швидкість подачі дроту. Інші параметри можна визначити тільки під час горіння дуги

Оскільки одним з основних завдань технологічного процесу зварювання є отримання зварних з'єднань необхідної якості, яка характеризується властивостями металу шва та деталей у пришовній зоні, а також їх геометричними параметрами, то одними з основних характеристик зварного шва, які визначаються його геометричними параметрами, є коефіцієнт форми шва $K_\phi = e/t$ та коефіцієнт опуклості шва $K_o = e/q$ (рис. 4).

За допомогою зміни параметрів процесу зварювання (наприклад, полярності) можна забезпечити зменшення ширини шва зі збільшенням глибини проплавлення і навпаки. У першому випадку це призведе до зменшення коефіцієнтів форми та опуклості, а в іншому – до їх збільшення.

Збільшення сили струму призводить до зростання глибини проплавлення h і зменшення підсилення шва q . У результаті це забезпечує зниження коефіцієнта форми K_ϕ та коефіцієнта опуклості шва K_o . Регулюванням величини зварювального струму змінюють глибину проплавлення основного металу. Вища швидкість зварювання дає меншу ширину шва, що, своєю чергою, призводить до зменшення коефіцієнта форми та збільшення коефіцієнта опуклості.

Як уже згадувалося раніше, у процесі MIG-паяння температура плавлення дроту зна-

чно менша від температури плавлення деталі. Матеріал зварюваних деталей не розплавляється, а розплав електрода лягає зверху, не змішуючись з ним. Зразки поперечних перерізів зварних швів сталі, виконаних методом MIG-паяння, представлені на рис. 5.

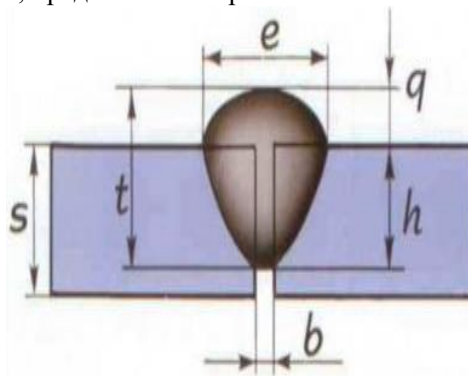


Рис. 4. Геометричні параметри стикового зварного шва:

b – зазор в стику; s – товщина деталі; e – ширина шва;
 t – товщина шва; h – глибина проплавлення; q – підсилення шва

Fig. 4. Geometric parameters of the butt weld
 b – joint gap; s – part thickness; e – weld width; t – weld thickness;

h – penetration depth; q – weld reinforcement

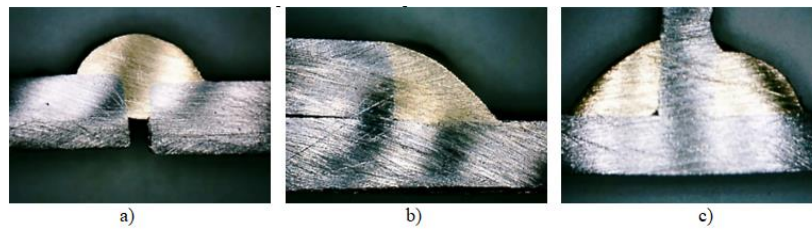


Рис. 5. Поперечні перерізи зварних швів:
а – стиковий; б – напускний; с – тавровий
Fig. 5. Cross sections of welds:
a – butt weld; b – overlap weld; c – tack weld

Як бачимо, метал розплавленого електродного дроту формує шов, не змішуючись з основним металом деталі. Оскільки основний метал не досягає температури плавлення, то його структура та властивості не змінюються, а ризик пропалювання тонкого листового матеріалу зменшується. Крім того, за відсутності змішування металів електрода і деталі під час зварювання деталей встик без зазору з аналізу геометричних параметрів шва можна виключити глибину проплавлення h , а товщина шва t буде рівна величині його підсилення q ($t = q$).

При порівнянні режимів MIG-паяння чітко видно, що в режимах Synergic та СМТ зварювані валики шва є більш однорідними і рівномірними без слідів розбризкування.

Аналіз розмірів наплавлених валиків (див. рис. 2, 3), виконаних на різних режимах, показав, що підсилення шва q для режиму СМТ суттєво збільшується порівняно з іншими режимами на нижчих струмах зварювання. Також аналіз показав, що зі збільшенням струму зварювання ширина шва збільшується. Характер зміни цієї величини однаковий для всіх режимів MIG-паяння. Аналогічна залежність спостерігається і для швидкості зварювання. Зі зростанням швидкості переміщення пальника ширина шва зменшується. Однак для забезпечення рівномірності поверхні шва та зниження розбризкування для режимів СМТ і Standard швидкість зварювання має бути в 1,5-2 рази вищою, ніж для режимів Pulse Synergic і Synergic за тих же параметрів процесу.

Окремими дослідженнями міцності швів, виконаних методом MIG-паяння, на розрив встановлено, що максимальне навантаження, яке може витримувати такий шов, всього на 10...12 % нижче від міцності аналогічних швів, виконаних звичайним MIG-зварюванням.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що процес MIG-паяння сталі за допомогою зварювального півавтомата апаратом Fronius TPS 2700 СМТ має певні особливості налаштування технологічних параметрів на різ-

них режимах його роботи. Синергетика джерела живлення дозволяє задавати основні параметри процесу в таких межах:

- товщина зварюваних деталей – 0,6...6 мм;
- струм зварювання – 17...270 А;
- напруга зварювання – 6,5...25,8 В;
- швидкість подачі дроту – 0,5...22 м/хв.

Найкраща якість MIG-паяння досягається за роботи зварювального півавтомата в режимах Synergic та СМТ. Для зварювання листової сталі товщиною 1...3 мм на цих режимах струм зварювання слід задавати в діапазоні 90...160 А при швидкості подачі дроту 3...5 м/хв відповідно.

На геометричні параметри швів також впливає швидкість зварювання. Зі збільшенням швидкості переміщення пальника ширина шва зменшується, а отже, опуклість шва зростає. Тому для отримання методом MIG-паяння з'єднань необхідної якості слід забезпечувати сталу швидкість зварювання.

Бібліографічний список

1. Гуменюк І. В., Іваськів О. В., Гуменюк О. В. Технологія електродугового зварювання: підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
2. ДСТУ EN ISO 14171:2015. Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрот електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (ENISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT). URL: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id> (дата звернення: 03.05.2024).
3. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання: навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
4. Максимова С. В., Зволінський І. В., Юрків В. В. Геометричні параметри паяного шва та його структура при плазмовому паянні оцинкованої сталі. *Автоматичне зварювання*. 2020. № 6. С. 35-39. doi: 10.37434/as2020.06.06.
5. Максимова С. В., Зволінський І. В., Юрків В. В. Геометричні параметри паяного шва та його

структура при плазмовому паянні оцинкованої сталі. *Автоматичне зварювання*. 2020. № 6. С. 35-39. doi: 10.37434/as2020.06.06.

6. Матвієнків О. М. Збереження захисного покриття при з'єднанні оцинкованих труб дуговим паянням. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2016. № 4. С. 7-14. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/4149> (дата звернення: 03.05.2024).

7. Матвієнків О. М. Напружено-деформований стан MIG-паяних з'єднань оцинкованих труб. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*. 2023. № 1(54). С. 23–30. doi: 10.31471/1993-9965-2023-1(54)-23-30.

8. Особливості прояву синергетичного ефекту при лазерно-плазмовому зварюванні сталі SUS304 з використанням випромінювання дискового лазера / В. Ю. Хаскін, В. М. Коржик, А. В. Бернацький, А. М. Войтенко, Є. В. Ілляшенко, Д. Саї. *Автоматичне зварювання*. 2020. № 4. С. 29-33. doi: 10.37434/as2020.04.04.

9. 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, 2024. P. 341-344. URL: <https://sci-conf.com.ua/> (дата звернення: 03.05.2024).

10. Швець О. П. Автоматизовані технології зварювання та різки металів: метод. рекомендації до виконання практичних робіт студентами ОС «Бакалавр» інженерних спеціальностей. Львів: ЛНУП, 2024. 48 с.

11. Швець О. П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас: метод. рекомендації до виконання практичної роботи на тему «Вивчення конструкції та органів керування зварювального апарату Trans Puls Synergic 2700 CMT» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНУП, 2023. 15 с.

12. Arc welding technology for automotive steel sheets/ S. Kodama, S. Furusako, M. Yasunobu, Y. Ishida, M. Saito, T. Nose. *Nippon steel technical report*. May 2013. No. 103. P. 83-90.

13. Berczeli M., Weltsch Z. Experimental Studies of Different Strength Steels

MIG Brazed Joints. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2018. № 46(2). P. 63-68. doi: 10.3311/PPtr.11565.

14. Cemil Çetinkaya, Ali Akay, Uğur Arabacı, Uğur Özdemir. Effect of shop-primer coating on S235JR steel on MAG weldability. *Advances in materials science*. June 2022. Vol. 22, No. 2 (72). P. 49-63. doi: 10.2478/adms-2022-0007.

15. Chovet, C., Guiheux, S. Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra-high strength steel for automotive applications. *La metallurgia Italiana*. 2006. № 7-8. P. 47-53.

16. Miklós Berczeli, Zoltán Weltsch. Experimental studies of different strength steels MIG brazed joints. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2018. № 46(2). P. 63-68. doi: 10.3311/PPtr.11565/.

17. MIG/MAG: навч. док. URL: https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Training%20Documents/PW_TD_MIG_MAG_RU.pdf (дата звернення: 03.05.2024).

18. Muthuraju K., Abburi Lakshman Kumar. Experimental studies of different thick steel sheets and variable clearance in MIG brazing. *Materials Science and Engineering 912 (2020) 032078 IOP Publishing*. doi: 10.1088/1757-899X/912/3/032078.

19. Reisgen U., Stein L. Joining of steel and dissimilar material joints with highest strength – there are other ways than conventional welding. *Автоматичне зварювання*. 2019. №2. С. 30-35. doi: 10.15407/as2019.02.04.

20. Seungmin Shin, Sehun Rhee. Porosity characteristics and effect on tensile shear strength of high-strength galvanized steel sheets after the gas metal arc welding process. *Metals*. 2018. № 8. P.1077. doi: 10.3390/met8121077.

21. 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. URL: <https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Operating%20Instructions/42%2C0426%2C0114%2CRU.pdf> (дата звернення: 03.05.2024).

22. Vinas J., Kascak L., Abel M. Mig brazed hot-dip galvanized sheets. *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11, issue 2. P. 75-85.

Стаття надійшла 13.05.2024