

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИНЕРГЕТИЧНОГО ЕФЕКТУ ПІД ЧАС НАЛАШТУВАННЯ ДЖЕРЕЛА ЗВАРЮВАЛЬНОГО СТРУМУ ІНВЕРТОРНОГО ТИПУ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ НА ПРИКЛАДІ ЗВАРЮВАЛЬНОГО АПАРАТА TPS 2700 СМТ

*Олексій Швець, к. т. н., Петро Коруняк, к. т. н., Сергій Березовецький, к. т. н.,  
Іван Городецький, 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/10.32718/agroengineering2025.29.151-160>

**Швець О., Коруняк П., Березовецький С., Городецький І., Шеремета Р. Дослідження синергетичного ефекту під час налаштування джерела зварювального струму інверторного типу з мікропроцесорним керуванням на прикладі зварювального апарата TPS 2700СМТ**

Джерела зварювального струму інверторного типу з мікропроцесорним керуванням ефективно забезпечують процеси механізованого та автоматичного зварювання. Джерела живлення сучасних зварювальних півавтоматів здатні забезпечувати ефект синергетичного керування. Цей ефект базується 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. Синергетичний режим дає змогу користувачеві змінювати всі налаштування зварювального апарата шляхом зміни лише одного параметра процесу зварювання. Однак інформація, відображена в інструкції з експлуатації зварювального апарату, не дає змоги оператору швидко підготувати його до роботи. Вивчення особливостей налаштування кожного з доступних процесів зварювання дає змогу сформулювати чіткий алгоритм послідовності та меж регулювання параметрів роботи джерела живлення, а також розробити практичні рекомендації для підготовки його до роботи.

Експериментальні дослідження проведено з метою визначення впливу синергетичного режиму на параметри процесу MIG/MAG зварювання. У процесі досліджень вивчено функціональні можливості півавтомата TPS 2700 СМТ у режимах Standard, Synergic, Pulse Synergic та Cold Metal Transfer, а також вплив параметрів процесу зварювання на якість зварних швів.

На основі аналізу особливостей налаштування кожного з доступних процесів зварювання та дослідження впливу синергетичного режиму на процес налаштування необхідних параметрів роботи зварювального джерела встановлено межі регулювання параметрів процесу зварювання. Отримано залежності параметрів роботи зварювального джерела, від яких залежить ефективність та якість процесів зварювання. Встановлено, що значення сили зварювального струму, швидкості подачі дроту та напруги зварювання залежать від товщини зварюваних деталей та діаметра електрода. Отримані залежності мають різний характер для різних режимів зварювання. Виявлено, що значення досліджуваних параметрів суттєво впливають на форму та розміри зварних швів.

Результати досліджень можуть бути використані під час розроблення практичних рекомендацій щодо особливостей використання зварювального апарата TPS 2700 СМТ на різних зварювальних операціях.

**Ключові слова:** MIG/MAG зварювання, інверторне джерело живлення, параметри процесу зварювання, налаштування зварювального апарата.

**Shvets O., Koruniak P., Berezovetskyi S., Horodetskyi I., Sheremeta R. Study of the synergistic effect when setting up an inverter-type welding current source with microprocessor control using the example of the TPS 2700SMT welding machine**

Inverter-type welding power sources equipped with microprocessor control can facilitate mechanized and automatic welding processes. Modern semi-automatic welding machines are designed to offer synergistic control, which utilizes microprocessor systems (microcontrollers) to select and ensure optimal values for pulse parameters and the type of welding current. This is achieved while considering factors such as the brand, thickness, and properties of the metal being welded, as well as the characteristics of the welding materials, including the diameter and brand of wire and the type and composition of shielding gas. The synergistic effect allows the user to adjust all settings of the welding machine by changing only one parameter of the welding process. However, the information provided in the operating instructions often does not enable the operator to quickly prepare the machine for use. By studying the specific settings for each available welding process, it is possible to develop a clear algorithm detailing the sequence and limits for adjusting the parameters of the power source, along with practical recommendations for preparing it for work.

Experimental studies were conducted to assess the influence of synergism on the parameters of the MIG/MAG welding process. The research focused on the functional capabilities of the TPS 2700 CMT semi-automatic machine across various modes, including Standard, Synergic, Pulse Synergic, and Cold Metal Transfer. Additionally, the study examined how welding process parameters affect the quality of welds.

Through this investigation, the specific features of setting up each available welding process were analyzed, and the influence of synergism on the adjustment of necessary welding source parameters was assessed. The limits for adjusting these parameters were established, and relationships were defined showing how the parameters of the welding source impact the efficiency and quality of the welding process. It was found that the values of welding current, wire feed speed, and welding voltage are closely related to the thickness of the welded parts and the diameter of the wire. These relationships exhibit different characteristics for various welding modes. Furthermore, the studied parameters significantly influence the shape and dimensions of the welds. The results of this research can inform practical recommendations regarding the use of the TPS 2700 CMT welding machine in diverse welding operations.

**Keywords:** MIG/MAG welding, inverter power source, welding process parameters, welding machine settings.

**Постановка проблеми.** Джерела зварювального струму інверторного типу з мікропроцесорним керуванням здатні забезпечувати процеси механізованого та автоматичного зварювання суцільним дротом у середовищі захисних газів, порошковим дротом, а також ручне електродугове зварювання штучними покритими або неплавкими вольфрамовими електродами [1-2; 19; 21]. Крім того, воно дозволяє виконувати процес MIG/MAG зварювання у кількох режимах [12; 19; 22]:

- режим синергетичного MIG/MAG зварювання (Synergic);
- режим імпульсного синергетичного MIG/MAG зварювання (Pulse Synergic);
- режими холодного перенесення металу (CMT, CMT-Pulse);
- режим звичайного ручного MIG/MAG зварювання (Manual).

Джерело живлення TPS 2700 CMT, як і більшість сучасних зварювальних півавтоматів, здатне забезпечувати ефект синергетичного керування. Цей ефект (синергетика) базується на використанні мікропроцесорних систем (мікроконтролерів) для вибору та забезпеченню 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 параметрів 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 і кількість імпульсів у ланцюзі змінного струму [10; 14; 16]. Встановлення необхідних параметрів роботи зварювального джерела живлення забезпечує високу ефективність процесу зварювання та якість зварних з'єднань.

Зварювальний апарат для MIG/MAG зварювання TPS 2700 CMT призначений для використання у різних технологічних процесах завдяки наявності значної кількості методів та режимів зварювання. Його органи керування дозволяють швидко налаштувати необхідні параметри процесу, є досить інформативними та зручними. Однак інформація, відображена в інструкції з експлуатації зварювального апарату, не дозволяє оператору швидко підготувати його до роботи. Вивчення особливостей налаштування кожного з доступних процесів зварювання дозволить сформулювати чіткий алгоритм послідовності та меж регулювання параметрів роботи джерела живлення, а також розробити практичні рекомендації щодо підготовки його до роботи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За рекомендаціями [12; 22] налаштування параметрів процесу MIG/MAG зварювання апаратом TPS 2700 CMT починають із вибору потрібного способу зварювання. Для цієї моделі джерела живлення доступні чотири основні режими механізованого зварювання. Далі для обраного режиму вибирають тип присадкового матеріалу (зварювального дроту), його діаметр та необхідний захисний газ.

Залежно від способу використання зварювального обладнання та параметрів зварного з'єднання в апараті цієї марки передбачено можливість вибору необхідного режиму роботи (2-тактного, 4-тактного, спеціального 4-тактного або точкового зварювання) [15]. Однак слід пам'ятати, що у деяких випадках параметри, налаштовані на панелі управління одного з компонентів зварювальної системи (наприклад, пристрої подачі дроту або пульта дистанційного керування), не можна змінити на панелі керування джерела струму. Так, наприклад, під час використання пальників із функцією регулювання всі значення параметрів, задані за допомогою регулятора та кнопок, зберігаються до наступної зміни. Це правило також діє у разі

тимчасового вимкнення та повторного вмкнення джерела струму [6; 10; 22].

Під час підготовки зварювального апарата до роботи оператор обирає один із параметрів, за яким задається потужність зварювання. Такими параметрами є товщина зварюваних кромок, зварювальний струм і напруга або швидкість подачі дроту [13]. Значення обраного параметра встановлюють за допомогою регулятора, а його величина відображається на цифровому дисплеї, розташованому над ним. Перелічені параметри процесу безпосередньо пов'язані між собою. Оскільки зварювальний півавтомат працює в синергетичному режимі, для налаштування режиму зварювання достатньо змінити один із них, після чого інші автоматично встановлюються відповідним чином [7; 12].

У деяких випадках для досягнення оптимальних результатів зварювання необхідно корегувати процес під час зварювання шляхом зміни додаткових параметрів, а саме довжини та динаміки дуги. Для корекції довжини дуги в апараті TPS 2700 CMT можна здійснювати корекцію довжини дуги. Мінусові значення цього параметра відповідають меншій довжині дуги, а додатні – більшій [8].

При MIG/MAG зварюванні в режимі «Synergic» існує можливість корекції сили відриву крапель (корекції динаміки дуги), що дозволяє корегувати енергію відриву крапель розплавленого металу. При стандартному MIG/MAG зварюванні із режимом «Synergic» це дозволяє змінювати динаміку короткого замикання у момент переходу крапель металу, забезпечуючи більш жорстку та стабільну дугу (мінусові значення), нейтральну дугу (нульове значення) та м'якшу дугу з меншою кількістю бризок при додатних значеннях динаміки [12; 18; 22].

Технологія стандартного ручного MIG/MAG зварювання – це зварювання без функції «Synergic». Зміна одного з параметрів автоматично не змінює налаштування усіх інших. Усі параметри роботи зварювального півавтомата необхідно налаштувати окремо відповідно до вимог процесу зварювання [5; 15]. У разі вибору стандартного MIG/MAG зварювання у ручному режимі для корегування користувачу доступні швидкість подачі дроту, зварювальна напруга, корекція динаміки короткого замикання у момент переходу крапель металу. Значення зварювального струму відображається лише як індикатор фактичного значення.

Для налаштування параметрів, необхідних для зварювання з використанням «CMT» процесу потрібно вибрати один із способів зварювання: «CMT» або «CMT-PULS» [5; 11; 22]. Під час вибору

цього процесу, окрім сталевих і нержавіючих дротів, стають доступними присадкові матеріали для зварювання сталі та алюмінію, а також для MIG-пайки (CuSi 3, AlSi 5 тощо) [3–4; 17–18; 20; 23]. Корекція довжини дуги при «CMT»-зварюванні здійснюється аналогічно до способу «Synergic». Однак корекція динаміки, залежно від обраного присадного матеріалу та діаметра дроту, дозволяє регулювати різні параметри:

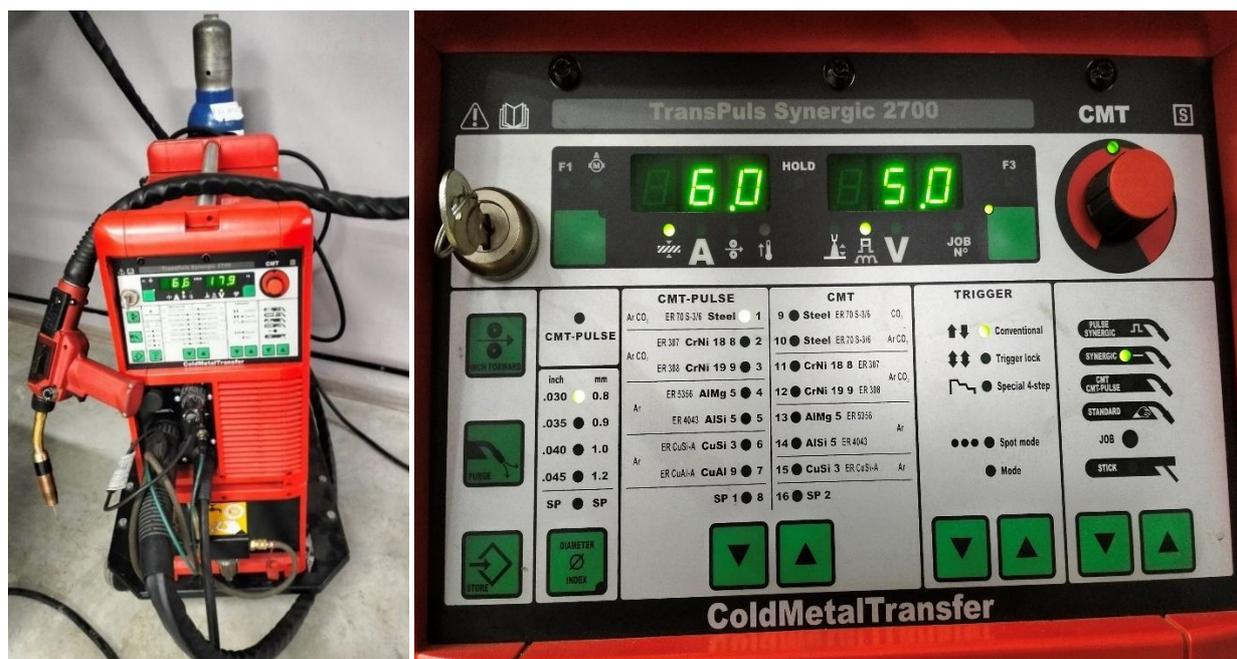
- 1) налаштування додаткового струму для керування тепловим впливом на матеріал;
- 2) зміни динаміки короткого замикання у момент переходу крапель металу;
- 3) налаштування циклів пульсування при гарячому старті;
- 4) налаштування часу гарячого старту;
- 5) корекція імпульсу для плавного регулювання сили відриву крапель.

**Постановка завдання.** Наше завдання – визначення функціональних можливостей зварювального півавтомата Trans Puls Synergic 2700 CMT, а саме встановлення впливу синергетики на залежності струму та напруги зварювання від товщини зварюваних деталей, впливу заданого діаметра зварювального дроту на швидкість його подачі, струм та напругу зварювання та вплив корекції довжини дуги на напругу зварювання та якість зварних швів.

**Виклад основного матеріалу.** Завдання експериментальних досліджень полягало у визначенні впливу синергетики на параметри процесу MIG/MAG-зварювання. У процесі досліджень півавтомат TPS 2700 CMT міг працювати в чотирьох різних режимах роботи: «Standard» – стандартний; «Synergic» – синергетичний; «Pulse Synergic» – пульсуючий синергетичний; «Cold Metal Transfer» (CMT) – холодне перенесення металу. На цих режимах здійснювали дослідження функціональних можливостей півавтомата та впливу параметрів процесу зварювання на якість зварних швів (рис. 1) [9; 17].

У налаштуваннях джерела живлення задавали постійну товщину зварюваної деталі та визначали значення струму зварювання  $I_{зв}$ , швидкості подачі дроту  $V_d$  і напруги зварювання  $U_{зв}$  за різних режимів роботи півавтомата. Під час досліджень значення діаметра зварювального дроту було задано 1,2 мм. Отримані результати досліджень наведені в табл. 1.

Залежності параметрів процесу зварювання від товщини металу відображені на рис. 2–4.



а)

б)

**Рис. 1.** Загальний вигляд (а) та панель керування (б) зварювального півавтомата Trans Puls Synergic 2700 CMT

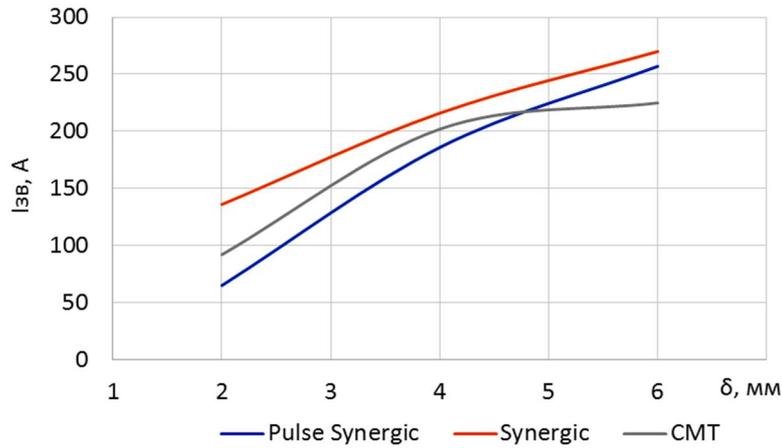
**Fig. 1.** General view (a) and control panel (b) of the Trans Puls Synergic 2700 CMT semi-automatic welding machine

**Таблиця 1.** Результати досліджень впливу товщини металу на параметри процесу MIG/MAG зварювання півавтоматом TPS 2700 CMT (при  $d_d = 1,2$  мм)

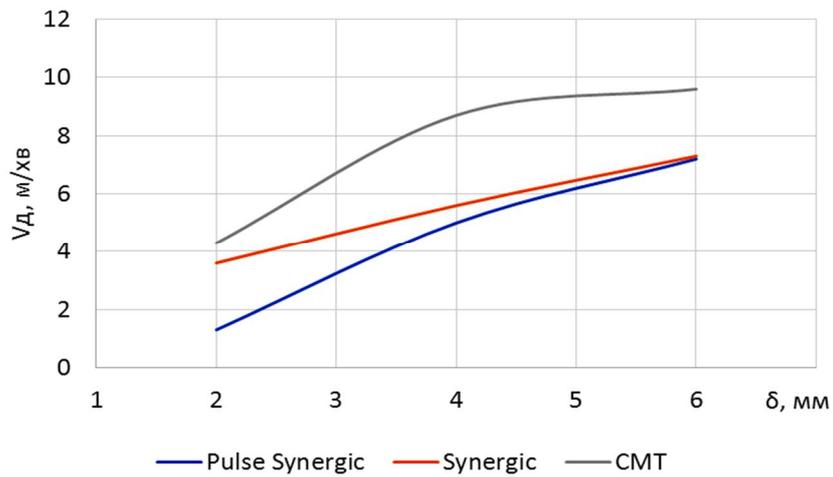
**Table 1.** Results of studies of the influence of metal thickness on the parameters of the MIG/MAG welding process with the TPS 2700 CMT semi-automatic welding machine (at  $d_d = 1.2$  mm)

Товщина деталі $\delta$ , мм	Струм зварювання $I_{зв}$ , А	Швидкості подачі дроту $V_{д}$ , м/хв	Напруги зварювання $U_{зв}$ , В
1	2	3	4
Pulse Synergic			
1	47	1,3	17,2
4	186	5,0	23,3
7	257	7,2	25,6
Synergic			
2	136	3,6	16,3
4	216	5,6	18,7
6	270	7,3	26,2
CMT			
1	92	4,3	10,1
2	202	8,7	18,8
3	225	9,6	20,5
Standard			
*	-	22	17,5

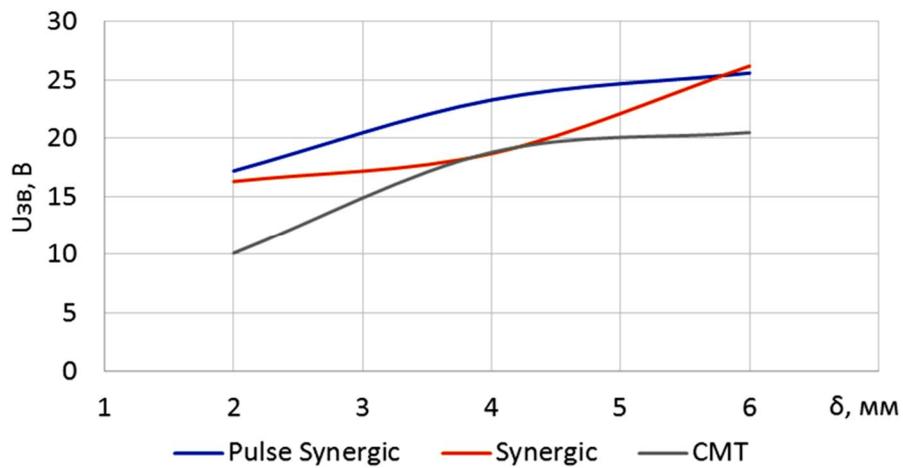
\* У режимі Standard значення товщини деталі і струму на дисплеї джерела живлення Fronius TPS 2700 CMT не відображаються. Можна змінювати тільки швидкість подачі дроту. Інші параметри можна визначити тільки під час горіння дуги [12].



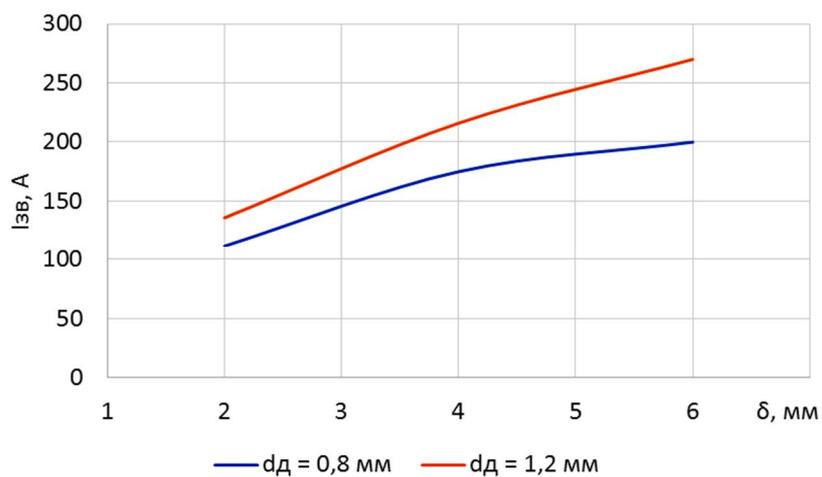
**Рис. 2.** Залежності сили зварювального струму від товщини деталі  
**Fig. 2.** Dependences of welding current on the thickness of the part



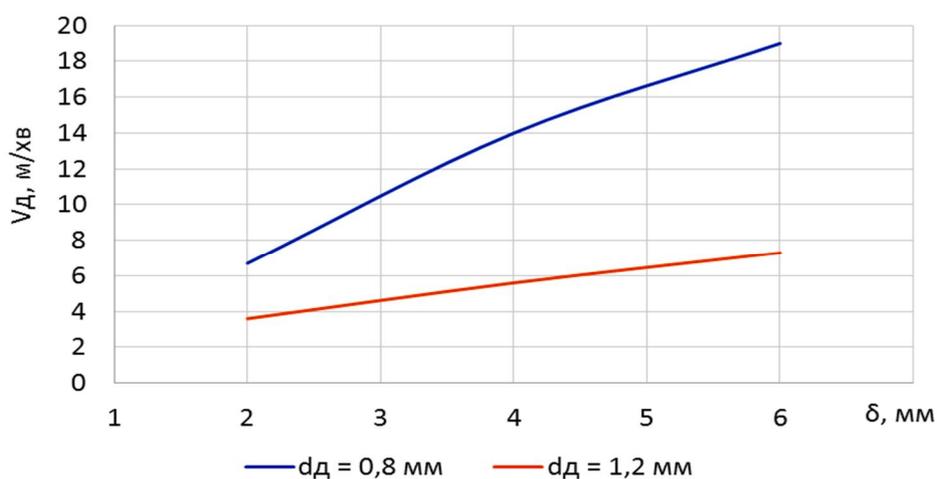
**Рис. 3.** Залежності швидкості подачі дроту від товщини деталі  
**Fig. 3.** Dependences of wire feed speed on the thickness of the part



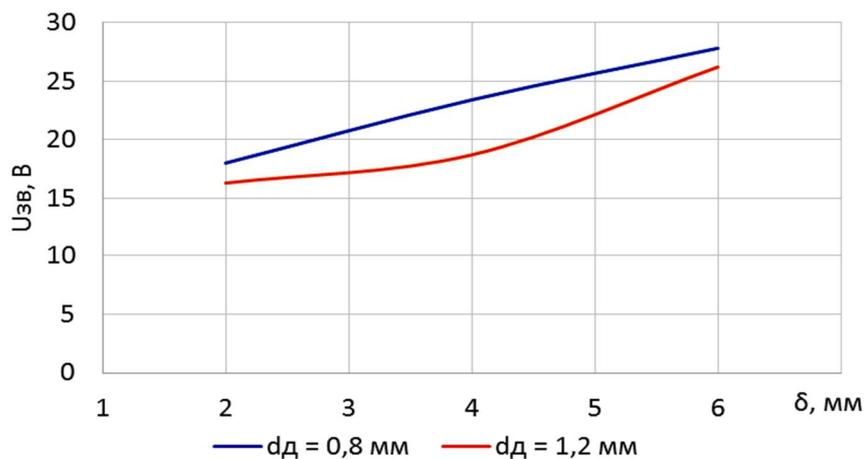
**Рис. 4.** Залежності напруги зварювання від товщини деталі  
**Fig. 4.** Dependences of welding voltage on the thickness of the part



**Рис. 5.** Залежності швидкості подачі дроту від діаметра дроту  
**Fig. 5.** Dependences of wire feed speed on the wire diameter



**Рис. 6.** Залежності зварювального струму від його діаметра  
**Fig. 6.** Dependences of welding current on its diameter



**Рис. 7.** Залежності напруги зварювання від діаметра дроту  
**Fig. 7.** Dependences of welding voltage on wire diameter

З метою визначення впливу діаметра дроту на параметри процесу, які задає джерело живлення з урахуванням синергетичного ефекту, досліджували ті ж характеристики при встановленні значення діаметра дроту 0,8 мм. Результати наведені в табл. 2.

Вплив товщини зварювального дроту на параметри процесу MIG/MAG зварювання з урахуванням синергетики джерела живлення на прикладі режиму Synergic відображені на рис. 5–7.

Під час експериментальних досліджень впливу корекції дуги на інші параметри роботи зварювального півавтомата було встановлено, що цей параметр не впливає на значення зварювального струму та подачі дроту. Вплив корекції дуги проявляється тільки на значеннях напруги зварювання, про що свідчать дані, наведені в табл. 3.

Залежність напруги зварювання від корекції дуги відображає рис. 8.

**Таблиця 2.** Результати досліджень впливу товщини металу на параметри процесу MIG/MAG зварювання півавтоматом TPS 2700 CMT (при  $d_d = 0,8$  мм)

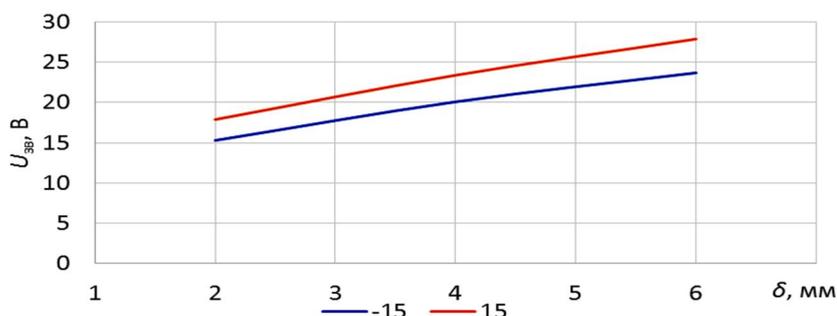
**Table 2.** Results of studies of the influence of metal thickness on the parameters of the MIG/MAG welding process with the TPS 2700 CMT semi-automatic welding machine (at  $d_d = 0.8$  mm)

Товщина деталі $\delta$ , мм	Струм зварювання $I_{зв}$ , А	Швидкості подачі дроту $V_d$ , м/хв	Напруги зварювання $U_{зв}$ , В
Pulse Synergic			
2	73	6,0	19,6
4	135	12,0	23,7
6	174	16,3	25,5
8	225	22,0	28,7
Synergic			
2	112	6,7	18,0
4	175	14,0	23,4
6	200	19,0	27,8
8	245	22,0	31,5

**Таблиця 3.** Результати досліджень впливу корекції довжини дуги на параметри роботи півавтомата TPS 2700 CMT (режим Synergic)

**Table 3.** Results of studies of the influence of arc length correction on the operating parameters of the TPS 2700 CMT semi-automatic machine (Synergic mode)

Товщина деталі $\delta$ , мм	Струм зварювання $I_{зв}$ , А	Швидкості подачі дроту $V_d$ , м/хв	Напруги зварювання $U_{зв}$ , В
Корекція -15			
2	113	6,8	15,3
4	176	14,2	20,1
6	200	19,0	23,7
Корекція +15			
2	111	6,6	17,9
4	175	14,1	23,4
6	201	19,1	27,9



**Рис. 8.** Залежності напруги зварювання від корекції дуги  
**Fig. 8.** Dependences of welding voltage on arc correction

Вплив корекції дуги на якість процесу зварювання можна оцінити за світлинами зварних швів (рис. 9). Під час досліджень встановлювали мінусові значення корекції довжини дуги, після чого виконували зварне з'єднання таврового шва без зазорів. Інший шов виготовляли за додатних значень корекції дуги. Результати дослідження впливу корекції дуги на значення інших параметрів роботи джерела живлення наведені в табл. 3. Максимальні значення корекції становлять -30 та +30 [12; 22]. Зразки зварних

швів, виконаних при корекції -15 та +15 в режимі Synergic наведені на рис. 9. У результаті експерименту встановлено, що мінусові значення корекції дуги дозволяють отримувати менш випуклий зварний шов. Розбризування металу мінімальне і характерне дрібними бризками (рис. 9, а). При зварюванні з додатковим значенням корекції дуги шов більш нерівномірний за шириною та висотою, а процес зварювання супроводжувався розбризуванням крупніших частинок розплавленого металу (рис. 9, б).



а)



б)

**Рис. 9.** Кутові зварні шви, виконані при корекції довжини дуги -15 (а) та +15 (б)  
**Fig. 9.** Fillet welds performed with arc length correction -15 (a) and +15 (b)



а)



б)



в)

**Рис. 10.** Зварні шви, виконані на різній динаміці дуги  
**Fig. 10.** Welds performed at different arc dynamics

Приклади зварних швів, виконаних при різних варіантах налаштування динаміки дуги, наведені на рис. 10. Під час експериментальних досліджень динаміку дуги змінювали від мінімального -5 до максимального +5 значень [22]. Зварювання виконували в режимі Pulse Synergic.

Як бачимо із рис. 10, а, зварний шов, виконаний із мінімальною динамікою дуги, вийшов тоншим порівняно з іншими варіантами. Крім того, «лусочки» шва мали більшу протяжність уздовж шва.

При зварюванні на нульовій динаміці дуги шов більш розпливчастий, із чіткою рівномірною лускатістю по всій довжині (див. рис. 10, б).

Максимальне значення динаміки дуги забезпечує м'якшу дугу з меншою кількістю бризок. Крім того, шов виходить розпливчастий, із дрібною лускатістю (рис. 10, в).

**Висновки.** Аналіз конструкції зварювального апарата TPS 2700 СМТ показав можливість його використання в різних технологічних процесах зварювання завдяки наявності значної кількості методів та режимів MIG/MAG та MMA зварювання. Його органи керування дозволяють швидко налаштовувати необхідні параметри процесу, є досить інформативними та зручними. Проаналізувавши його функціональні можливості, встановлено можливість виконання механізованого зварювання у восьми різних режимах, серед яких імпульсне та синергетичне зварювання, зварювання з холодним перенесенням металу та звичайне ручне MIG/MAG зварювання.

Розглянувши особливості налаштування кожного з доступних процесів зварювання та дослідивши вплив синергетики на процес налаштування необхідних параметрів роботи зварювального джерела, було встановлено межі регулювання параметрів процесу зварювання. У результаті досліджень функціональних можливостей зварювального джерела TPS 2700 СМТ отримані залежності параметрів його роботи, від яких залежить ефективність та якість процесів зварювання. Встановлено, що значення сили зварювального струму, швидкості подачі дроту та напруги зварювання залежать від товщини зварюваних деталей та діаметра дроту. Крім того, ці залежності мають різний характер для різних режимів зварювання. Також встановлено, що значення досліджуваних параметрів суттєво впливають на форму та розміри зварних швів.

Отримані результати досліджень можуть бути використані під час розробки практичних рекомендацій щодо особливостей використання

зварювального апарата TPS 2700 СМТ на різних зварювальних операціях.

### Бібліографічний список

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: навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 320 с.
3. 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). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=82838](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838) (дата звернення: 03.02.2025).
4. ДСТУ ISO 14175:2004 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (ISO 14175:1997, IDT). URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=50209](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50209) (дата звернення: 03.02.2025).
5. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання: навч. посіб. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
6. Пальники для роботизованого зварювання MIG/MAG. URL: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/informatsiya-pro-produkt/palnyky-robotyzovanoho-zvaryvannya-mig-mag?referer=>. (дата звернення: 03.02.2025).
7. Хаскін В. Ю., Коржик В. М., Бернацький А. В., Войтенко А. М., Ілляшенко С. В., Саї Д. Особливості прояву синергетичного ефекту при лазерно-плазмовому зварюванні сталі SUS304 з використанням випромінювання дискового лазера. *Автоматичне зварювання*. 2020. № 4. С. 29–33. <https://doi.org/10.37434/as2020.04.04>.
8. 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>.
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 — Sciconf.com.ua*. Lviv, Ukraine, 2024. Pp. 341–344. URL: <https://sciconf.com.ua/> (дата звернення: 03.02.2025).
10. 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 «Агроінженерні дослідження»*. 2024. № 28. С. 25–31. <https://doi.org/10.31734/agroengineering> 2024.28.024.

11. Швець О. П., Талабко Ю. І. Технологічний комплекс для відновлення спрацьованих деталей наплавлюванням. *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. URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modernresearch-in-world-science-7-9-08-2022-lviv-ukrayina-arhiv/> (дата звернення: 03.02.2025).
12. Швець О. П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас. Методичні рекомендації до виконання практичної роботи на тему «Вивчення конструкції та органів керування зварювального апарата Trans Puls Synergic 2700 CMT» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Дубляни: ЛНУП, 2023. 15 с.
13. EVS-EN 1011-1: 2009. Welding. Recommendations for welding of metallic materials. General guidance for arc welding.
14. Frank Armao et al. Gas Metal Arc Welding Guidelines. URL: [www.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/e205.pdf](http://www.lincolnelectric.com/pdfs/products/literature/e205.pdf). (дата звернення: 03.02.2025).
15. Guide to MIG/MAG welding. E & O. E. Wilkinson Star Ltd 2017. URL: <https://www.weldingandwelder.com/wp-content/uploads/2015/05/MIG-Welding> (дата звернення: 03.02.2025).
16. H. L. Wei, H. K. D. H. Bhadeshia, S. A. David & T. DebRoy. Harnessing the scientific synergy of welding and additive manufacturing. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2019. <https://doi.org/10.1080/13621718.2019.1615189>.
17. ISO 5817:2003. Welding. Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded). Quality levels for imperfections.
18. Menglei Cai et al. The influence of arc length correction on welding in CMT welding. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 170 042106. 2018. P. 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/170/4/042106>.
19. MIG/MAG. Навчальні документи. URL: [https://www.fronius.com/~downloads/Perfect%20Welding/Training%20Documents/PW\\_TD\\_MIG\\_MAG.pdf](https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Training%20Documents/PW_TD_MIG_MAG.pdf). (дата звернення: 03.02.2025).
20. Mir Qurrat Ul Ain, Deepak Kumar Naik, Dinesh Kumar Rajendran, Shiva Sekar. Comprehensive analysis of experimental studies in cold metal transfer welding. *Discover Applied Sciences*. 2025. № 7. С. 590. <https://doi.org/10.1007/s42452-025-07065-3>.
21. Tobias Manuel Vilas-Boas Rosado. Innovation in the MIG/MAG process: Productivity analysis and Fume Emissions. URL: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137855389/Article%20-%20Innovation%20in%20the%20MIG-MAG%20Process%20-%20Productivity%20analysis%20and%20Fume%20Emissions.pdf>. (дата звернення: 03.02.2025).
22. 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%20C0426%20C0114%20CRU.pdf>. (дата звернення: 03.02.2025).
23. YANG Xiu-rong. MIG/MAG welding of ultrathin plate-CMT cold-metal transition technology [J]. *Electric Welding Machine*. 2006. № 36 (6). С. 5–7.

Стаття надійшла 06.02.2025