

Wpływ nastawy prądu na zmiany wielkości geometrycznych przekrojów napoin

The impact of the current settings to change the size of the geometric cross-section welds

Streszczenie

W pracy przedstawiono zagadnienie określania zmian nastaw prądu napawania i odpowiadające temu zmiany uzyskiwanych przekrojów napoin w przypadku użycia drutu litego. Wykorzystywane do tego celu próby pozwalają zdaniem autorów z dużą dokładnością określić liczbę wykonywanych ściegów dla zadanych przekrojów napoin i spoin. W pracy przedstawiono wyniki badań nad wielkościami geometrycznymi złącza wykonanego przy zmieniających się parametrach prądu przy nastawach 150, 200, 250, 300 A. Wykonano próby napawania z automatycznym posuwem palnika, przy wykorzystaniu materiału dodatkowego w postaci drutu litego o średnicy 1,2 mm. Uzyskane napoiny zostały poddane badaniom metalograficznym makroskopowym i przeanalizowane pod kątem uzyskanej geometrii ściegu.

Słowa kluczowe: normowanie, wydajność spawania, geometria napoiny, drut lity, pole przekroju ściegu

Abstract

The paper presents the problem of determining changes in the settings of the welding current and corresponding to the change in cross-section welds obtained when using solid wire. Used for this purpose according to the authors attempt to allow has impact on the basic parameters characterizing the welded joint. The paper presents results of research on geometric quantities joint made at changing the parameters set welding current by settings of 150, 200, 250, 300 A. Tests were carried out with automatic feed welding torch, using the additive material with diameter of 1.2 mm. The resulting welds have been tested and analyzed metallographic macroscopic for checking geometry.

Keywords: standardization, welding efficiency, the weld geometry, solid wire, cross-section weld bead

Wstęp

W aspekcie ekonomiki i normowania prac przy wytwarzaniu konstrukcji stalowych próbowano znaleźć i zidentyfikować wszystkie aspekty, które mają wpływ na czas wytworzenia spoiny, czy napoiny, a w konsekwencji koszt wytworzenia elementu. Odniesiono się do norm dotyczących przygotowania złączy do spawania zawartych w serii PN EN ISO 9296: Spawanie i procesy pokrewne. Zalecenia dotyczące przygotowania

złączy. Część 1: Ręczne spawanie łukowe, spawanie łukowe elektrodą metalową w osłonie gazów, spawanie gazowe, spawanie metodą TIG i spawanie wiązką stali; Część 2: Spawanie stali łukiem krytym.

Wymienione normy zawierają uporządkowane sposoby przygotowania elementów do spawania z ściśle określonymi zakresami parametrów przygotowania złączy, co z kolei wiąże się ze zmiennymi wielkościami przekrojów. Artykuł zawiera analizę wpływu zmian wielkości nastaw prądu na odpowiadające im zmiany pól przekroju uzyskiwanych ściegów napoin.

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

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

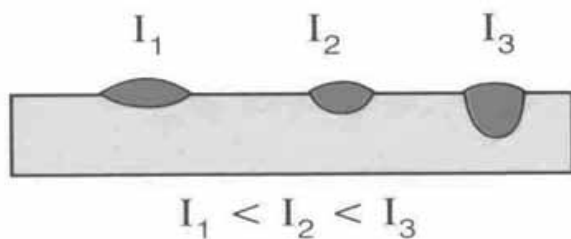
Zebrane informacje pozwalają w precyzyjny sposób określać liczbę ściegów niezbędną do wykonania oraz określenia czasów wykonania napoin oraz dowolnych rodzajów spoin przy różnych konfiguracjach wielkości mających wpływ na rzeczywistą wielkość rowka spawalniczego.

Parametry napawania mają istotny wpływ na sposób przenoszenia ciekłego metalu elektrody topliwiej do jeziora, a co z tym się wiąże – wpływają one na stabilność procesu.

W literaturze [1] podano, że w trakcie spawania gęstości prądu mieszczą się w przedziale $80 \div 140 \text{ A/mm}^2$ drutu. Przy spawaniu metodą MAG współczynnik stopienia drutu elektrodowego zależy od warunków spawania i równa się $16 \div 20 \text{ g (Axh)}$, co przy wartości natężenia prądu 200 A powoduje, że w ciągu jednej godziny stopia się w łuku 4 kg drutu. Dzięki temu wydajność spawania MAG ulega zwiększeniu przeciętnie trzykrotnie w odniesieniu do spawania ręcznego elektrodami otulonymi.

W praktyce spawalniczej, według doświadczeń autorów, często można spotkać gęstości prądu wychodzące poza opisany zakres. Stosując niskie parametry prądowe przy wykonywaniu warstw przetopowych łukiem zwarciovym można doprowadzić do tego, że gęstości prądu schodzą nawet poniżej 40 A/mm^2 , co wiąże się z zmianą wydajności stopienia. Niskie gęstości prądu wydatnie zmniejszają wydajność stopienia. W kalkulacjach ważne jest przyjęcie odpowiedniego efektywnego czasu palenia się łuku, co w przypadku wspomnianej wydajności stopienia rzędu 4 kg/h przy natężeniu prądu 200 A jest trudne do uzyskania, szczególnie gdy mamy do czynienia z drobną konstrukcją i efektywnym czasem palenia się łuku na poziomie 20% czasu pracy.

Wpływ oddziaływania natężenia prądu na kształt przekroju spoiny przedstawiono na rysunku 1. Wzrost natężenia prądu spowoduje większą głębokość wtopienia. Wzrost ten powoduje również zmianę parametrów napięcia łuku.

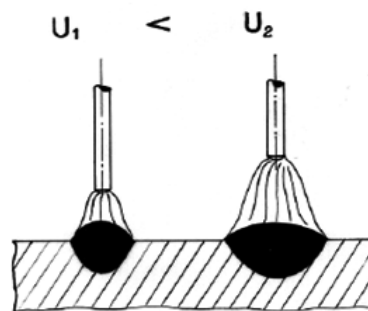


Rys. 1. Oddziaływanie natężenia prądu na kształt przekroju spoiny [2]
Fig. 1. The impact of the current on the cross-sectional shape of the weld [2]

Tablica I. Symbol oraz skład chemiczny drutu spawalniczego użytego do prób
Table I. The symbol and the chemical composition of welding wire used for the tests

Symbol	Skład chemiczny w % wag.								
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Ti+Zr
G3Si1	0,06±0,14	0,7±1,0	1,3±1,6	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15

– Jeśli nie ustalono inaczej: $\text{Cr} \leq 0,15$, $\text{Cu} \leq 0,35$, $\text{V} \leq 0,03$. Łączna zawartość miedzi w drucie i w powłoce nie powinna przekraczać 0,35%
– Pojedyncze wartości podane w tabeli są wartościami maksymalnymi
– Wynik analizy chemicznej należy zaokrąglić do tej samej cyfry znaczącej



Rys. 2. Wpływ napięcia łuku spawalniczego na geometrię powstającej spoiny [4]
Fig. 2. Effect of arc voltage on the geometry of the resulting weld [4]

Dobór napięcia zależy jest od grubości złącza, rodzaju spoiny, rodzaju i natężenia prądu spawania, rodzaju spawanego materiału, średnicy i rodzaju drutu elektrodowego, pozycji spawania, składu gazu osłonowego. Należy jednak pamiętać, że strefa odpowiednich parametrów jest stosunkowo wąska, a zwiększając natężenie prądu powinno się także zwiększyć nieco napięcie łuku [3] zgodnie z zależnością $U = 14 + 0,05 \times I$.

Średnica drutu elektrodowego decyduje o gęstości prądu, a co za tym idzie – także o głębokości wtopienia w napawany materiał oraz o charakterze przenoszenia metalu w łuku. Przy ustalonej wartości natężenia prądu sprawność stopienia ulega zwiększeniu się wraz ze zmniejszeniem się średnicy drutu, ponieważ gęstość prądu płynącego przez drut wzrasta.

Metodyka badań

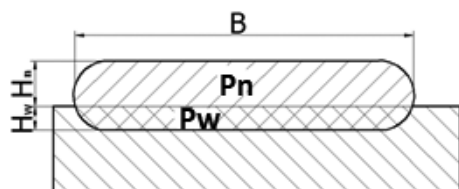
Do prób [5] wykorzystano blachę S355J2 grubości 12 mm, na której wykonano cztery ściegi spawalnicze metodą MAG, każdy ścieg innymi parametrami prądowymi odpowiednio 150, 200, 250 i 300 A. Następnie próbki pocięto na 4 części, w celu łatwiejszego wykonania zgięć, a w konsekwencji dokonania pomiarów (pół napoiny i wtopienia oraz głębokości wtopienia). Wykonano analizę oraz porównanie wydajności napawania przy użyciu drutu litego z uwzględnieniem zmiany parametrów prądowych.

Badanie zostało wykonane przy użyciu synergicznego źródła spawalniczego z użyciem drutu litego oznaczonego: G3Si1 o średnicy 1,2 mm. Charakterystykę materiału dodatkowego podano w tablicy I. Do osłony ciekłego jeziora użyto mieszanki gazów osłonowych grupy M21 (82% Ar, 18% CO₂) wg PN-EN ISO 14175.

Napawanie polegało na wykonaniu 4 ściegów w pozycji PA z wykorzystaniem drutu litego. Każdy ze ściegów został wykonany różnym natężeniem prądu spawania: próbka 1 – 150 A, próbka 2 – 200 A, próbka 3 – 250 A, próbka 4 – 300 A.

W analizie określono stopień wymieszania (W) opierając się na zależności $W = (P_n/P_w) \times 100\%$ (wg rys. 3), gdzie: P_n – pole napoiny, P_w – pole wtopienia.

W tabelicy II przedstawiono parametry napawania próbki, a na rysunku 4 pokazano zdjęcie wykonanych napoin z uwzględnieniem podziału próbek oraz zadanych nastaw prądu.



Rys. 3. Stopień wymieszania [6]

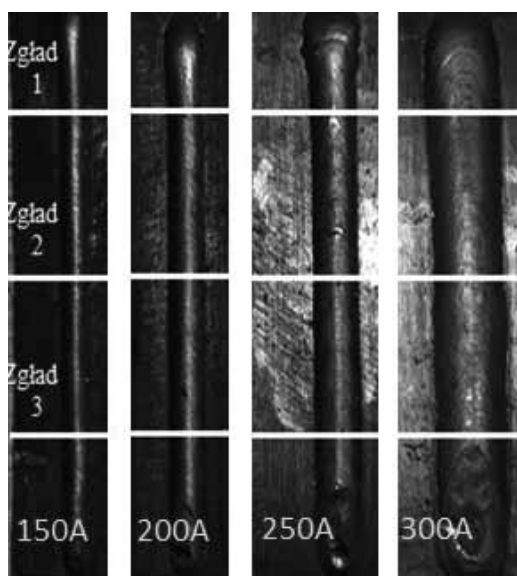
Fig. 3. Coefficient of mixing [6]

Tablica II. Parametry napawania próbki [5]

Table II. Welding parameters [5]

Nr ściegu	Natężenie prądu spawania A	Napięcie V	Prędkość podawania drutu m/min	Prędkość spawania cm/min
1	150	19,4	1,74	30
2	200	21,5	2,30	30
3	250	25,2	3,20	30
4	300	33,3	3,93	30

Blachy z napoinami zostały pocięte (wg rys. 4), a także przygotowane do wykonania zglądów metalograficznych. W celu otrzymania jak najlepszych oraz miarodajnych wyników wykonano po 3 zglądy dla każdej próbki z wybranych miejsc na całej długości spawania.

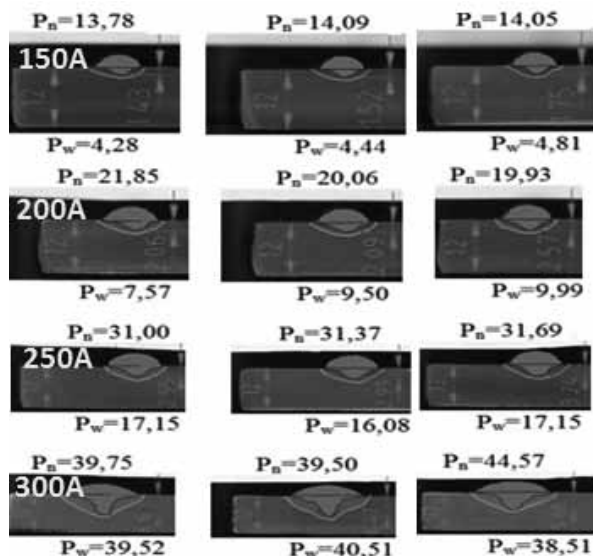


Rys. 4. Schemat wycięcia próbek [5]

Fig. 4. Schematic cut-out samples [5]

Wyniki badań i analiza

Na rysunku 4 pokazano obrazy zglądów wraz z wielkościami geometrycznymi (pole napoiny oraz wtopienia, głębokość wtopienia) dla zadanych parametrów prądowych. Opisano pole przekroju napoiny (P_n) i wtopienia (P_w) w mm^2 , natomiast głębokość wtopienia (H_w) wyrażono w mm. Dane zebrano w tablicach dla zmiennych nastawach prądu odpowiednio dla pomiarów pola napoiny (tabl. III), pomiarów pola wtopienia (tabl. IV), wartości i wzajemnych zależności pola napoiny i pola wtopienia (tabl. V) oraz głębokości wtopienia (tabl. VI).



Rys. 5. Przekroje zglądów badanych próbek [5]

Fig. 5. Cross-section of tested samples [5]

Tablica III. Pomiary pola napoiny (P_n) przy różnych nastawach prądu

Table III. Measurements of the cross-section of weld (P_n) at different settings of the weld current

Natężenie prądu spawania, A	Pomiar 1 mm ²	Pomiar 2 mm ²	Pomiar 3 mm ²	Średnia mm ²
150	13,78	14,09	14,05	13,97
200	21,85	20,06	19,93	20,61
250	31,00	31,37	31,69	31,35
300	39,75	39,50	44,57	41,27

Tablica IV. Pomiary pola wtopienia (P_w) przy różnych nastawach prądu

Table IV. Measurements of the fusion field of weld (P_w) at different settings of the weld current

Natężenie prądu spawania, A	Pomiar 1 mm ²	Pomiar 2 mm ²	Pomiar 3 mm ²	Średnia mm ²
150	4,28	4,44	4,81	4,51
200	7,57	9,50	9,99	9,02
250	17,15	16,08	17,15	16,79
300	39,52	40,51	38,51	39,51

Tablica V. Wartości i wzajemne zależności pola napoiny (Pn) oraz pola wtopienia (Pw) przy różnych nastawach prądu

Table V. Values and interdependencies deposit the cross-section of weld (Pn) and the fusion field (Pw) at different settings of the weld current

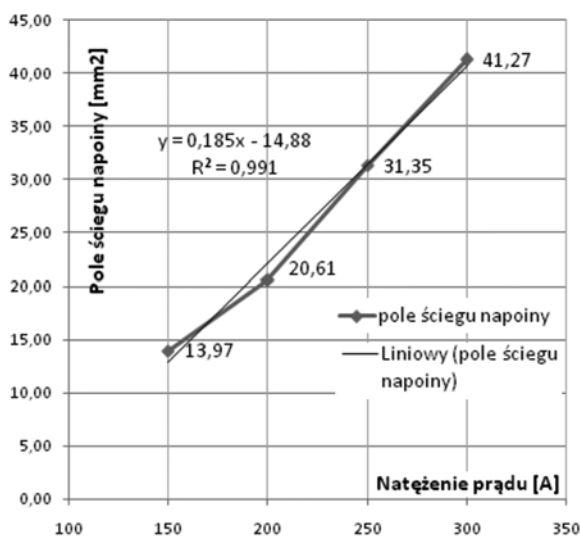
Prąd spawania A	Pole napoiny Pn mm ²	Pole wtopienia Pw mm ²	Wymieszanie W %	Pole napoiny/pole wtopienia
150	13,97	4,51	32,28	3,10
200	20,61	9,02	43,76	2,29
250	31,35	16,79	53,56	1,87
300	41,27	39,51	95,74	1,04

Tablica VI. Pomiary głębokości wtopienia (Hw) przy różnych nastawach prądu

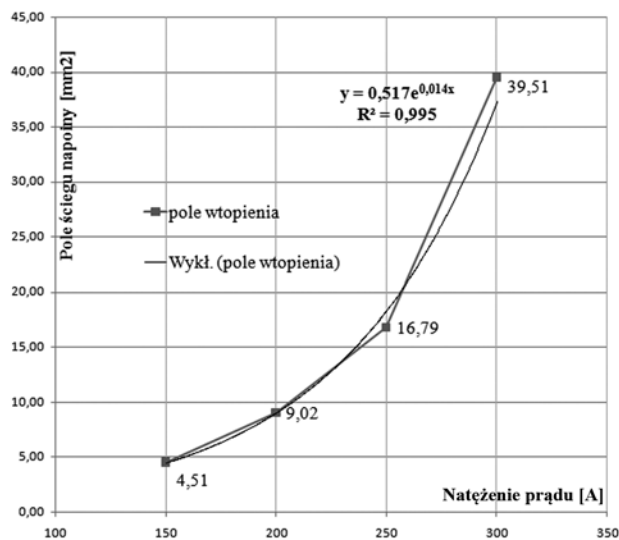
Table VI. Measurements depth of the fusion field (Hw) at different settings of the weld current

Prąd spawania A	Pomiar 1 mm	Pomiar 2 mm	Pomiar 3 mm	Średnia mm
150	1,43	1,52	1,75	1,57
200	2,06	2,09	2,57	2,24
250	2,95	2,99	3,24	3,06
300	6,60	6,47	5,68	6,25

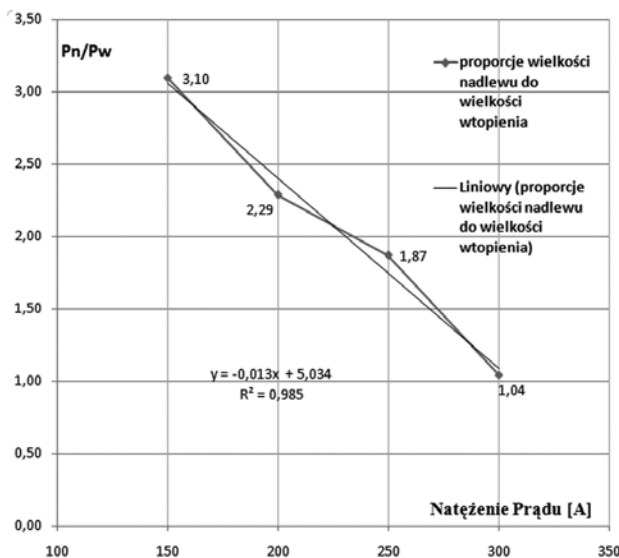
W odniesieniu do zmiany nastawy natężenia prądu na rysunku 6 przedstawiono wpływ na pole przekroju ścięgu napoiny (Pn), na rysunku 7 wpływ na pole wtopienia (Pw), na rysunku 8 wzajemne zależności pola ścięgu napoiny (Pn) i pola wtopienia (Pw), a na rysunku 9 wpływ na wymieszanie (W) wraz z odpowiadającymi im równaniami regresji oraz odpowiadającym im współczynnikiem determinacji R².



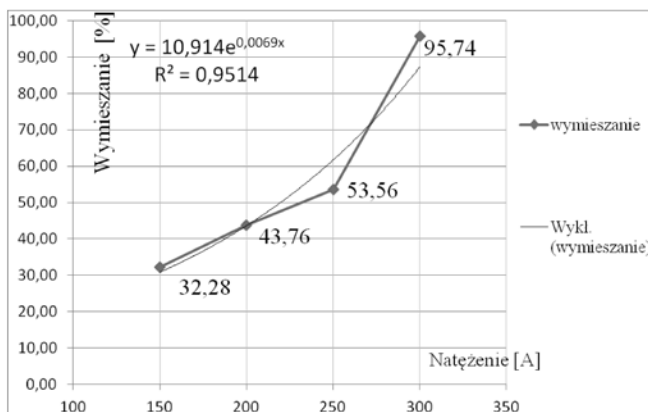
Rys. 6. Wpływ zmiany natężenia prądu na pole przekroju ścięgu
Fig. 6. Effect of change in current in the area cross-section



Rys. 7. Wpływ zmiany natężenia prądu na pole wtopienia
Fig. 7. Effect of change in current in the area of fusion



Rys. 8. Wpływ zmiany natężenia prądu na wzajemne proporcje pola nadlewu i pola wtopienia
Fig. 8. Effect of changes in current on the relative proportions of field and field of fusion weld



Rys. 9. Wpływ zmiany natężenia prądu na wymieszanie
Fig. 9. Effect of change in current in the mix

Analiza wyników pomiarów pól napoin (tabl. III, rys. 6) pozwala określić, jaki wpływ ma natężenie prądu na wielkości przekrojów uzyskiwanych ściegów. Zmiana nastawy prądu ze 150 do 300 A powoduje zwiększenie przekroju ściegu do 41,27 z 13,97 mm², co oznacza, że w tym przypadku wzrost jest blisko trzykrotny. Wpływ zmian nastaw natężenia prądu może zostać opisany równaniem liniowym postaci $y = ax + b$ i przybrać postać $y = 0,185x - 14,88$ z współczynnikiem determinacji na poziomie $R^2 = 0,991$.

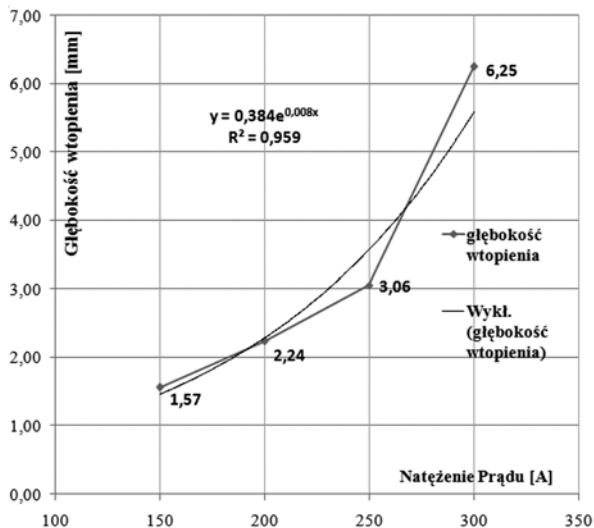
W przypadku analizy wpływu nastaw natężenia prądu na pole wtopienia (tabl. IV, rys. 7) możemy zaobserwować, że jest on jeszcze większy. Zmiana z wartości minimalnej (150 A) do maksymalnej (300 A) powoduje ok. dziewięciokrotną różnicę zmian z 4,51 do 39,51 mm², a wartości można przedstawić za pomocą równania wykładniczego $y = 0,517e^{0,014x}$ z współczynnikiem determinacji na poziomie $R^2 = 0,995$.

Poddając analizie (tabl. V i rys. 8) można zaobserwować, że zmiana z minimalnej nastawy do maksymalnej powoduje zmniejszenie proporcji pola nadlew do pola wtopienia. Wraz z osiągnięciem 300 A wielkości pól są już zbliżone. Wpływ zmian można opisać równaniem liniowym $y = -0,013x + 5,034$ przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,985$.

Analizując wartości wymieszania (tabl. V i rys. 9) można stwierdzić że dwukrotny wzrost natężenia prądu powoduje około trzykrotne zwiększenie wymieszania,

a zmiany można przedstawić za pomocą równania wykładniczego $y = 10,91e^{0,006x}$ z współczynnikiem determinacji na poziomie $R^2 = 0,951$.

W przypadku głębokości wtopienia (tabl. VI i rys. 10) następuje wraz ze wzrostem nastawy prądu wzrost głębokości wtopienia z 1,57 do 6,25 mm, a opisać zmianę można równaniem wykładniczym $y = 0,384e^{0,008x}$ z współczynnikiem determinacji na poziomie $R^2 = 0,959$.



Rys. 10. Wpływ zmiany natężenia prądu na głębokość wtopienia
Fig. 10. Effect of changes in current to a depth of fusion

Wnioski

Proces normowania procesu jest ważnym procesem decyzyjnym, który może mieć wpływ na egzystencję firm działających w branży spawalniczej. Niewłaściwe podejście oraz rutyna mogą prowadzić do strat w działalności gospodarczej. Artykuł ma na celu uzmysłowienie, w jaki sposób bardzo łatwo wpaść w pułapkę przeszacowania lub niedoszacowania czasów wykonania spoin z użyciem metody MAG.

Przyjmując odpowiednie wartości pól przekroju ściegu, adekwatne do zadanych parametrów prądowych, możemy określić precyzyjnie liczbę ściegów, jak również określić czas wykonania, a co za tym idzie i koszty.

Literatura

- [1] Mistur L.: Spawanie łukowe w osłonach gazowych według wytycznych krajowych i międzynarodowych, KaBe, Krosno 2010.
- [2] Mizerski J.: Spawanie w osłonie gazów metodami MAG i MIG, REA, Warszawa 2013.
- [3] Ambroziak A.: Techniki wytwarzania – spawalnictwo, Laboratorium, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2010.
- [4] Baum L., Fichter V., Der Schutzgasschweißer, Teil II: MIG-/MAG- Schweißen, DVS, Band 12, Düsseldorf 1999.
- [5] Sosnowski B.: Porównanie kosztów spawania drutem litym i proszkowym. Praca inżynierska. Promotor: dr inż. Robert Bęczkowski, Częstochowa 2014.
- [6] Bęczkowski R.: Właściwości wykładzin trudnościeralnych stosowanych na elementy przesypowe wykonane techniką napawania drutem rdzeniowym, Rozprawa doktorska, Częstochowa 2007.