

Możliwość zastosowania napawania drutem rdzeniowym z wykorzystaniem prądu pulsującego

The applicability of flux-cored wire cladding using pulsed current

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań nad napoinami wykonanymi prądem pulsującym. Głównym celem pracy było określenie wielkości geometrycznych wykonanych napoin przy założonych wartościach napawania impulsowego. Podczas prób napawania zmieniano częstotliwość impulsu, napięcie impulsu, czas impulsu i długość wolnego wylotu drutu. Parametry procesu były tak dobierane by uzyskać jak najwyższe i najszersze napoiny przy zachowaniu dużej stabilności procesu napawania. Jednym z głównych kryteriów określających przydatności napoiny do użycia jest stopień wymieszania materiału napoiny z materiałem podłoża. We wszystkich badanych napoinach procentowy udział metalu podłoża w napoinie wahał się między 20% a 30%. Uzyskanie niższych wartości wymieszania prowadziło w tym przypadku do zmniejszenia stabilności procesu napawania i wpływało negatywnie na jakość otrzymywanych napoin.

Słowa kluczowe: napawanie, łuk impulsowy, stopień wymieszania

Abstract

The paper presents results of research on cladding made with pulse current. The main objective of this study was to determine geometric size of the welds made with the assumed values of pulse welding. During the experiment surfacing pulse frequency, pulse voltage, pulse duration and length of the stick wire were varied. The process parameters were so diverse to achieve the highest and widest of the deposit while maintaining the high process stability surfacing. One of the main criteria for determining the suitability of the deposit to use is the dilution of the material of the deposit with the parent material. In all examined welds percentage of the base metal in the weld pad fluctuated between 20% and 30%. Obtaining the lower dilution rate led to diminishing the stability of the deposition process and affected adversely the quality of the welds.

Keywords: cladding, pulsed arc, dilution rate

Wstęp

Rozwój nowych materiałów i technologii ukierunkowany jest na ciągłą poprawę właściwości wytrzymałościowych, tribologicznych, antykorozyjnych. Nowe materiały i technologie dają wiele możliwości aplikacyjnych dla istniejących i powszechnie stosowanych technik spawalniczych. Jednym z bardziej ekonomicznych sposobów poprawy właściwości powierzchni części maszyn i urządzeń są procesy napawania i natryskiwania. Na powierzchni napawanego lub natrykiwanego materiału układana jest warstwa lub warstwy materiału o pożądanych właściwościach. W tym celu wykorzystuje się materiał dodatkowy w postaci np. drutu litego czy co raz bardziej popularnych drutów rdzeniowych oraz drutów rdzeniowych samoosłonowych. Do napawania stosuje się różne techniki spawalnicze takie jak np. napawanie metodą MAG, metodą TIG, napawanie łukiem krytym czy też różne techniki natryskiwania cieplnego [1÷8]. Różnice w tych technikach są znaczące,

a najważniejsze z nich to wydajność napawania, ilość wprowadzonego ciepła, stopień wymieszania materiału rodzimego z napoiną. Czynniki te mają istotny wpływ na jakość uzyskiwanych napoin oraz na ekonomikę procesu napawania. Równie ważny jest również rodzaj łuku spawalniczego jaki został wykorzystany przy procesie napawania [3÷10]. Napawanie z wykorzystaniem prądu pulsującego jest często wykorzystywane, aby poprawić jakość wykonywanych napoin poprzez zmniejszenie ilości wprowadzonego ciepła, ograniczenie stopnia wymieszania napoiny z materiałem bazowym i poprzez stabilizację pracy łuku spawalniczego. Napawanie impulsowe elektrodą topliwą w osłonie gazów bądź też nazywane napawaniem GMA prądem pulsującym umożliwia zmniejszenie natężenia prądu krytycznego w stosunku do napawania stabilnym prądem stałym z biegunowością dodatnią. Daje to mniejsze głębokości przetopienia podłoża i mniejszy udział metalu podłoża w napoinie,

Dr inż. Marek Gucwa, dr inż. Robert Bęczkowski – Politechnika Częstochowska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: rbeczkowski@spaw.pcz.pl

jest też łatwiejsze w pozycjach przymusowych. Za pomocą odpowiedniej regulacji parametrów impulsowania prądu jest możliwa dokładna regulacja przenoszenia metalu w łuku. Na prąd bazowy lub jarzącego się w sposób ciągły łuku z biegunowością dodatnią są nakładane krótkotrwałe impulsy prądu li, pod wpływem których zwiększa się prędkość topienia końca elektrody oraz formowania i odrywania kropli metalu [11÷13].

Badania własne

Jako materiał podstawowy do układania na nim napoin wybrano zwykłą stal konstrukcyjną S235JR o grubości 10 mm. Do wykonania napoin posłużono się drutem rdzeniowy Outersshield® 71M-H firmy Lincoln Electric® o średnicy 1,2 mm. Jest to rutyłowy drut przeznaczony do spawania stali konstrukcyjnych we wszystkich pozycjach. Skład chemiczny drutu rdzeniowego jest przedstawiony w tablicy I.

Tablica I. Skład chemiczny drutu rdzeniowego Outersshield® 71M-H
Table I. Chemical composition of cored wire Outersshield® 71M-H

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]
0,05	1,3	0,4	0.015	0.010

Proces napawania jednowarstwowego łukiem impulsowym przeprowadzono na półautomacie spawalniczym typu Cloos 353 Quinto w osłonie Ar/CO₂. Badanie miało na celu uzyskanie jak najlepszej napoiny przy jednoczesnych zmianach ustawień różnych parametrów, takich jak:

Tablica II. Parametry procesu napawania impulsowego
Table II. Parameters of pulsed arc cladding process

Napoina	Ścieg	V	f _i	U _i	t _i	I _b	L _e	I _s	U _s	I _i	U _b				
1	1 A	6,4	100	29	1,7	50	12	134	12,1	331	19,2				
	2 B		130					148	12,7	353					
	3 C		160					167	22,4	360					
	4 D		200					167	23,7	309		19,5			
2	1 A		29	150				31	1,9	50	12	160	22,1	335	19,2
	2 B		31									160	22,9	384	
	3 C		33									163	23,7	398	20,1
3	1 A		1,9	150				31	2,1	50	12	159	23,5	340	19,7
	2 B		2,1		166							24	323	20,1	
	3 C		1,5		159							22,4	409	19,5	
4	1 A		2	150	31			1,5	50	12	17	181	23,4	422	19,7
	2 B										30	148	24,1	301	20,1
	3 C	24				128	24,7				250	19,8			

gdzie:

V – prędkość podawania drutu w [m/min],
f_i – częstotliwość w [Hz],
U_i – napięcie impulsu w [V],
t_i – czas trwania impulsu w [ms],
I_b – prąd bazy w [A],
I_s – natężenie prądu spawania w [A],
U_s – napięcie spawania w [V],
I_i – prąd impulsu w [A],
U_b – napięcie bazy w [V],
L_e – długość wolnego wylotu elektrody [mm]

f_i – częstotliwość impulsu,
U_i – napięcie impulsu,
t_i – czas impulsu,
L_e – długość wolnego wylotu elektrody.

Na każdej z przygotowanych do napawania płytek o wymiarach 155x55x10 mm wykonywano 3 do 4 napoin jednowarstwowych zmieniając parametry procesu, tak jak to pokazano w tablicy II. W kolumnach o innym tle zaznaczono parametry, które były zmieniane w czasie badań.

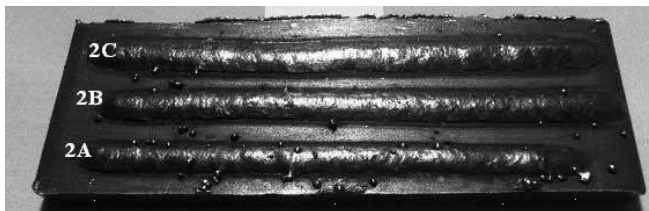
Wyniki badań

Na rysunkach 1÷4 przedstawiono widok płyt z wykonanymi napoinami. Na napoinach widoczne są rozpryski oraz na napoinie 4C widać liczne pory. Ich obecność została wywołana przez niedostateczną osłonę gazową łuku spawalniczego przy zwiększonym wystającym odcinku drutu spawalniczego. Dla napoin z płyt 1, 2, 3 wystający odcinek drutu wynosił 12 mm, podczas gdy dla płyty 4 zwiększono jego wystawanie odpowiednio do 17, 30 i 42 mm.



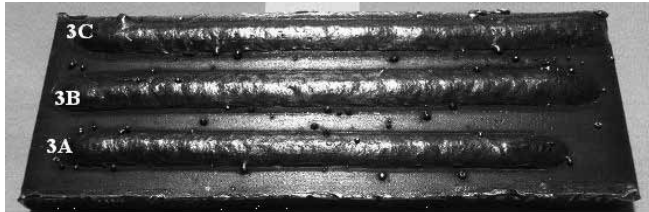
Rys. 1. Widok płyty z napoinami układanymi ze zmieniającą się częstotliwością prądu napawania

Fig. 1. Plate with claddings made with changing frequency welding current



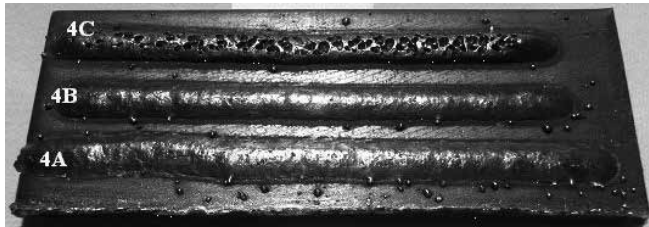
Rys. 2. Widok płyty z napoinami układanymi ze zmieniającym się napięciem impulsu

Fig. 2. Plate with claddings made with changing pulse voltage



Rys. 3. Widok płyty z napoinami układanymi ze zmieniającym się czasem impulsu prądu napawania

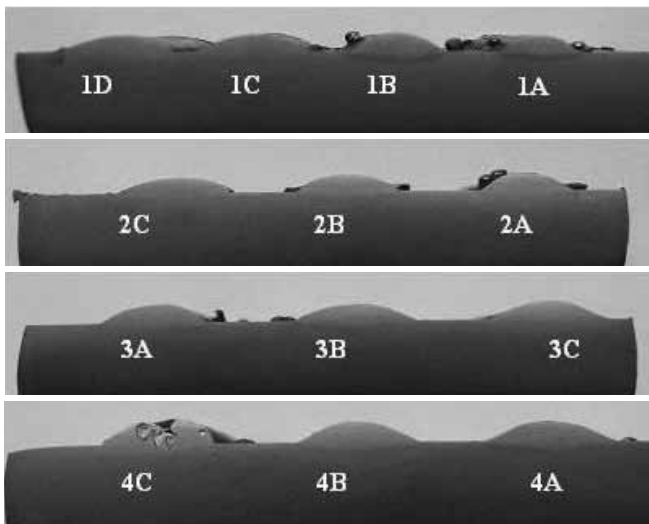
Fig. 3. Plate with claddings made with the changing time of the current pulse weldin



Rys. 4. Widok płyty z napoinami układanymi ze zmiennym wolnym odcinkiem drutu elektrodowego

Fig. 4. Plate with claddings made with changes in the electrode stick out

Na rysunku 5 przedstawiono widok z badań makroskopowych badanych napoin. Wszystkie próbki były trawione nitałem i następnie określono na przygotowanych w ten sposób powierzchniach podstawowe właściwości geometryczne uzyskanych napoin. Wyniki pomiarów szerokość napoiny - a, wysokości- H_N , głębokości wtopienia - H_W , oraz stopnia wymieszania materiału rodzimego z napoiną - U_p , przedstawiono w tablicach III÷VI. Stopień wymieszania materiału rodzimego z napoiną (U_p) określono w oparciu o pomiar wielkości powierzchni nadlewu napoiny (FN) oraz powierzchni wtopienia (Fw) [14].



Rys. 2. Makro wykonanych napoin

Fig. 2. The view of the obtained claddings

Tablica III. Parametry geometryczne napoiny przy zmieniającej się częstotliwości prądu napawania

Table III. The geometric parameters of the claddings made with changing frequency of welding current

Napoina	Zmierzone wielkości geometryczne napoiny			
	U_p [%]	H_N [mm]	H_w [mm]	a [mm]
1 A	20,35	2,02	0,90	6,96
1 B	20,21	2,29	0,72	8,40
1 C	27,48	2,01	0,90	10,20
1 D	20,58	2,06	0,65	10,80

Tablica IV. Parametry geometryczne napoiny przy zmieniającym się napięciu impulsu prądu napawania

Table IV. The geometric parameters of the claddings made with changing pulse voltage

Napoina	Zmierzone wielkości geometryczne napoiny			
	U_p [%]	H_N [mm]	H_w [mm]	a [mm]
2 A	26,54	2,06	0,81	8,36
2 B	21,82	2,34	0,64	9,20
2 C	29,33	2,20	0,95	10,43

Tablica V. Parametry geometryczne napoiny przy zmieniającym się czasie impulsu prądu napawania

Table V. The geometric parameters of the claddings at the time of changing the current pulse welding

Napoina	Zmierzone wielkości geometryczne napoiny			
	U_p [%]	H_N [mm]	H_w [mm]	a [mm]
3 A	25,86	2,37	0,72	9,58
3 B	27,71	2,01	0,92	10,36
3 C	21,08	2,44	0,79	10,23

Tablica VI. Parametry geometryczne napoiny przy zmieniającym się wystającym odcinku elektrody

Table VI. The geometric parameters of the claddings made with changing electrodes stick out

Napoina	Zmierzone wielkości geometryczne napoiny			
	U_p [%]	H_N [mm]	H_w [mm]	a [mm]
4 A	28,96	2,52	0,86	10,54
4 B	30,11	2,47	1,08	9,50
4 C	18,12	3,03	0,82	9,68

Parametry procesu napawania dobrano w taki sposób, aby uzyskać jak największe zróżnicowanie wielkość i kształtu napoin przy zachowaniu stabilności palenia się łuku spawalniczego. Zmiana częstotliwość napawania impulsowego wpłynęła na szerokość lica układanej napoiny. Zmiana częstotliwości ze 100 Hz na 200 Hz i wywołane w ten sposób zmiany innych parametrów procesu spowodowały wzrost szerokość lica napoiny o blisko 55%. Większa częstotliwość wpływała również w sposób pozytywny na zmniejszenie się liczby rozprysków i zwiększenie stabilności procesu. Niewielkie zmiany napięcia impulsu skutkowały znaczą-

cym zwiększeniem udziału materiału podłoża w napoinie, podobne zjawisko zaobserwowano w przypadku zwiększenia czasu impulsu. W przypadku tego parametru korzystniejsze okazało się stosowanie mniejszych czasów impulsu, wysokość nadlewu napoiny malała wraz ze zwiększaniem czasu impulsu. Odwrotna sytuacja jest w przypadku zwiększania wystającego odcinka drutu elektrodowego. Jego wzrost przekłada się na zwiększenie wysokości napoiny, co odbywa się kosztem jej szerokości. Ma to również

konsekwencje w zmniejszeniu się stopnia wymieszania materiału napoiny z materiałem rodzimym. Jest to spowodowane zwiększającym się nagrzewaniem oporowym wystającego odcinka drutu elektrodowego i w konsekwencji mniejszym wydzielaniem się ciepła w materiale rodzimym. Niestety zbyt długi wystający odcinek drutu elektrodowego nie pozwala na uzyskiwanie dobrej jakości napoin co spowodowane jest ograniczeniem efektywności osłony gazowej łuku spawalniczego (Rys. 4).

Wnioski

Napawanie prądem impulsowym z wykorzystaniem drutu rdzeniowego może dawać pozytywne wyniki przy odpowiednim doborze parametrów procesu napawania. Zwiększanie częstotliwości prądu impulsowego wpływa na wzrost szerokości uzyskiwanych napoin. Również stabilność pracy łuku spawalniczego jest w tym przypadku bardzo dobra i zachowywany jest stosunkowo niewielki udział materiału podłoża w napoinie. Korelacja poszczególnych parametrów procesu napawania impulsowego pozwala na układanie napoin o stosunkowo dużej wysokości i szerokości przy stopniu wymieszania napoiny z materiałem podstawowym na poziomie. Duży wpływ na parametry geometryczne napoiny ma również długość wystającego odcinka elektrody, którego zwiększenie może płynąć na wzrost wysokości napoiny oraz ograniczenie stopnia wymieszania napoiny z podłożem. Należy przy tym pamiętać, że zbyt duży wystający odcinek drutu elektrodowego naraża łuk spawalniczy na niedostateczną ochronę przed gazami atmosferycznymi w konsekwencji prowadzi do wzrostu porowatości w napoinie.

Literatura

- [1] T. Chmielewski, D. Golański: Selected properties of Ti coatings deposited on ceramic AlN substrates by thermal spraying, *Welding International* 27 (8), 604-609, 2013.
- [2] J. Zimmerman, Z. Lindemann, D. Golański, T. Chmielewski, W. Włosiński: Modeling residual stresses generated in Ti coatings thermally sprayed on Al₂O₃ substrates, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*, Vol. 61, Nr 2, 515-525, 2013.
- [3] T. Chmielewski, D. Golański: Napawanie brązu berylowego stelliem metodą MCAW, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 83 Nr 10, 23-27, 2011.
- [4] M. Gucwa, R. Bęczkowski: Odporność na erozyjne zużycie strumieniowe napoin wykonanych drutem proszkowym samoosłonomowym przy kącie padania ścierniwa 60°, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 83, Nr 10, 77-80, 2011.
- [5] R. Bęczkowski, M. Gucwa: Statystyczna ocena wpływu parametrów napawania SSA na geometrię napoin, *Przegląd Spawalnictwa* Vol.83, Nr 10, 40-43, 2011.
- [6] R. Bęczkowski, M. Gucwa: Wpływ parametrów napawania na wydajność procesu i parametry geometryczne napoin wykonanych drutem rdzeniowym, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, Nr. 11, 773-777, 2014.
- [7] M. Gucwa, R. Bęczkowski: Zużywanie erozyjne płyt trudnościeralnych wykonanych drutem SSA Corthal 61, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 81, Nr 10, 53-57, 2009.
- [8] J. Haduch: Dobór technologicznych parametrów napawania metodą MAG, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 84, Nr 6, 24-31, 2012.
- [9] J. Słania, T. Pochwat: Technologia napawania czerpaków pracujących w warunkach narażonych na nadmierne ścieranie, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 86, Nr 8, 26-32, 2014.
- [10] M. Gucwa, J. Winczek: The properties of high chromium hardfacing made with using pulse arc, *Archives of Foundry Engineering*, Vol. 15, s. 37-41, 2015.
- [11] R. Kensik, K. Kudła: Moc impulsowego łuku spawalniczego, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 72, Nr 7-8, 5-8, 2000.
- [12] K. Kudła, K. Wojsyk: Ocena i sposoby ograniczania ciepła wprowadzanego do złącza w procesach wykorzystujących zmodyfikowane asymetryczne przebiegi prądu impulsowego, *Postęp, innowacje i wymagania jakościowe procesów spajania. Materiały XVI. Naukowo-Technicznej Krajowej Konferencji Spawalniczej. Międzydroje 2010.*
- [13] K. Kudła: Samoregulacja łuku w procesie MIG/MAG PULS, *Przegląd Spawalnictwa*, Vol. 78, Nr 9-10, 12-15, 2006.
- [14] A. Klimpel: Napawanie i natryskiwanie cieplne, Warszawa, WNT, 2000.