

ПОРІВНЯННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ІНВЕРТОРА (ММА) ТА ЗВАРЮВАЛЬНОГО НАПІВАВТОМАТА (MIG/MAG)

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проведено порівняльний аналіз трансформаторів, що використовуються у класичних зварювальних напівавтоматах (зварювання MIG/MAG) та сучасних інверторних джерелах живлення зварювальної дуги. Розглянуто конструктивні особливості зварювального інвертора та напівавтомата MIG/MAG зварювання.

Ключові слова: зварювальний трансформатор, інвертор, напівавтомат.

Abstract

A comparative analysis of transformers used in classic semi-automatic welding machines (MIG/MAG welding) and modern inverter welding arc power sources has been conducted. The design features of the welding inverter and the semi-automatic MIG/MAG welding machine have been considered.

Keywords: welding transformer, inverter, semi-automatic welder.

Вступ. Постановка задачі

Процес зварювання виник ще в давнину у вигляді холодного та ковальського зварювання, коли метали з'єднували ударами або після нагрівання. У бронзову добу з'явилися ливарне зварювання та паяння. У середньовіччі технології вдосконалилися, що дозволило виготовляти складні вироби та зброю. Справжній розвиток почався у ХІХ столітті після відкриття електричної дуги та створення електродугового зварювання (М. М. Бенардос, М. Г. Славянов). У ХХ столітті зварювання трансформувалося з ремесла у ключову галузь промисловості, значною мірою завдяки інноваціям Євгена Оскаровича Патона. Він в 1939 році розробив метод автоматичного швидкісного зварювання під флюсом, що кардинально підвищило продуктивність та якість з'єднань, а також заснував в Україні Інститут електрозварювання [1, 2].

Сьогодні, в умовах війни процес зварювання є особливо актуальним, оскільки забезпечує швидке відновлення пошкодженої техніки, інфраструктури та оборонних споруд, сприяючи підтримці обороноздатності й життєдіяльності країни. В даний час найпопулярнішими способами зварювання, як в побуті так і в промисловості є напівавтоматичне зварювання та інверторне зварювання.

Результати досліджень

Напівавтоматичне зварювання – це прогресивний метод з'єднання матеріалів, який являє собою поєднання ручної та автоматичної техніки зварювання. У цьому процесі апарат (рис. 1) допомагає зварювальнику, забезпечуючи точне та ефективно з'єднання різних типів металів, а зварювальник контролює процес, регулюючи швидкість подачі дроту, напругу дуги та потік захисного газу. Варто відзначити, що напівавтоматичне зварювання – це загальна назва методу зварювання MIG (Metal Inert Gas), тобто зварювання в хімічно інертному газовому середовищі (аргон, гелій), і MAG (Metal Active Gas), тобто зварювання в активному газовому середовищі (найчастіше вуглекислий газ) [3].



Рис. 1. Зварювальний напівавтомат (загальний вигляд)

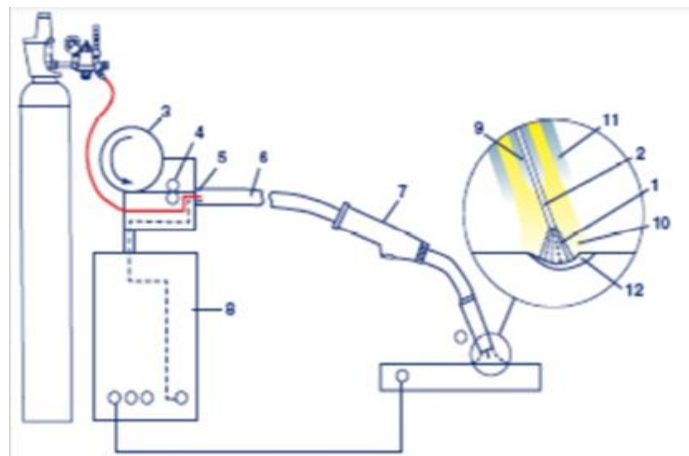


Рис. 2. Принцип MIG/MAG зварювання:

1 – дуга; 2 – зварювальний дріт; 3 – котушка дроту; 4 – подавальний ролик; 5 – напрямний канал; 6 – шланг-пакет; 7 – зварювальний пальник; 8 – джерело живлення; 9 – контактне сопло (наконечник); 10 – захисний газ; 11 – газове сопло; 12 – зварювальна ванна.

На рис. 2 схематично представлений принцип дугового зварювання електродом, що плавиться в захисному газі (MIG/MAG) та загальний вигляд зварювального напівавтомата. Дуга (1) горить між виробом та металевим дротом, який безперервно подається в зону зварювання та плавиться. При даному способі металевий дріт одночасно виконує функцію, як електрода, так і присадкового матеріалу. Вона намотується на котушку (3) і подається в зону зварювання роликami, що подають (4) через направляючий канал (5), що проходить всередині шланг-пакета (6) зварювального пальника (7). Електрична енергія на дугу надходить від зварювального джерела (8). Зварювальний струм на електрод передається через контактне сопло (9) (більш відоме під назвою «контактний наконечник»), що знаходиться всередині зварювального пальника. Захисний газ (10) подається через газове сопло (11) навколо контактного сопла. Дана конструкція дозволяє захистити електрод, дугу та розплавлений метал від впливу навколишньої середовища [4].

Інверторне зварювання MMA (Manual Metal Arc) – це метод ручного дугового зварювання плавким електродом з покриттям, що використовує сучасні інверторні апарати. На рис. 3 представлена принципова схема влаштування інверторного зварювального апарата [5].

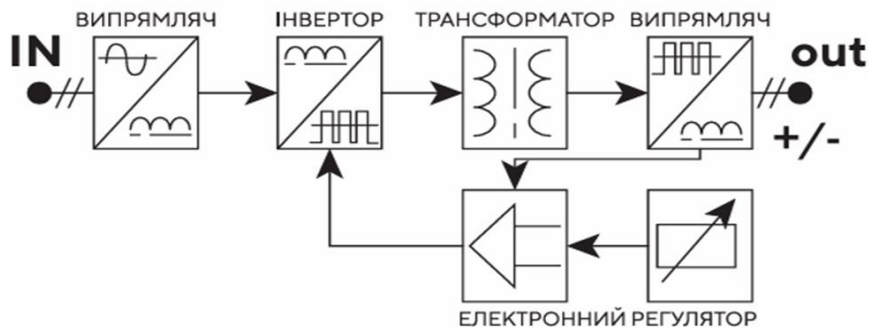


Рис. 3. Принципова схема влаштування інверторного зварювального апарата

На вході зварювального апарата змінна напруга 220В та промисловою частотою 50Гц у випрямлячі випрямляється до постійної. В свою чергу інвертор перетворює постійну напругу у змінну з частотою до 40 кГц. На цьому етапі виконується регулювання вихідної напруги та струму. Високочастотний трансформатор понижує напругу до рівня робочої. На виході апарата високочастотний силовий випрямляч перетворює змінну високочастотну напругу у постійну. На цьому етапі управляюча електроніка постійно слідкує та регулює роботу інвертора, забезпечуючи точно заданий струм та напругу на виході. Унікальна система керування зварювальною дугою (на базі процесора із програмованими мікросхемами) забезпечує високу ефективність зварювання та комфорт в роботі.

Основним конструктивним елементом зварювального апарата є трансформатор, тому що саме він знижує напругу і підвищує струм, тобто формує робочі параметри зварювальної дуги. Саме трансформатор забезпечує падаючу вольт-амперну характеристику, що стабілізує дугу і робить процес зварювання контрольованим. Також трансформатор ізолює зварювальне коло від мережі, що знижуючи ризик ураження електричним струмом. Це особливо важливо для ручного дугового зварювання (ММА) та напівавтоматів (MIG/MAG).

Кожен з вищерозглянутих апаратів має свої переваги та недоліки. Порівняння їх основних характеристик та характеристик зварювальних трансформаторів представимо у вигляді таблиць 1, 2.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика основних параметрів інверторного зварювального апарата (ММА) та напівавтоматичного зварювального апарата (MIG/MAG)

Параметр	Інверторний зварювальний апарат (ММА)	Напівавтоматичний зварювальний апарат (MIG/MAG)
Тип зварювання	Ручне дугове (електродами)	Зварювання дротом у супроводі середовища газу
Витратні матеріали	Покриті електроди	Зварювальний дріт + газ
Складність роботи	Середня (потрібен певний досвід)	Простіший в опануванні
Якість шва	Залежить від майстерності	Вища та стабільніша
Продуктивність	Нижча	Вища
Товщина оброблюваного металу	Добре підходить для товстого металу	Краще для тонкого і середнього за товщиною металу
Мобільність	Висока (компактний, легкий)	Нижча (балон з газом)
Робота на вулиці	Функціонує добре, стабільно	Залежить від погодних умов
Вартість обладнання	Нижча	Вища
Вартість експлуатації	Дешевші витратні матеріали	Більше витрат (газ + дріт)
Енергоспоживання	Економний	Вищий рівень споживання електроенергії в порівнянні з інверторним
Сфера застосування	Ремонт, будівництво, побут	Машинобудування, автосервіс, виробництво, тонкі роботи

Таблиця 2. Порівняльна характеристика зварювальних трансформаторів інверторного зварювального апарата (ММА) та напівавтоматичного зварювального апарата (MIG/MAG)

Параметр зварювального трансформатора	Інверторний зварювальний апарат (ММА)	Напівавтоматичний зварювальний апарат (MIG/MAG)
Робоча частота	Висока (від 20 до 100+ кГц)	Низька (50 Гц)
Матеріал осердя	Ферит або нанокристалічні сплави	Електротехнічна сталь (пластини)
Магнітна індукція (B_{max})	Низька (0.2-0.4 Тл) для запобігання перегріву	Висока (1.2-1.5 Тл)

Щільність струму	Висока, але обмежена скін-ефектом	Обмежена тепловиділенням (3-5 А/мм ²)
Тип обмотки	Літцендрат (багатожильний дріт) або мідна стрічка	Суцільний мідний або алюмінієвий дріт/шина
Втрати у залізі	Мінімальні завдяки властивостям феритів	Переважно на вихрові струми та гістерезис
Скін-ефект	Дуже виражений	Майже відсутній
Коефіцієнт корисної дії	85-95%	60-80%
Габаритна потужність	Мала вага/об'єм (у 5-10 разів менше в порівнянні з класичним зварювальним трансформатором)	Велика вага/об'єм
Індуктивність розсіювання	Критично низька (мінімізується конструктивно)	Відносно висока (часто корисна для дуги)

З аналізу таблиць видно, що головною відмінністю між трансформаторами є робоча частота, яка визначає їхню конструктивну логіку. Використання високих частот (20–100 кГц) в інверторах дозволяє замінити важку електротехнічну сталь легким феритом, що зменшує вагу та об'єм апарата в 5–10 разів при значному підвищенні ККД. Хоча інверторні трансформатори компактніші, вони потребують складніших технологічних рішень – використання літцендрату для боротьби зі скін-ефектом та особливої ізоляції для захисту від високочастотних перешкод. Трансформатори напівавтоматів (робоча частота 50 Гц) залишаються більш надійними в екстремальних умовах завдяки простоті конструкції, проте інверторні трансформатори на сьогодні є безальтернативними для створення сучасного мобільного та енергоефективного зварювального обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Савуляк В. І. Опорний конспект лекцій «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ВСТУП ДО ФАХУ»: навчальний посібник ч.1 Зварювання / Вінниця, ВНТУ, 2020 .
2. Кузьмін О. В. Технологія зварювання : підручник / О. В. Кузьмін. — Київ : Вища школа, 2012. — 350 с.
3. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона. Напівавтоматичне зварювання: що це таке і з чого складається? [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона. — Режим доступу: <https://paton.ua/news/napivavtomatichne-zvaryvannya-scho-ce-take-i-z-chogo-skladaetsya/>
4. Svarka-UA. Зварювальний напівавтомат: що це, види, принцип роботи, переваги [Електронний ресурс] // Svarka-UA. — Режим доступу: <https://svarka-ua.com/ua/svarochnyij-poluavtomat-hto-eto-vidyi-princzip-raboty-preimushhestva>
5. Dnipro-M. Інструкція з експлуатації зварювального апарата [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://static.dnipro-m.ua/files/instructions/6731/80626012.pdf>
6. Optoweeek. Що таке зварювальний інвертор [Електронний ресурс] // Optoweeek. — Режим доступу: <https://optoweeek.com.ua/uk/blog/scho-take-zvaryvalnij-invertor>

Кучер Артем Олександрович – студент групи 1М3-256, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: aleksandrkucer10p@gmail.com.

Нанак Олена Миколаївна – к. т. н., доцент кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: e_nanaka@ukr.net.

Kucher Artem O. – Department of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: aleksandrkucer10p@gmail.com

Nanaka Olena M. – Cand. Sc. (Tech), Assistant Professor of Computerized Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: e_nanaka@ukr.net.