

Spawanie w pozycji PF metodą MMA z wykorzystaniem nowej funkcji UP w zasilaczach inwertorowych zbudowanych w technice MICOR

MMA welding in PF position using the new function UP of the power inverter built in MICOR technology

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową odmianę metody MMA UP w technice MICOR przeznaczoną do wykonywania spoin pachwinowych w pozycji PF i PH stali nie-stopowych. Opisano budowę inwertorowych zasilaczy spawalniczych. Zaprezentowano zewnętrzne charakterystyki statyczną i dynamiczną prezentowanego urządzenia. Opisano wpływ właściwości urządzenia na funkcjonowanie odmiany UP MMA MICOR. Scharakteryzowano spoiny wykonane w technice UP MICOR oraz porównano ich właściwości do spoin wykonanych tradycyjną metodą MMA w pozycji PF.

Słowa kluczowe: spawanie impulsowe, elektroda otulona, spawalnicze zasilacze inwertorowe

Abstract

This paper presents the results of experimental studies devoted to welding of low alloy steel in PF and PH position with new UP MMA MICOR technology. The construction of inverter welding power source has been discussed. The external static and dynamic characteristics of presented apparatus have been described. In the second part of the paper the effect of the properties of the device on the operation of UP MMA MICOR solution has been shown. The welds obtained by UP MMA MICOR technique has been characterized and their properties were compared with welds made using conventional MMA method in PF position.

Keywords: puls welding, coated electrode, welding inverters

Wstęp

Jedną z często stosowanych metod łączenia metali jest ręczne spawanie elektrodą otuloną. Metoda ta charakteryzuje się wieloma korzystnymi cechami, często niedocenianymi przez wielu użytkowników, ponieważ oceniana jest głównie przez pryzmat stosunkowo niskiej wydajności. Spawanie elektrodami otulonymi wykorzystywane jest zarówno w zastosowaniach amatorskich jak i w produkcji spawalniczej, na montażu, do napawa-

nia regeneracyjnego [1÷4] i modyfikacji powierzchni.

Artykuł przedstawia m.in. zastosowanie nowej funkcji w systemie sterowania nowoczesnych urządzeń spawalniczych, przeznaczonych do spawania metodą MMA w technice MICOR. Funkcja ta umożliwia podwyższenie jakości spawania elektrodami otulonymi w pozycjach przymusowych (PF, PH) z zastosowaniem impulsowej modulacji prądu, zwiększającej stabilność spawania przy jednoczesnym podwyższeniu jakości złączy spawanych i wydajności procesu.

Dr hab. inż. Tomasz Chmielewski, prof. PW – Politechnika Warszawska, **dr inż. Marek Węglowski** – Rywał-RHC Sp. z o.o., **dr inż. Krzysztof Kudła** – Politechnika Częstochowska.

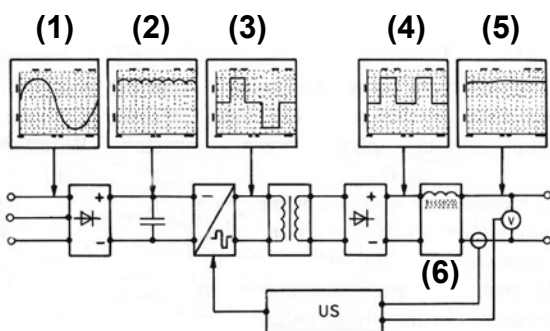
Autor korespondencyjny/Corresponding author: t.chmielewski@wip.pw.edu.pl

Przekształtniki z wewnętrzną przemianą częstotliwości

Zasilacze łuku spawalniczego nowej generacji, do której należą przekształtniki z wewnętrzną przemianą częstotliwości po stronie pierwotnej transformatora, zwane inwerterami lub zasilaczami inwersyjnymi, funkcjonują od blisko 30 lat [7, 8]. Budowa tego typu zasilaczy oparta jest na zastosowaniu w urządzeniach spawalniczych, tranzystorów o dużej mocy i wysokim dopuszczalnym napięciu obciążenia. Inwerterowe spawalnicze źródła energii konstrukcyjnie różnią się znacząco od zasilaczy łuku spawalniczego opartych na prostownikach diodowych lub tyrystorowych [7÷9, 11÷13].

Schemat blokowy przekształtnika z wewnętrzną przemianą częstotliwości po stronie pierwotnej pokazano na rysunku 1. Składa się on z następujących głównych zespołów:

- prostownika napięcia sieci zasilającej jedno- lub trójfazowego (1),
- filtra pojemnościowego napięcia wyprostowanego (2),
- falownika tranzystorowego (3),
- transformatora podwyższonej częstotliwości (4),
- prostownika wtórnego podwyższonej częstotliwości (5),
- dławika filtrującego (6).



Rys. 1. Schemat blokowy przekształtnika z wewnętrzną przemianą częstotliwości po stronie pierwotnej; U.S. – układ sterowania, regulacji i zabezpieczeń [4]

Fig. 1. Block diagram of the converter with internal conversion of frequency on the primary side; U.S. – the control unit and electrical protection system [4]

W 2005 r. firma LORCH przedstawiła i opatentowała swoje rozwiązanie pod nazwą „*Superresonant Series-Parallel Bridge Converter*”, wykonane w technice MICOR. Założenia teoretyczne tego rodzaju rozwiązania opisano w literaturze znacznie wcześniej [5, 10].

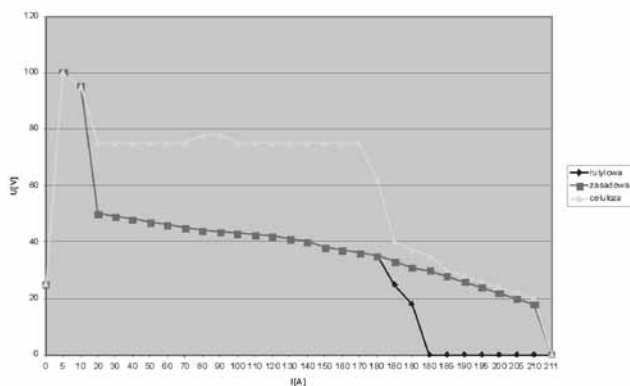
Różnice w stosunku do klasycznego zasilacza z przemianą częstotliwości po stronie pierwotnej są następujące: po stronie pierwotnej zastosowano dwa falowniki oraz dwa transformatory wysokiej częstotliwości pracujące synchronicznie połączone w jeden układ elektryczny. Kolejną różnicę stanowi zastosowanie między falownikiem i przed transformatorem cewki

wysokiej częstotliwości L_s oraz kondensatora C_s , które razem z transformatorem tworzą układ rezonansowy. Napięcie przechodząc przez cewkę jest indukowane i podwyższane. Zastosowanie kondensatora o odpowiedniej pojemności powoduje magazynowanie ładunku, a po naładowaniu kondensatora procesor wyłącza falownik, czego skutkiem jest rozładowanie kondensatora. Dzięki temu, urządzenia inwerterowe zbudowane w technice MICOR mają odpowiednio duży zapas napięcia, umożliwiając stabilny łuk, niewrażliwy na zakłócenia powstające podczas spawania. Zmiana konstrukcji wewnętrznej urządzenia spowodowała zdecydowane zmniejszenie masy urządzeń. Przykładowo, masa urządzenia 350÷400 A wynosi 18 kg, czyli o ponad połowę mniej niż ma to miejsce w klasycznych zasilaczach inwerterowych. Szczegóły budowy i pełną charakterystykę zasilaczy inwerterowych wykonanych w technice MICOR opisano w artykule [3].

Zewnętrzne charakterystyki statyczne badanych źródeł prądowych

Zewnętrzna charakterystyka statyczna spawalniczego źródła zasilania przedstawia zależność napięcia mierzonego na zaciskach wyjściowych źródła w funkcji prądu płynącego w obwodzie zewnętrznym w warunkach rezystancyjnego obciążenia symulującego łuk spawalniczy.

Badaniom poddano zasilacz inwerterowy wykonany w technice MICOR – X350 LORCH. Wyniki pomiarów charakterystyk statycznych zasilacza inwerterowego wykonanego w technice MICOR przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Charakterystyki zewnętrzne statyczne źródła inwerterowego wykonanego w technice MICOR -X 350 LORCH

Fig. 2. External static characteristic of the welding inverter X-350 LORCH based on the MICOR technology

Ważną zaletą źródeł prądowych wykonanych w technice MICOR jest m.in. zabezpieczenie spawacza przed porażeniem prądem podczas przerw w pracy, przez zastosowanie niskiego „*napięcia spoczynkowego*” (*stand by voltage*) na poziomie 24 V. Jednocześnie zastosowanie wysokiej wartości napięcia stanu

jałowego, na dopuszczalnym poziomie osiągającym nawet 100 V, powoduje silne zjonizowanie przestrzeni międzyelektrodowej, efektem czego jest wysoka stabilność łuku, przy braku trwałych zwarć elektrody oraz polepszenie ponownych zapłonów łuku spowodowanych m.in. spawaniem w pozycjach przymusowych lub niewłaściwym osuszeniem i niską jakością elektrod.

Dzięki zastosowaniu wysokiego napięcia w obszarze niskiego natężenia prądu spawania uzyskuje się wysoką elastyczność łuku, szczególnie podczas dużych wahań jego długości, spowodowanych różnymi zakłóceniami zewnętrznymi. Takie rozwiązanie zapobiega wygaszaniu łuku przy dużej zmienności napięcia spawania oraz daje lepszy komfort pracy spawacza.

W źródłach zbudowanych w oparciu o technikę MICOR istnieje możliwość wyboru trybu spawania właściwego dla elektrod rutyłowych, zasadowych i celulozowych. W przypadku spawania elektrodami zasadowymi stosuje się charakterystykę statyczną zewnętrzną z funkcją Force Arc zwiększającą natężenie prądu w czasie znacznego obniżenia napięcia łuku podczas jego skrócenia lub zwarcia kropli ciekłego metalu z jeziorkiem spawalniczym. Wzrost prądu powoduje krótkotrwałe zwiększenie siły elektrodynamicznej, skutkującą szybkim odcięciem kropli od końca elektrody. W przypadku spawania elektrodami celulozowymi napięcie na odcinku poziomym charakterystyki utrzymywane jest na wysokim poziomie około 70 V. Zapobiega to wygaszeniu łuku przy znacznym jego wydłużeniu, co jest charakterystyczne dla spawania z użyciem tego typu elektrod. W punkcie pracy charakterystyka statyczna jest stałoprądowa również z dodatkową funkcją Force Arc. Dzięki zastosowaniu innowacyjnych rozwiązań w urządzeniach budowanych w technice MICOR możliwe jest zastosowanie dużej rezerwy napięcia. Niekwestionowaną zaletą jest o ponad połowę niższa masa urządzenia w stosunku do klasycznych zasilaczy inwerterowych.

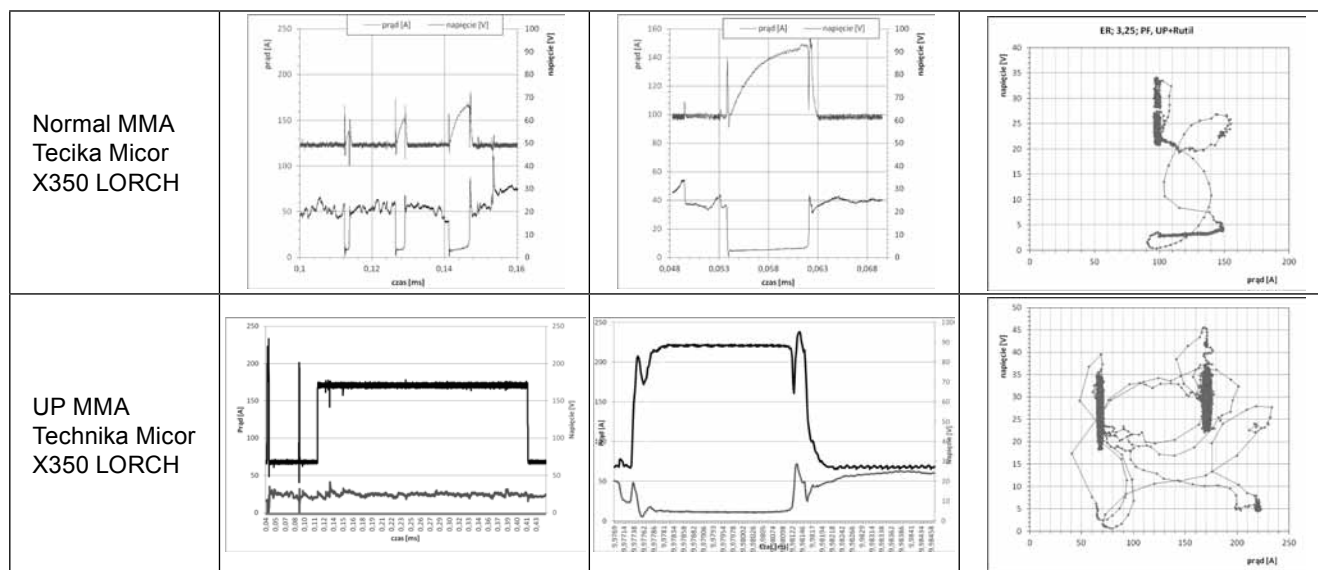
Zewnętrzne charakterystyki dynamiczne zasilaczy

Celem określenia dynamicznych właściwości nowej generacji zasilaczy budowanych w technice MICOR, przeprowadzono próby spawania z jednoczesną rejestracją prądu spawania i napięcia łuku podczas spawania w pozycjach przymusowych PF/PH z zastosowaniem funkcji Normal MMA oraz nowej funkcji UP MMA z różnymi parametrami spawania.

Dla każdego urządzenia i każdej nastawy natężenia prądu wykonano 10 prób spawania, a do dalszej analizy wybrano reprezentatywne dla każdego przypadku spoiny i przyporządkowany im czasowy przebieg prądu i napięcia spawania (oscylogram). Zarejestrowane podczas badań oscylogramy przedstawiono w tabelicy I.

Porównując zarejestrowane przebiegi prądu i napięcia w czasie należy zauważyć, że różnią się istotnie między sobą. Najbardziej zbliżone do siebie przebiegi dynamiczne w obydwu odmianach metody MMA występują w czasie zwarć, przebieg prądu podczas zwarcia składa się z dwóch faz. W pierwszej występuje krótkotrwały pik prądowy mający za zadanie przygotowanie (podgrzanie) końca elektrody do utworzenia i odcięcia kropli, co następuje w drugiej fazie zwarcia. Takie rozwiązanie polepsza warunki spawania związane z kontrolowanym transportem ciekłego metalu do jeziorka. Opisane rozwiązanie nie jest spotykane w klasycznych źródłach inwerterowych. W technice MICOR uzyskanie tak dynamicznych zmian prądowych możliwe jest przez zastosowanie bardzo szybkich procesorów analizujących zmiany napięcia umożliwiając natychmiastową reakcję układu sterowania źródła prądu na zakłócenia podczas spawania wydłużając lub skracając poszczególne etapy przechodzenia kropli. W odmianie UP MMA po pikie zwarciowym, nastę-

Tabela I. Przebiegi prądu i napięcia spawania w funkcji czasu dla źródła klasycznego oraz funkcji UP MMA realizowanej w technice MICOR
Table I. The graphs of welding current and voltage as a function of time for classical power source and modern solution based UP MMA on the MICOR technology



puje pik prądowy o dużo większej wartości który jest utrzymywany przez dłuższy czas, czemu towarzyszy strugowe przechodzenia kropli w łuku spawalniczym. Częstotliwość zmian fazy zwarciowej i fazy natryskowo-strugowej wynosi 2 Hz.

Najistotniejszą cechą charakterystyczną metody UP MMA jest ułatwione spawanie w pozycji pionowej PF. Metoda ta umożliwia spawanie z większą prędkością niż w czasie klasycznego spawania metodą MMA w pozycjach przymusowych. Technika spawania w pozycji PF metodą UP MMA nie wymaga wykonywania ściągów zakosowych i wystarczy jedynie prostoliniowe prowadzenie uchwytu z dołu do góry. Cykl spawania w odmianie UP MMA charakteryzuje się dwiema fazami. Pierwszą jest łuk zwarciowy, który ma za zadanie uzyskanie głębokiego wtopienia w materiał rodzimy, przy mniejszej gęstości prądu. Druga faza to przechodzenie kropli przy wykorzystaniu impulsu o dużej gęstości prądu, która powoduje silniejsze nagrzewanie jeziora spawalniczego i jego rozplýwanie. Na podstawie przeprowadzonych prób spawania stwierdzono, że prędkość spawania w pozycji PF w odmianie UP MMA w stosunku do odmiany Normal MMA jest o 12% większa.

Wybrane właściwości spoin

Przeprowadzono badania metalograficzne wybranych spoin wykonanych elektrodami otulonymi gatunku MOST 6013 średnicy 3,2 mm [6] (wg PN-EN ISO 2560-E38 OR 12; AWS – A 5.1 E 6013), materiał rodzimy stanowiła stal S235JR.

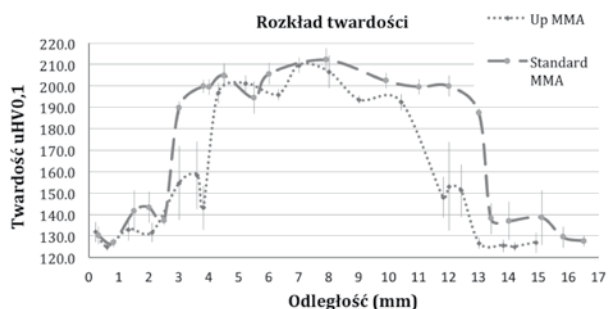
Na rysunku 3 pokazano przekroje spoin wykonanych dwiema technikami. Górna spoina została wykonana w sposób tradycyjny w trybie Normal MMA z zakosowym prowadzeniem elektrody. Dolna spoina została wykonana z wykorzystaniem funkcji UP MMA MICOR z prostoliniowym prowadzeniem elektrody. Technika UP MMA umożliwia wykonanie spoiny pachwinowej w pozycji PF bez generowania nadmiernej objętości spoiny, co niestety podczas tradycyjnego spawania w pozycji PF jest nieuniknione ze względu na konieczność prowadzenia elektrody ruchem zakosowym. Ściegi wypełniające spoin o wymaganej dużej objętości, w technice UP MMA wykonuje się również ruchem prostoliniowym, co umożliwia ograniczenie odkształcenia kąтового spoiny w stosunku do spoiny wielościągowej wykonywanej ruchem zakosowym. Na rysunku 4 zobrazowano rozkłady twardości w porównywanych spoinach wykonane w przekroju poprzecznym spoin od strony lica. Różnica w obu wykresach ogranicza się jedynie do zakresu szerokości obszaru reprezentującego twardość stopiwa. Pomimo różnych warunków nagrzewania spawanego materiału, nie zaobserwowano różnicy w rozkładzie twardości w SWC. Na rysunku 5 zaprezentowano mikrostrukturę spoiny wykonanej w technice UP MMA oraz zaznaczono pomiary charak-

terystycznych właściwości, jak: głębokość wtopienia, szerokość SWC oraz wysokość spoiny. Na szczególną uwagę zasługuje stosunkowo duża głębokość wtopienia w grani, co nie jest łatwo osiągalne podczas spawania tradycyjnego PF z zakosowym ruchem prowadzenia elektrody.

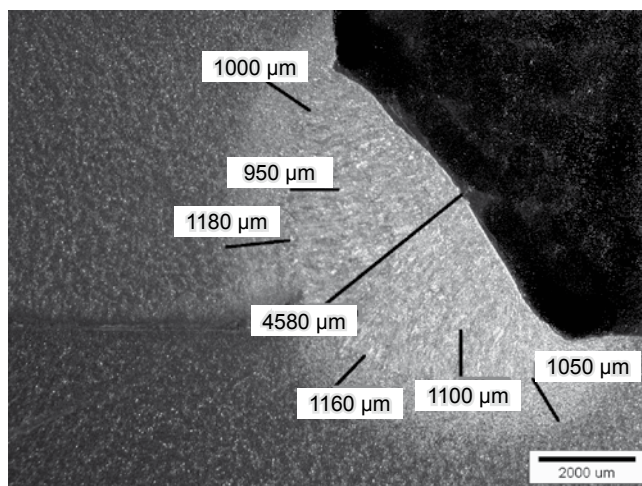


Rys. 3. Spoiny pachwinowe wykonane w pozycji PF, górna – Normal MMA, dolna – UP MMA MICOR

Fig. 3. Fillet welds produced in PF position, upper – STANDARD MMA, lower – UP MMA MICOR



Rys. 4. Rozkłady twardości w spoinach pachwinowych od strony lica
Fig. 4. Distributions of hardness in fillet welds from side of the face



Rys. 5. Mikrostruktura spoiny pachwinowej wykonanej w pozycji PH z zastosowaniem funkcji UP MMA MICOR, z zaznaczonymi pomiarami: głębokości wtopienia, SWC, wysokości spoiny

Fig. 5. Microstructure of fillet weld produced in PH position with UP MMA MICOR technology, with marked measurements: depth of fusion penetration, HAZ, and weld height

Podsumowanie

Rozwój urządzeń spawalniczych ma wciąż miejsce, szczególnie ma to odzwierciedlenie w kontekście modyfikacji układów zasilania i sterowania. W ostatnich latach na rynku urządzeń spawalniczych miało miejsce kilka nowatorskich i zaawansowanych rozwiązań konstrukcyjnych źródeł energii do spawania łukowego. Należy do nich niewątpliwie opisana w artykule technika MICOR. Charakterystyczne właściwości zasilaczy inwertorowych, których efekty w postaci wysokiej

stabilności procesu spawania oraz znacznej (ok. 50%) redukcji masy silnie wpływają na poszerzenie zakresu przydatności technologicznej zarówno samej metody MMA, jak i spawania w ogóle. Wprowadzenie funkcji UP MMA zdecydowanie wpływa na zmianę warunków spawania spoin pachwinowych w pozycjach PF oraz PH ułatwiając wykonywanie ściągów z prostoliniowym prowadzeniem elektrody.

Literatura

- [1] Chmielewski T., Golański D.: Znaczenie spawalnictwa w procesie remanufacturingu. *Przegląd Spawalnictwa* 6/2011, s. 29-32.
- [2] Chmielewski T., Węglowski M.: Analiza rynku spawalniczego w Polsce pod względem sprzedaży urządzeń oraz materiałów spawalniczych. *Przegląd Spawalnictwa* 6/2010, s. 28-31.
- [3] Chmielewski T., Węglowski M., Kudła K.: „Nowe funkcje zasilaczy inwertorowych zbudowanych techniką MICOR do metody MMA”, *Przegląd Spawalnictwa* 10/2013, s. 59-64.
- [4] Dobaj E.: *Maszyny i urządzenia spawalnicze*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1998.
- [5] Fisher R.A., Steigerwald R.L., Saj C.F.: A Frequency/PWM Controlled Converter with Two Independently Regulated Outputs. *HFPC Proceedings*, pp. 459-471, May, 1989.
- [6] Katalog RYWAL-RHC, Wydanie trzecie, Toruń, 2011 r.
- [7] Kensik R.: „Eksploatacja urządzeń spawalniczych. Część I. Źródła spawalnicze. Skrypt Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 1995.
- [8] Kolasa A.: Cyfrowa rewolucja w spawalnictwie. *Przegląd Spawalnictwa* 10-11/1998.
- [9] Kolasa A., Cegielski P., Michalis A.: Nowe krajowe wielofunkcyjne źródło energii elektrycznej do spawania łukowego. *Przegląd Spawalnictwa* 8-10/2002.
- [10] Steigerwald R. L.: A Comparison of Half-Bridge Resonant Converter Topologies. *APEC Proceedings*, pp. 135-144, March, 1987.
- [11] Węglowski M.: *Badania właściwości spawalniczych źródeł energii elektrycznej z wewnętrzną przemianą częstotliwości*. Rozprawa doktorska, Warszawa, 2008.
- [12] Węglowski M., Chmielewski T., Kudła K.: Porównanie wybranych właściwości nowoczesnych spawalniczych inwertorowych źródeł energii przeznaczonych do spawania metodą MAG. *Przegląd Spawalnictwa* 10/2009, s. 81-83.
- [13] Węglowski M., Kudła K.: Porównanie klasycznych źródeł inwertorowych z inwertorami zbudowanymi w technice MICOR, *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* 5/2012.

Miesięczne i roczne spisy treści oraz streszczenia artykułów opublikowanych w *Przeglądzie Spawalnictwa* są dostępne na stronie internetowej:

www.pspaw.ps.pl